

245
T 75

NANOZARRALAR FIZIKASI, KIMYOSI VA TEXNOLOGIYALARI

Toshkent – 2014

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI

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

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‘lim
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
kafedrası professori.

Mazkur o‘quv qo‘llanmada nanozarrachalarning paydo bo‘lish mexanizmlari, ularning fizik-kimyoviy xususiyatlari va o‘lcham effektlari izchillik bilan izhor etilgan.

Nanozarrachalardagi o‘lcham va tarkibiy o‘zgarishlarning ixchamlashtirilgan nanomoddalardagi fizik jarayonlarga ta‘siri keng tahlil etilib, ularning nanotuzilmalar xususiyatlarining shakllanishdagi hissalarini ta‘riflangan. Tibbiy biotexnologiyalarning mohiyati va ularning nanotibbiyotga, inson organizmiga ta‘sirlari, nanotexnologiyalarning nano va mikroelektronika taraqqiyotidagi o‘rni, fan va texnikaning turli sohalari qo‘llanilish istiqbollari tahlil etilgan.

Qo‘llanma mikroelektronika qattiq jismlar fizikasi va kimyosi, moddashunoslik, biotexnologiyalar va nanotibbiyot bilan shug‘ullanuvchi mutaxassislar, 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 vaqtda 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) ishlatildi.

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

Kvant mexanikasining yaratilishi, texnika va texnologiyaning mos ravishda kengayishi XX asrda yarimo‘tkazgichlar deb atalgan materiallarning 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 qurilmalar yaratildi. Ayniqsa, elektronikada integral mikroxsemalarning 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 (nanoelektromexanik sistema) usullariga o‘tishdan boshqa iloji yo‘q. Bu sistemalar juda ko‘p sohalarda qo‘llaniladi. Ular asosida “Elektron bu-run”, “Elektron til”, “Aqlli chang”, “Videoko‘zoynak” va boshqa sezgir qurilmalar yaratilgan.

Mikrotexnologiyalar moddalarni metrning milliondan bir ulushicha o'lchamlardagi bo'laklari bilan ishlash imkonini bersa, hozirgi paytda modda tuzilishini, uning xossalarini ayrim molekular, atomar darajasida tahlil qilish zarurati paydo bo'ldi, ya'ni nanometr o'lchamli zarralar bilan ishlash kerak bo'ldi. Mana shu sohaga tegishli elektronikani nanoelektronika, mos texnologiyalarni nanotexnologiya deyiladi.

Nanoelektronika nanometr o'lchamli zarralar fizika va kimyosini o'rganadi, nanotexnologiya esa ma'lum atomlar tuzilishli mahsulotlarni, ularning atom va molekularlarini joylashtirish yo'li bilan ishlab chiqarish usullari majmuasidir.

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

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'rilayotgani 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 xabarlarini 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 tomondan o‘rganishga intiladi. Shuning uchun ham har qanday fan maxsus atamalar va tushunchalar tizimlariga ega, ularga o‘z ma‘nosi 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 bergan bahosi emas, berilgan mavzuni u qanday o‘zlashtirganligi, olingan bilimlarining chuqurligi va darsda o‘zini qanday tutishi nuqtayi nazaridan baholaydi.

O‘quvchi ruxshunos yoki vrach huzurida, matematika darsida qanday bo‘lsa o‘shanday qolgan bo‘lsa ham, lekin uni turli nuqtayi nazarlardan “o‘rganish” mumkinligini ko‘rishimiz mumkin. Bu mulohaza 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 jarayonlarining umumlashgan uslubini bildiradi.

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

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

Ko‘rinib turibdiki, texnologiyalar boshlang‘ich xomashyoning tabiatiga 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 ulgurmagani samarali bo‘lgan texnologiyalarni tushunishga o‘rganib qolganmiz. Bu texnologiyalar, asosan, mikroelektronika sohasiga oid bo‘lib, asbob-uskunalarining 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 vaqtlarda toshlarni bunday yo‘nish usulini o‘ylab topgan odam uni yuqori texnologiya deb ataganda xato qilmagan bo‘lardir. Masalan, 15–20 yil avval uyali telefonlarni “high-tech” turdagi 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.

Nano 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 tartibidagi o‘lchamga ega.

Ingichka sochning o‘ndan bir qalinligi o‘lchamidagi tarkiblovchili zamonaviy 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 molekula-

larning katta birikmalaridan tashkil topgan xomashyodan foydalana-
di. Bu yoʻnalishni *“balk-texnologiya”* (ing. “bulk” – toʻp-toʻp, toʻplan-
gan) deb atash mumkin.

Nanotexnologiya har bir atom va molekular bilan juda aniqlikda
ishlashi lozim. U dunyoni biz xayolimizga keltiraolmaydigan darajada
oʻzgartirib yuborishi mumkin.

Atom – (grek. “atomos” – “boʻlinmas”) – kimyoviy elementning
juda mayda zarrachasi boʻlib, boshqa atomlar bilan birlashib murakkab
birikmalar – molekularni hosil qila oladi.

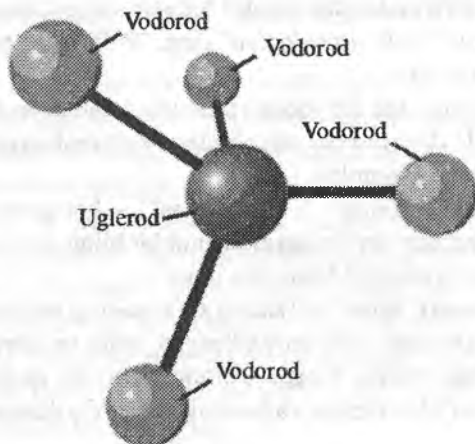
Eʼtibor bersangiz “atom” soʻzining soʻzma-soʻz tarjima qilinishi no-
toʻgʻri va haqiqatdan atom zaryadlangan yadro va manfiy zaryadlan-
gan elektronlardan tashkil topgan. Ammo bu soʻzni qadimgi grek fay-
lasufi Demokrit oʻylab topgan va hamma undan foydalanishga oʻrganib
qolgan.

*Nanotexnologiya – bu maʼlum atomar tuzilishli mahsulotlarni,
ularning atom va molekularini joylashtirish yoʻli bilan ishlab chiqa-
rish usullari yigʻindisidir.*

Nanotexnologiyaga berilgan bunday taʼrifga koʻra tabiiy savol
tugʻiladi: materiallarni atom va molekular darajasida manipulyatsiya-
lashimiz (bu yerda ishlashimiz) mumkinmi? Bizning barmoqlarimiz
nanomasshtab uchun juda ham kattalik qiladi-ku. Bu savol zamonaviy
nano fanining jumbogʻi boʻlsa kerak. Bu jumboqni yechishning eng
chiroyli yoʻlini Erik Dreksler oʻzining “Yaratish (barpo etish, vujudga
keltirish) mashinalari” kitobida taklif qildi. Atomlar bilan ishlash uchun
u maxsus nanomashinalarni yoki *assemblerlarni* yaratdi.

Ularni koʻz oldimizga keltirish uchun avvalo molekular qanday
tuzilganligini rasm orqali koʻrishimiz lozim boʻladi. Buning uchun biz
atomlarni munchoqlar koʻrinishida chizamiz, molekularni esa sim
orqali bir-biriga bogʻlangan munchoqlar guruhi deb koʻrsatamiz. Atom-
lar yumaloq shaklga ega (sharlarga oʻxshash), molekular bogʻlanishlari
– sim boʻlaklari boʻlmasa-da, biz koʻz oldimizga keltirgan model bizga
bu bogʻlanishlar uzilishi va qayta tiklanishi mumkin ekanligini koʻrsa-
tadi (1.1-rasm).

Nanomashinalar atom va molekularni ushlab olishni bilishi va
ularni xohlagan tartibda bir-biriga bogʻlay olishi lozim. Shuni taʼkid-
lash lozimki, bunday mashinalar tabiatda minglab yillardan buyon mu-
vaffaqiyat bilan ishlab kelmoqda. Misol tariqasida ribosomalar tomoni-
dan oqsilni sintez qilish mexanizmini keltirish mumkin.



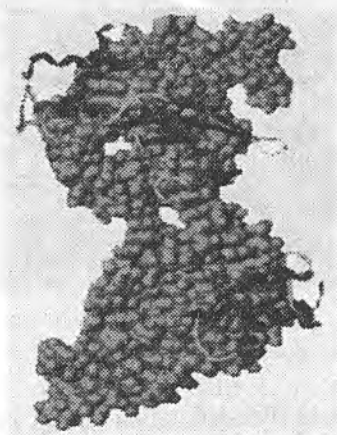
1.1-rasm. Metan molekulasini modeli (CH_4)

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‘shishi 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.

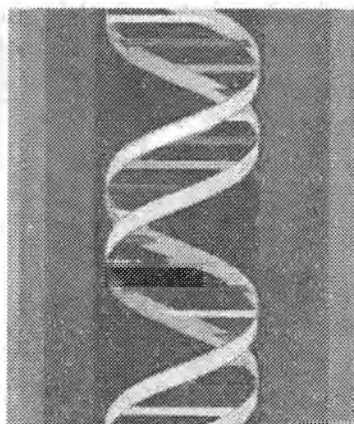
Oqsillar va ular faoliyati funksiyalarining xilma-xilligi bilan tanishganimizda, o‘simlik va hayvonot olamining barcha oqsillari – mutlaq inert oqsillardan to biologik faol bo‘lgan oqsillargacha – peptidli bog‘deb ataladigan kimyoviy bog‘lardan tuzilgan bo‘lib, ular yagona standart zanjirlar - **aminokislotalar**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

Tashqaridan oqsil molekulasida ipdagi shodalarning ketma-ket joylashishiga o'xshaydi va unda shodalar rolini aminokislota molekulari bajaradi. Ko'p oqsillar tarkibida bunday "shodalar" o'rtacha 300–500 ta bo'ladi (1.2-rasm).



1.2-rasm. Oqsilning tuzilishi

Tabiatda barcha aminokislotalar 20 ta turda bo'ladi, ularni maxsus "kimyoviy alifbe"ning yigirmata "harfi" ga o'xshatish mumkin, 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 birinasini 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 aminokislotalar kombinatsiyasidan qurilgan ketma-ketlikdagi u yoki bu oqsilga xarakterli bo'lgan aminokislotalar yagona kombinatsiyasigina ularning kimyoviy va biologik xossalari belgilab beradi. Bir dona aminokislota zanjirining o'rni o'zgartirilishi, almashtirilishi yoki yo'qotilishi oqsil molekulari xossalari tubdan o'zgarishiga olib keladi. Bundan kelib chiqib, alohida oqsilni sintez qilishda uning tuzilishidagi aminokislotalar zanjirlari ketma-ketligi haqida to'liq ma'lumotga ega bo'lish kerak ekan. Tabiatda bunday ma'lumot maxsus tashuvchi – DNK molekulasida 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 irsiy 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 nukleotidlar zanjiridan tashkil topgan, *nukleotidlar* – organik materiallar bo'lib, bir-biri bilan bog'liq 3 ta molekula: azotli asos, 5 uglerodli shakar (pentoza) va fosfor kislotalari qoldig'idan iborat bo'ladi. Nukleotidlarni azotli asoslarning tarkibiga kiruvchi 4 tipi (turi): *adenin (A)*, *guanin (G)*, *sitozin* va *(T) timin* nomi bilan nomlangan. Nukleotidlar 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 alifbosida har bir harfga nuqtalar va tirelarning muayyan ketma-ketligi mos keltirilganidek, DNK kodida nukleotidlarning ma'lum ketma-ketlikda kelishi oqsil molekulasidagi ma'lum bir aminokislotaga mos kelar ekan. DNK kodini bilish – bu har bir aminokislotaga mos bo'lgan nukleotidlar ketma-ketligini bilish demakdir.

Barcha imkoniy son, harf va tinish belgilarini 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 qiymatga ega* (1 triplet 1 tadan oshmagan aminokislotani shifrlaydi) va universallikka ega, (ya'ni Yerda barcha yashovchi va o'suvchi – bakteriyalar, zamburug'lar, donlilar, chumoli, qurbaqa, ot, inson – ayni bir tripletlar ayni bir aminokislotalarni shifrlaydi). Hozirgi vaqtda DNK kodi butunlay oshkorlangan, ya'ni har bir aminokislotaga 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'xshagani uchun bunga yaqqol misol qilib harfli tripletlardan tuzilgan quyidagi iborani keltirish mumkin:

Bir bor ekan, bir yo'q ekan

Bu iborada tinish belgilari bo'lmasa ham uning ma'nosi 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 gendan bir nukleotid tushib qolganda ham paydo bo'ladi. Bunday buzilgan gendan 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, matritsada xato qaytarilavergani kabi.

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

Oqsil sintezida uning tuzilishi haqidagi ma'lumot avval DNKdan *ribosoma* molekulasiga – 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 DNKning 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 DNK bo'ylab harakatlanib ketma-ket ravishda uning nukleotidlarini o'qiydi va komplementarlik prinsipi bo'yicha I-RNK zanjirini hosil qiladi, ya'ni DNK dan u yoki bu gen “chizma”sini oladi.

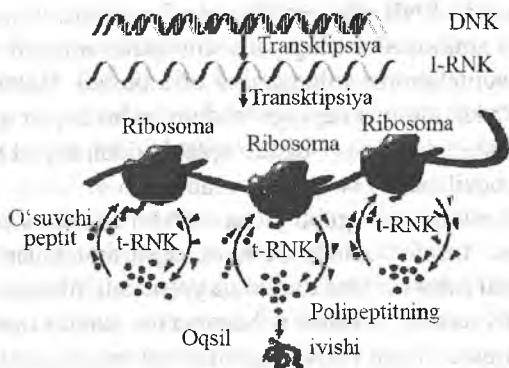
Har bir gendan xohlagan sondagi RNK nusxalarini olish mumkin. Shunday qilib, oqsil sintezi jarayonida I-RNK perfokarta rolini bajardi, unga aniq bir oqsil qurilishi “dasturi” yozilgan bo'ladi.

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. Aminokislotalar 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 ribosomaga olib boradi.

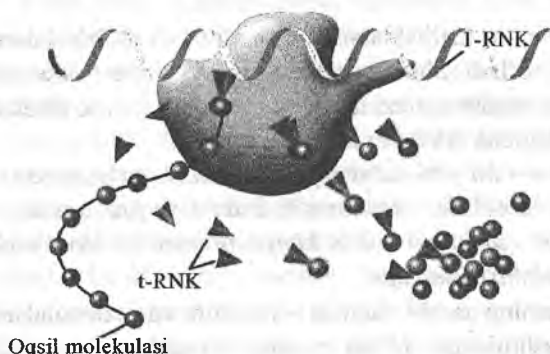
Ribosomalarda oqsil sintezini *translatsiya* (lotin. “translatio” – uza-tish) deb ataladi.

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



1.4-rasm. Ribosoma oqsilining sintez jarayoni.

Endi ribosomaning ishlash mexanizmgiga 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 ulangan aminokislotali t-RNKning molekulasini "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 aminokislota 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 molekulasiga yana bir "munchoq" qo'shiladi) (1.5-rasm).



1.5-rasm. Ribosomaning oqsilni sintez qilish.

So'ngra, ozod t-RNK ribosomadan atrof-muhitga chiqarib tashlanadi. Bu yerda u aminokislotaning yangi molekulasini tutib oladi va ishlayotgan 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-RNKning butun uzunligi bo'yicha o'tib bo'lib, ribosoma tayyor oqsil bilan undan "tushib" qoladi. So'ngra, oqsil molekulasi hujayraning shu turdagi 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: aminokislotalar, oqsillar, DNK molekulalari va boshqalardan foydalanib, 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, kimyoviy agressiv 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'ylab topmaganlardir".

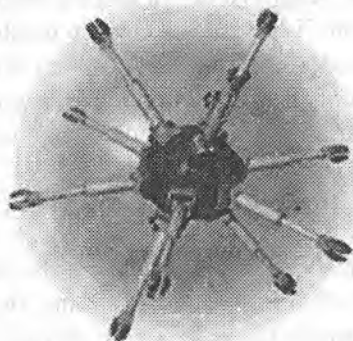
Biologiksimon tuzilishsiz ayrim atom va molekulalardan foydalanish qiyin bo'ladi. Shuning uchun nanomashina – assemblerlar tirik va texnik sistemalar sintezidan iborat bo'lishi lozim. Drexler assemblerga quyidagicha ta'rif beradi:

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

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

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

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



1.6-rasm. Assemblerning tashqi ko'rinishi

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

Yig'uvchilarni – sanoat robotlarini boshqarishda ishlatiladigan, 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 obyektни "chizib" olib u assemblerlarga buyruq beradi, u esa uni birin-ketin (atomma-atom) qura boshlaydi. Biroz vaqtdan so'ng konstruktorda berilgan xarakteristikalar bo'yicha, inson ko'p ishtirok 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 haqiqiyisiga har tomondan o'xshaydi va uni har bir atomigacha takrorlay oladi. Dizassemblerlar olimlarga narsalarni va ularning atom tuzilishini yaxshilab o'rganishga 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'xshash) obyektidir. 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 laboratoriyalar buni amalga oshirishda birinchilar qatorida bo'lishga harakat qilmoqdalar.

Nanotexnologiyalardan foydalanishning imkoniyatlari bitmas-tuganmasdir: saraton hujayralarini nobud qiluvchi va zararlangan to'qima va a'zolari 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 Eynshteyn esa 1905-yilda nashr qilingan ishida qand (shakar) molekulasining o'lchami taxminan 1 nanometrga teng ekanligini isbotlab bergan.

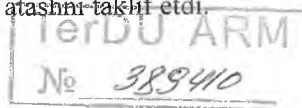
1931-yilda nemis fiziklari Maks Knoll va Ernst Ruskalar birinchi marta nanoobyektlarni o'rganish mumkin bo'lgan elektron mikroskop yaratdilar.

1959-yilda amerikalik fizik Richard Feynman miniatyuralash kelajagini 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 vaqtda 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 ishlashning 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 mikrondan kichik bo'lgan mexanizmlarni (uskunalarni) atashni taklif etdi.



1981-yilda germaniyalik fiziklar Gerd Binnig va Genrix Rorerlar 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'lchay 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 vaqtda AQSH federal budjetidan 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" tashabbusini "Milliy Nanotexnologik tashabbusi"ning bir qismi hisoblab qo'llab quvvatladi.

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

Zamonaviy kremniy chiplar (integral sxemalar) turli texnik zaruratlar natijasida yana taxminan 2012-yilgacha kichiklashib boraveradi. Ammo yo'lakhasining 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 vaqtda bu yo'nalishda katta izlanishlar olib borilmoqda.

1.3. Nanotexnologiya uskunolari

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

10^{-3} m (millimetr) tartibigacha bo'lgan kichik masofalar oddiy chizg'ich yordamida o'lchanadi. U bilan masalan, qalin karton qog'oz qalinligini o'lchash mumkin. Qog'ozning varag'i qalinligi ham unday varaq ko'p bo'lsa o'lchash 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'lchashga harakat qilib ko'rsak, faqat bir narsani, ya'ni u juda ingichka va o'lchovi yo'q ekan degan xulosaga kelamiz. Shuning uchun ham shunday va bundan ham kichik bo'lgan o'lchamlarni o'lchash 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 asrning boshida, materialning sirtini ko'ra olish darajada kattalashtirmasdan 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.

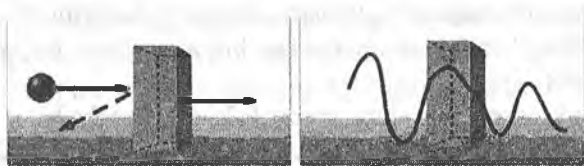
STM va tunnel effektini o'rganish bilan keyinroq, mukammalroq shug'ullanamiz, hozir esa uni umumlashtirib ko'rib chiqamiz.

Tunnel effekti – klassik fizikada unga o'xshashi 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 tomonga 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 “tunnel” 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'liqinsimon xossali ekanligidir. Elektron E energiyaga ega bo'lgan klassik zarra bo'lganda, u o'z yo'lida yengib (oshib) o'tish uchun katta energiyani talab qiladigan to'siqni uchratib, bu to'siqdan qaytib ketishi lozim bo'lar edi. Ammo u bir vaqtning o'zida to'liqin ham bo'lgani uchun, u bu to'siqdan xuddi rentgen to'liqlari moddiy buyumlar ichidan osongina o'tganidek o'tib keta oladi.

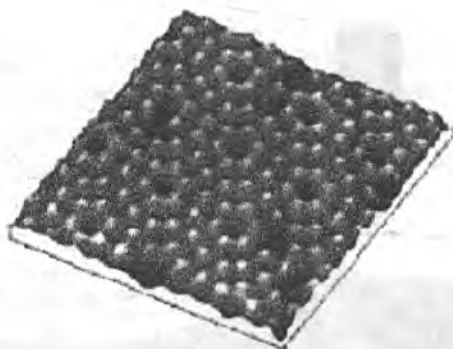


1.7-rasm. Tunnel effekti.

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 potentsiallarning 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 tuzilishi haqidagi ma'lumotlarni olsak bo'ladi.



1.8-rasm. STMda monokristall kremniya μg 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).

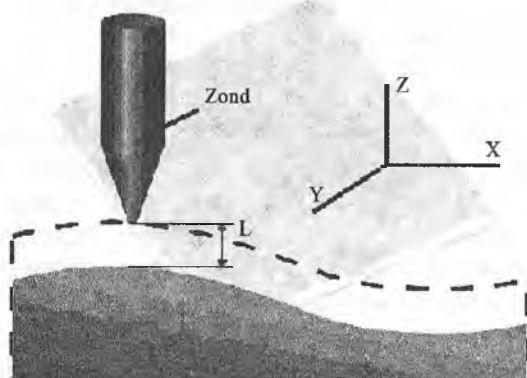
Bu ixtirolari uchun olimlar 1985-yili Nobel mukofotiga loyiq deb topilgan. Taqdir taqozosi bilan STMning ulkan imkoniyatlarini darrov tushunib yetmagan ba'zi bir nashriyotlar Bining va Rorerlarning maqolasini, ixtirolariga berilgan ta'rifni uncha qiziqish uyg'otmaydi degan bahona bilan nashr etish uchun 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 kattalashtirilsa 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 sirtini o'rgana boshlaydi.

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

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



1.9-rasm. STMning ishlash sxemasi.

Igna uchi *doimiy balandlik tartibida* namuna ustida gorizonta 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.

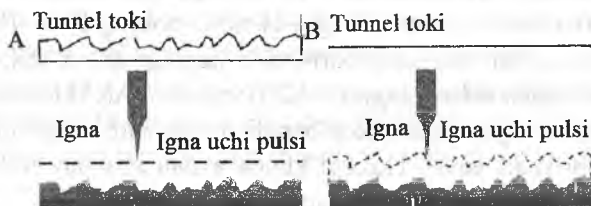
STMning *doimiy tok tartibida* teskari bog'lanish tizimi ishga tushiriladi. Bunda doimiy tunnel tokni tekshiruvchi uskuna balandligini sirtning har bir nuqtasiga moslashtirish yo'li bilan qo'yilib turiladi (10-b rasm).

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 harakatlantirishini ta'minlashi lozim. Odatda mexanik manipulatorni pezokeramik materialdan tayyorlanadi.

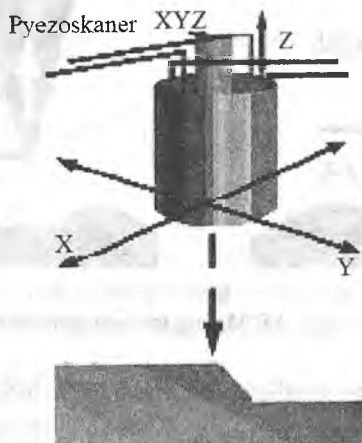
Bunday materialning qiziq xususiyati uning *pezoefektidir*. Uning ma'nosi quyidagidan iborat: pezomaterialdan to'g'ri burchakli to'sin kesib olib, qarama-qarshi tomonlariga metall elektrodlar surkalsa va ularga potentsiallar farqi qo'yilsa, unda tok ta'siri ostida to'sinning geometrik o'lchamlari o'zgarishi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

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



1.10-rasm. STMning ishlash tartibi (rejimi).

Amaliy qurilmalarda, odatda, bir nechta ajratilgan elektrodli yupqa devorli naycha ko'rinishdagi pezokeramik manipulatorlardan foydalaniladi. Boshqaruvchi kuchlanish bunday manipulatorlarning cho'zishini 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).



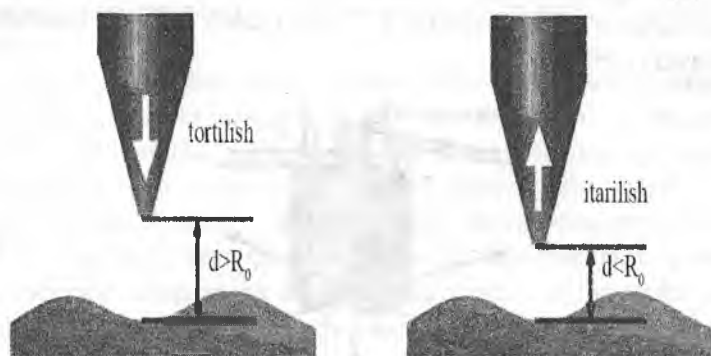
1.11-rasm. Pezomanipulatorning sxemasi.

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‘shirish 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 qonuniyatlari amalda bir xil, faqat tunnel mikroskopinikidan farqli ravishda AKMning ishlashi atomlararo bog‘lanishlar kuchidan foydalanishga asoslangan. Kichik masofalarda (0,1 nm ga yaqin) ikki jism atomlari o‘rtasida itarishish kuchlari (1.12-a rasm), katta masofalarda esa tortishish kuchlari harakatga keladi (1.12-b rasm).



1.12-rasm. AKMning ishlash prinsipi.

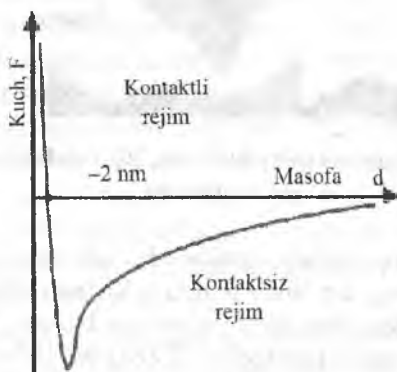
Tadqiqotlar uchun yaratilgan atomiy- kuch mikroskopda bunday ikki jism o‘rganilayotgan sirt va uning ustida sirpanayotgan igna uchi bo‘ladi. AKMda zond sifatida olmos ignadan foydalaniladi. Sirt va

igna uchi o'rtasidagi F kuchi o'zgarganda unga birlashtirilgan 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-rasmda atomlararo kuchning igna uchi va namuna o'rtasidagi masofaga bog'liqlik egri chizig'i ko'rsatilgan.

Igna sirtga yaqinlashgani sari uning atomlarining namuna atomlariga 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 kamaytiradi. Bu kuchlar atomlar orasidagi masofa 0,2 nm ga yaqin bo'lganda muvozanatlashadi.

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



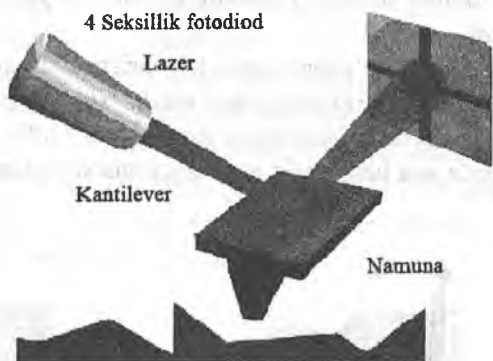
1.13-rasm. Namuna va zond uchidagi atom o'rtasidagi ta'sir kuchini ular orasidagi masofaga bog'liqligi.

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 qoplam bilan qoplangan kantileverning uchi tomon yoʻnaladi, shundan soʻng maxsus toʻrt seksiyalik fotodiodga oʻtadi.

Shunday qilib, kantileverning oʻziga ogʻishi ham lazer nurini fotodiod seksiyalariga nisbatan siljishiga olib keladi, bu esa oʻz navbatida kantileverning u yoki bu tomonga siljishini koʻrsatuvchi fotodiod signalini oʻzgartiradi. Bunday sistema nurning 0,1° burchak ostida ogʻishini oʻlchash imkonini beradi.

AKMning elektr namunalar oʻtkazuvchan boʻlishini talab qilmagani uchun u DNK va boshqa yumshoq materiallarning molekular oʻtkazgichli va izolyatorlik xossalarini tekshirishga imkon yaratadi (1.14-rasm).

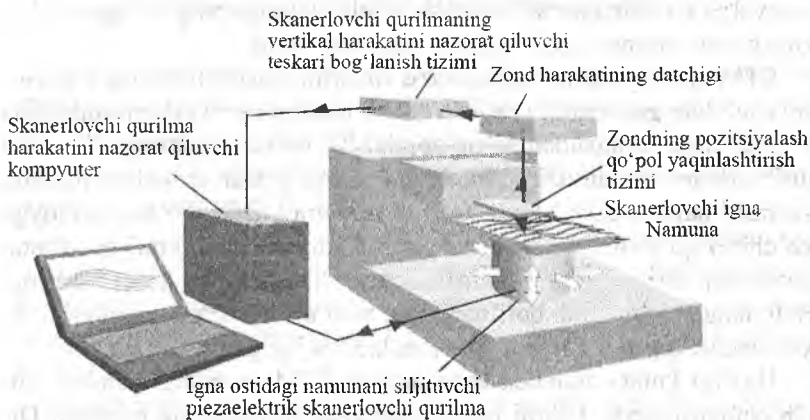


1.14-rasm. Lazer nurining boshlangʻich holatdan ogʻishini qayd qilinishi.

Zondli mikroskopiyaning rivojlanishi taʼriflangan qonuniyatlar amalda zond uchining sirt bilan oʻzaro taʼsirlashishining har qanday turida ham qoʻllanilishi mumkinligini koʻrsatib berdi. Bu esa umumiy nomi tekshiruvchi zond mikroskoplari (TZM) deb ataluvchi mikroskoplarning kichik-kichik namunalarni ham yaratilishiga olib keldi. Bugungi kunda ularning quyidagi turlari maʼlum:

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

TZMning boshqa baʼzi turlari bilan keyingi boblardan birida toʻliqroq tanishamiz, hozircha ularning umumiy chizmasi bilan tanishamiz.



1.15-rasm. TSM ishlashining umumiy ta'rif.

Har bir tekshiruvchi zond mikroskopining maxsus xossalari bor. Ammo, ularning umumiy chizmasi u yoki bu darajada yuqorida aytilgan qonuniyatlarga yaqinligicha qolgan. TSM 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 (masshtablashtirish, aylantirish, kesimlar qurish) sirtning ko'rinish 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 – «cantilever» (cantilever) deb ataladi.

Bugungi kunda TSM nanotexnologiyalarning asosiy qurolidir. Takomillashtirishlar natijasida ular o'rganilayotgan namunalarning nafaqat topologiyasini (geometrik xususiyatlarini), balki ko'plab boshqa xarakteristikalarini: magnitik va elektrik xossalari, qattiqligini, tarkibning bir jinsliligini va boshqalarni, nanometr o'lchamlilari darajasida aniqlik bilan o'rganish imkonini beradi.

Turli parametrlarni aniqlashdan tashqari zamonaviy TSMlar nanoobyektlarni *manipulyatsiyalash*, ayrim atomlarni tutish va ularni yangi

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

STM ignasi yordamida atomlar o‘rinlarini almashtirishning 2 ta asosiy usuli bor: *gorinzontal* va *vertikal*. O‘rinlarni vertikal almashtirishda kerakli atom tutilgandan so‘ng zondni bir necha angstromga ko‘tarib turib atomni sirtidan uzib olinadi. Atomning sirtidan uzilishini tokning sakrashi nazorat qilib turadi. Bu holda atomni uzib olib boshqa joyga ko‘chirib qo‘yish ko‘p mehnat talab qiladi. Lekin, atomni gorizontallik ko‘chirish sirtning g‘adir-budirliklardan 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 turdagi TSM va uning qismlari ishlab chiqarilmoqda. Ularni ishlab chiqargan 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 molekularlar 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‘qimalarning tuzilishi ularning hujayralardan o‘z-o‘zini yig‘ishi bilan ta‘riflanadi, hujayralarning o‘z tuzilishi esa ayrim molekularlarning o‘z-o‘zini yig‘ishi bilan kafolatlanadi.

Tabiatdagi nanosistemalarning o‘z-o‘zini yig‘ish mexanizmlari izlanuvchilarni uning qonuniyatlaridan sun‘iy nanostrukturalarni qurish uchun “nusxa ko‘chirib” olishga undadi. Hozirgi vaqtda tabiiy suyak to‘qimasini takrorlovchi nanomateriallar tayyorlashda sezilarli muvaffaqiyatlarga erishildi. Buning uchun kollogenning tabiiy tolasini 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 “shpatlyovka” 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 potentsiallar 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‘zlari 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 mamlatlarida 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 qiya-liklarga, 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, harakatlana 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-liqurtga 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 dia-metridan ham 10 marta maydaroq ekan. Har bir tukchanning uchida san-timetrning 200 milliondan bir bo‘lagichalik bo‘lgan minglab juda may-da 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 sirtidagi 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 molekullari juda qisqa masofalarda itarishadi, kattaroq masofalarda esa tortishadi (AKM ishlashi shu prinsipga asoslangan).

Gekkon panjasini sirtga qo'yganda, nanoqilchalar uchidagi ko'rakchalar 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 sirdan yengilgina ajralib oladi.

Van-der-Vaals kuchlari juda kichik, ammo gekkon panjalaridagi tukchalarning 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 surati.

Bularning barchasi olimlarning o'zlari yaratgan ixtirodan foydalanishga turtki bo'ldi. Robot kompaniyasining xodimlari akvarium devorlari bo'ylab vertikal ravishda harakatlana oladigan robotni qurishdi. Keyinchalik robotni sun'iy tuklar bilan ta'minlash va yopishtirib turadigan kuchni oshirish rejalashtirilgan. 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'ylab sayyohatga chiqishgacha qo'llanishi mumkin.

Bu qonuniyatni yopishqoq tasma, skotchga o'xshash materiallarni 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 boʻlgan, elektrostatikaga asoslangan kuchli yopishqoqlikni taʼminlovchi yangi materiallar avlodini yaratish ustida ishlar olib borilmoqda.

Insonni vertikal devorda mahkam ushlab turuvchi oyoq kiyim va qoʻlqoplar tayyorlash mumkin. Ular nafaqat alpinistlar va choʻqqilarda ishlar olib boradigan montajchilar hayotini, balki boshqa odamlarning ham hayotini yengillashtirgan boʻlar edilar.

1.6. Fullerenlar va uglerodli nanonaychalar

Demokrit oʻzining Koinotning atomistik qarashida dunyo koʻplab “gʻishtchalar”dan – oʻziga xos xususiyatli kimyoviy element va uning birikmalaridan iborat ekanligiga eʼtibor qaratgan. “Olamni tashkillagan gʻishtchalari”ning xususiyatlari bir xil boʻlmaganidek, ularning tarixi ham bir xil emas. Bir xil elementlar: mis, temir, oltingugurt, karbon kabilar qadimdan maʼlum. Boshqalaridan, ular hali kashf qilinmasidan turib asrlar davomida topilmasdan turib ham, inson foydalangan (masalan, kislorod faqat XVIII asrdagina ochilgan). Uchinchilari esa 100–200 yil oldin ochilgan, ammo hozirga kelib birinchi darajali ahamiyatga ega boʻlib qolishdi. Ularga uran, aluminiy, bor, litiy, berilliy va boshqalar kiradi.

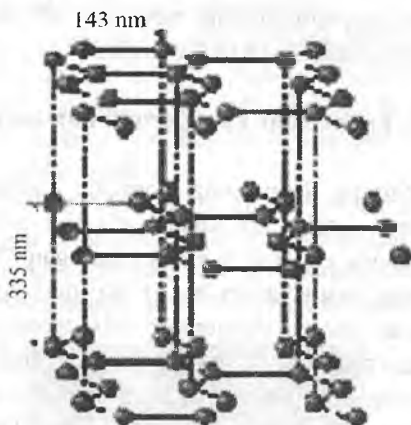
Toʻrtinchilarining esa biografiyasi endi boshlanmoqda...

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

Fulleren molekulasi asosi ugleroddir – bu noyob kimyoviy element koʻpchilik elementlar bilan birikib turli tarkib va qurilishga ega molekularlar hosil qilish xossalari ega. Maktab kimyo kursidan bizga maʼlumki, uglerod 2 ta asosiy allotrop holatga ega: grafit va olmos. Fulleren ochilishi bilan uglerod yana bir allotrop holatga ega boʻldi deyishimiz mumkin. Biz ana shu grafit, olmos va fulleren molekulari tuzilmalarini koʻrib chiqaylik.

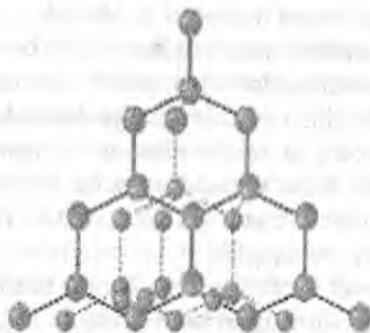
Grafit qatlamli tuzilishga ega. Uning har bir qatlami toʻgʻri olti burchaklardagi bir-biriga kovalent ravishda bogʻlangan uglerod atomlaridan iborat.

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 yurgizsangiz, 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 kristallida bitta yirik makromolekula hosil qiladi (1.18-rasm).



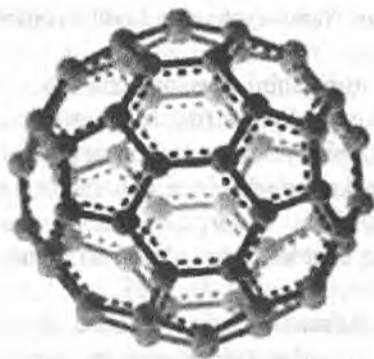
1.18-rasm. Olmosning tuzilishi.

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 ishlatiladi.

Fullerenlar o'z nomlanishini arxitektor Bakminster Fuller sha'ni-ga 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 tuzilishiga* ega. Bu ko'pyoqlar uchida uglerod atomlari joylashgan deb tasavvur qilsak, unda biz eng barqaror bo'lgan C_{60} fullerenini olamiz.

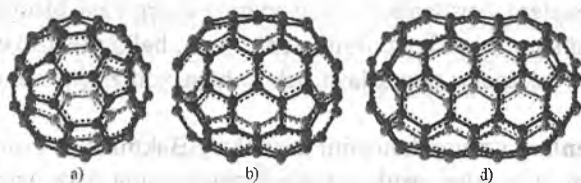
Eng taniqli hamda fullerenlar oilasining eng simmetrik bo'lgan vakili C_{60} molekulasida oltiburchaklilarning soni 20 ga teng. Bunda har bir beshburchak faqat oltiburchakli bilan chegaralashgan, har bir oltiburchak oltiburchaklilar bilan 3 ta umumiy tomonga va 3 ta beshburchaklar bilan umumiy tomonga ega (1.19-rasm).

Fulleren molekulasi tuzilishining qizig'i shundaki, bunday uglerod “to'pi”ning ichida bo'shliq hosil bo'ladi, unga kapillar xususiyatlari hisobiga boshqa materiallarning atom va molekularini kiritish mumkin, bu esa ularga, masalan, ularning xavfsiz ko'chirish imkonini beradi.



1.19-rasm. Fullerenning tuzilishi.

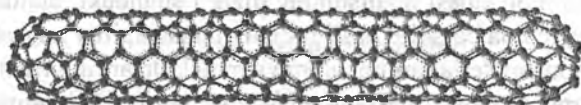
Fullerenlarni o'rganish davomida uning tarkibida uglerod atomlari soni turlicha – 36 tadan 540 tagacha bo'lgan molekulari sintez qilindi va o'rganildi (1.20-rasm).



1.20-rasm. Fullerenlar 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 silindrlarni aniqladi va ularni nanonaychalar deb nomladi.

Nanonaycha – bu milliondan ortiq uglerod atomlaridan iborat molekula bo‘lib u diametri 1 nanometrqa 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. Nanonaychani 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 qarasmdan 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. Nanonaychalarning 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.

Nanonaychalardan 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'Ichami-dagi g'altakka o'rash mumkin. Nanonaychalardan tashkil topgan diametri 1 mmli uncha katta bo'lmagan ip, o'zining massasidan yuz milliardlab katta bo'lgan 20 t yukni ko'tara olgan bo'lar edi.

To'g'ri, hozir nanonaychalarning maksimal uzunligi o'n va yuzlab mikron – atomlar masshtabidan juda katta, shunday bo'lsa ham ular doimiy foydalanish uchun juda kichiklik qiladi. Lekin olinayotgan nanonaychalarning 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 nanonaychalarni 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, magnetik, optik xossalarini namoyish qilishmoqda.

Maqsadga muvofiq ravishda naychalar ichiga boshqa materiallar atomlarini kiritish yo'li bilan nanonaychalarning elektron xossalarini o'zgartirish mumkin.

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

Shunday yo'l bilan nanonaychalar xossalarini ham o'zgartirish mumkinmi? Olimlar nanonaychalar ichiga avvalo gadolinij atomlari kiritilgan fullerenlar zanjirini joylashga erishdilar. Bunday g'aroyib strukturaning elektrik xossalari oddiy, bo'shliqli 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: $Gd@C_{60}@SWNT$, bu Gd ichida C_{60} ichida $SWNT$ bir qatlamli nanonaycha.

Ulardan (nanonaychalardan) foydalanish doirasi juda keng. Nanonaychalardan, masalan, mikroasboblarda uchun simlar tayyorlash mumkin. Ularning g'aroyibli, tok ular bo'ylab umuman issiqlik ajratmasdan va juda yuqori qiymatga – 10^7 A/sm² 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 fosforessensiyalanadigan ekranga tushadi va piksel yorug'lanishini keltirib chiqaradi. 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 volframli 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 kremniyli asboblarga nisbatan bir necha tartibga kichrayishni ta'minlaydi.

Nanoelektronikada nanonaychalarni qo'llashning yana bir yo'nalishi – 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. Nanonaychani o'sish jarayonida unda tuzilish nuqsoni (uglerodli oltiburchakning birini beshburchakli bilan admashtirib qo'yish) hosil qilish, ya'ni uni o'rtasidan maxsus ravishda sindirib qo'yish yo'li bilan hosil qilish mumkin. Shunda nanonaychani bir qismi metall xossalariga, boshqasi esa yarimo'tkazgich xossalariga ega bo'ladi.

Nanonaychalar ichki bo'shliqlarida 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 H₂ yetarli bo'ladi) ajratiladigan katta miqdordagi energiya sarf qilishidir.

Sayyoramizdagi neft zaxiralari bir kun kelib tugashini hisobga olsak, vodorod ko'plab muammolarning effektiv ravishda yechilishiga yordam bergan 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 molekullarni 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 nanonaychalardan: 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 molekullar nanonaycha ichiga tushgandan so'ng nanonaychalar bir uchidan ochiladi va ichidagi materiallarni qat'iy belgilangan dozalarda chiqarib beradi. Bu hayol emas, bu turdagi 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 vaqtda "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 kelajakning 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 nanotexnologlar «Foresight Guidelines»-»Inctityt boshqaruvchilari» qo'llab quvvatladilar. Ular ham Djoy kabi nanotexnologiyalarning ortib borishi va rivojlanishi nazoratdan chiqib borayotganini ta'kidlamoqdalar. Bu sohadagi izlanishlar oddiy ta'qiqlash 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 assemblerlarni 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 foydalanadi.

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'rnini topib ulgurgani haqida to'xtaladi. «Hajmi molekuladek bo'lgan elektron ko'rinishdagi assemblerlar hozir amalda qo'llanilmoqda»-deydi Djoy. Keyinchalik esa u o'z-o'zini tiklash biologik jihatdan emas, balki texnologik jihatdan bajarilayotganini 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. Muhandislar-ning 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 hajmi-
da 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 tizimni yaratmagan”- deydi Viola Vagen, Sietl shtati Vashington 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 vaqti kelib jiddiy kasalliklarni keltirib chiqarmasmikan? Shu va shunga o'xshagan savollar hozir ishlab chiqaruvchilarni o'ylantirib qo'yimoqda. 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 zamonaviy texnologiyalar tizimida hech kimga keraksiz shaxs bo'lib qolmasmikin?

«Qanday bo'lishi kerak?»—deb sizda savol tug'iladi. Nahotki, mehnat bozorida hozirgi o'qitish tizimi arziyas, arzon bo'lib qolsa? Albatta, yo'q, lekin ta'limda birgina 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 bilan o'rganish mumkin xolos, hozircha boshqa usul yo'q. Bundan ko'rinib 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 aytilish kerak-ki, axborot texnologiyalari sohasining rivojlanishsiz 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.

Koinotdagi 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. Aytingchi, bunday kelajak sizga yoqadimi? Shu va shu yo'sindagi savollar anti nanotexnologlarni o'ylantirgan bo'lsa ne ajab!

Aytgancha, 2001-yil yapon olimlari lazer standartlaridan foydalanagan 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'lgan 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 jahonning ko'plab mamlakatlarida turli ishlab chiqarish darajalarini hosil qilmoqda. Qaysi ishlab chiqarish korxonasi nanotexnologiyalardan keng va samarali foydalana olsa, o'sha korxonaga boshqalaridan ilgarilab ketmoqda.

Yaponiyada nanotexnologiya bo'yicha ishlovchi «OGOTA» deb nomlanuvchi robot davlat mukofotini oldi. Bu loyihaga nafaqat davlat, balki 60 dan ziyod shaxsiy tashkilotlar homiylik qiladilar. Bu loyihadan tashqari, Yaponiyada yuzlab turli sohalardagi nanotexnologiyalarga 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 laboratoriyalar 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 mlrd. 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. Bulardan eng yiriklari J.I. Alferov boshchilik qiluvchi «Fizik nanotizimlar» va akademik K.A.Valiev boshchilik qiluvchi «Texnologiyalarni mikro- va nanoelektronlashtirish» loyihalaridir.

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 qu-rilmalari 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 Feynmannning “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 (replikatsiyalanuvchi), ixtiyoriy molekulyar tuzilmani hosil qiluvchi molekulyar nanomashinalardir. Assembler tirik va notirik texnik sistemalarni yig‘a olishi mumkin;

- samarali tabiiy assemblerga ribosoma yordamida oqsil molekullarni sintez qilishni misol keltirsa bo‘ladi;

- hozirgi vaqtda nanotexnologiyalarning asosiy asboblardan 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 sirtning atom darajasidagi relyefini hosil qilish imkonini beradi;

- STM ikkita asosiy rejimda ishlaydi:

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

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

- tunnel mikroskopidan farqli ravishda, atomiy- kuch mikroskoplar (AKM) faqat tok o‘tkazuvchi materiallarinigina 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 xossalari bilan lol qoldirgan silindrik uglerod birikmalari – nanonaychalarini kashf etdi. Nanonaychalar bir qatlamli va ko'p qatlamli 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 berilmoqda?

2-BOB. YAKKA NANOZARRACHALAR XOSSALARI

2.1. Tarkibiy va fazaviy o'zgarishlar

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

Nanozarrachalar uchun esa sirtiy taranglikning zarrachalar o'lchamlariga 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'lchamlari kichiklashishi bilan sirt engi-

yasi $F_s = \oint \sigma(n) ds$ (bunda $\sigma(n)$ – sirtga tik birlik vektorga \vec{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'lchamning kichiklashida F_s ni hisobga olingandan keyin

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

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

Sirtiy energiya hajmiyга nisbatan yetarlicha katta, shuning uchun (2.1) shartdan ko'rinadiki, tizimning to'la energiyasini kamaytirish uchun kristallning sirt energiyasini kamaytiruvchi deformatsiya hosil qilish foydaliroq ekan. Bunday kichraytirish nanozarrachaning kristall tuzilishini yirik donador namunalarnikiga 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 gadoliniiy, 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.

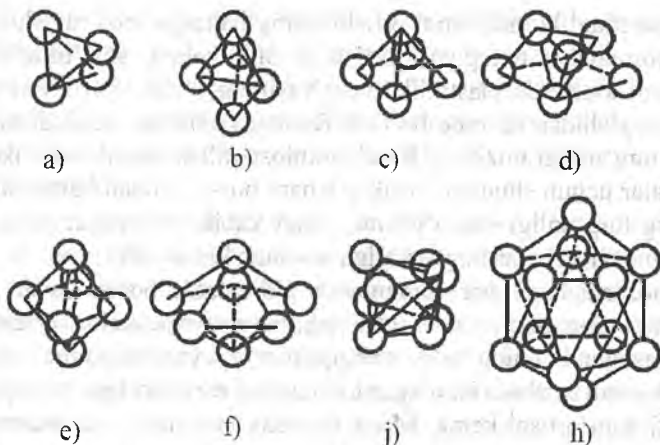
Ayrim hollarda zarracha sirtiy energiyasining kamayishi faqatgina uning tuzilishi o'zgarishi bilan emas, balki tarkibning deformatsiyala-nishi tufayli ham yuz berishi mumkin.

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 xossalarning klasterdagi atomlar soniga nochozig'iy bog'langan-ligidir. Dispers va hajmiy monokristall moddalarda bunday bog'lanish mavjud emas, lekin, bu hollarda klaster xossalarni 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 xossalarni 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 yasashda 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 ibo-rat bo'lib, pentagonal bipiramida shakliga ega, undan keyingi turg'un klaster ham 5-tartibli simmetriya o'qi, 13 atomdan iborat ikosaedr shaklida bo'ladi.



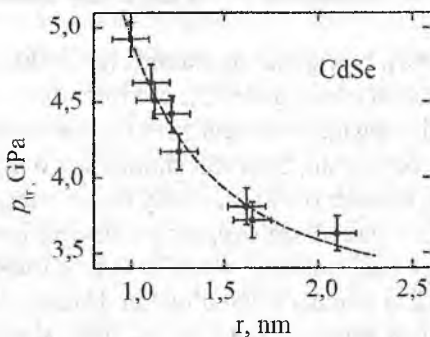
2.1-rasm. n atomdan iborat eng kichik klasterlar:

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; j–yulduzsimon tetraedr ($n=8$)–markaziy tetraedring 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‘ralgan. 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 sirty 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 tetraedrlarni bitta umumiy nuqtada ikkilanish tekisligi bo‘lgan, umumiy 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 tuzilmasining 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 zichlashadi. 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 eritmalaridagi nanozarrachalari uchun aniqlangan (2.2-rasm).



2.2-rasm. CdSe nanozarralarining geksogonal (vyursitga o'xshash) tuzilishdan kubik VI ko'rinishga o'tishi uchun zarur gidrostatik bosim p_c ning nanozarracha o'lchamiga bog'liqlik grafiqi.

Sirtiy energiyaning nanozarracha o'lchamlariga bog'liqligi bir tomondan nanozarracha o'lchami bilan, ikkinchi tomondan zarracha ustidagi 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 kiritsak, 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‘zgar olmaydi. Shuning uchun uchala nimitizimlarning 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 nimitizimlardagi T temperatura va μ 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- fazada 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 potenciallari 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

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

egrilgan fazalararo chegara uchun muvozanatliy bosim va temperaturalar tekis sirtlar uchun p va T lardan Δp va ΔT qadar farq qiladi. Bunda (2.2) ni hisobga olgan holda kimyoviy potenciallar tengligi quyidagicha bo‘ladi:

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

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

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

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:

$$\Delta p = \frac{g_1}{g_2 - g_1} \cdot \frac{2\sigma}{r}. \quad (2.6)$$

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

$$\frac{\Delta p}{p_\infty} = \frac{g_1}{RT} \cdot \frac{2\sigma}{r} \quad (2.7)$$

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

$$\ln \frac{p(r)}{p_\infty} = \frac{g_1}{RT} \cdot \frac{2\sigma}{r} \quad \text{yoki} \quad p(r) = p_\infty \exp\left\{\frac{g_1}{RT} \cdot \frac{2\sigma}{r}\right\}. \quad (2.8)$$

Bu (2.8) ifoda r radiusli suyuq tomchi ustidagi to'yingan bug' bosimini 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‘yingan 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 molekullardan iborat bo‘lgani uchun ularga (2.8) ni bevosita qo‘llash juda ham to‘g‘ri kelmaydi. Haqiqatda, klasterlar xossalari hajmiy va sirtiylarga 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‘yingan bug‘ bosimi, r – murg‘ak (n ta molekulan iborat klaster) radiusi.

Taglikdagi kichik orolchalarga o‘xshagan ikki o‘lchamli tizilmalar uchun Tomson–Gibbs tenglamasi:

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

bunda P_∞ – qattiq jism – bug‘ chegarasidagi bug‘ bosimi, γ – taglikdagi ikki o‘lchamli orolcha chegarasi birlik uzunligiga keltirilgan chegaraviy erkin energiya, r – orolcha radiusi, ρ_s – qattiq orolcha zichligi.

Bu ifoda orolchani 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‘yingan bug‘ holatida tizim erkin energiyasi, qolgan bug‘ bilan muvozanatda turuvchi qattiq holatli 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.

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

(bunda $s_{1,2}$ – birlik massaga keltirilgan 1 va 2 fazalar entropiyasi, T_x – fazaviy o'tishlar temperaturasi, L – faza o'tishining yashirin solishtirma issiqligi ($\partial \mu_i / \partial p$)_T = \mathcal{V}_i = \mathcal{V} – 1 faza solishtirma hajmi) bo'lgani uchun (2.11) ni hisobga olgan holda, Tomson tenglamasini hosil qilamiz:

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

Agar suyuq tomchini bug' bilan muvozanat holatini ko'radigan 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'rilayotgan bo'lsa, Tomson formulasi kichik zarrachani suyulish temperaturasi $T_{melt}(r)$ ning o'lchamga bog'lanish ifodasini beradi:

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

Bunda T_{melt} va L – hajmiy qattiq jismning suyulish temperaturasi va solishtirma suyulish issiqligi, \mathcal{V} – 1 g modda hajmi (solishtirma hajm 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 aytib o'tish kerak.

Muvozanat sharoitida kichik suyuq tomchi (1-faza) ni hajmiy qattiq jism (2-faza) ichiga joylashtirilsa, (2.5) tenglama o'zgarib 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 mulohazalar 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 jismdan 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:

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

α – 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 σ_s , σ_λ , $\sigma_{s\lambda}$ – qattiq va suyuq holatlardagi hamda suyuq va qattiq holatlar chegarasidagi sirtiy kuchlanishlar, ρ_s va ρ_λ – qattiq va suyuq holatlar zichliklari. Termodinamik muvozanat shartida suyulish temperaturasi sifatida qattiq va suyuq holatlarni to‘liq erkin energiya ifodalari o‘zaro teng bo‘ladigan temperatura qabul qilanadi. 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

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

Har xil mualliflar tomonidan nanokristal zarrachalar suyulish temperaturasi 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 α – 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 α , β – empirik koeffitsientlar.

T_{melt} ning r ga bog‘liq ravishda kamayishining tajribaviy ifodasi 2.3-rasmda 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:

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

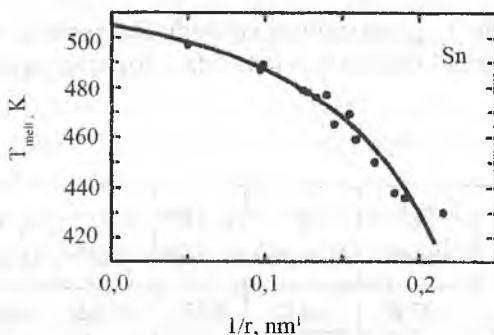
$$\sigma_l = 0,0622 \text{ Nm}^{-1},$$

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

Qalay uchun shu qiymatlar asosida hisoblash natijasi:

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

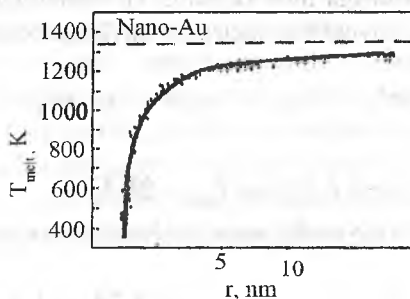
bundagi r nm larda berilgan. Bir qancha ishlarda tajribalarda aniqlangan suyulish temperaturasining nisbiy qiymati $T_{melt}(r)/T_{melt}$ nanozarrachalari o'lchamlari $r=10-40\text{nm}$ deb olinganda, ular radiusining teskari qiymatiga bog'liqligi hisoblash natijalari bilan mos kelgan (2.3 - rasm)



2.3-rasm. Qalay (Sn) nanozarrasi uchun suyulish temperaturasining nanozarra teskari o'lchami r^{-1} ga bog'liqlik grafiqi. Uzluksiz chiziq 2.16

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

bog‘lanishni elektronografik usulda aniqlash natijalari oltin nanozarrachalari radiusi 1 nm dan katta bo‘lmaganda 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‘lmadi (o‘lchashlar aniqligi yetarlicha bo‘lmagani 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 0,5–0,6nm 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 j.mol ⁻¹	σ_s j.mol ⁻²	$\rho_s \cdot 10^{-5}$ mol·m ⁻³	σ_p j.m ⁻²	$\rho_p \cdot 10^{-5}$ Mol·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 nanozarrachaning suyuq qatlami mavjudligi 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 mavjudligini 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 (ΔF -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'lchamlilik 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

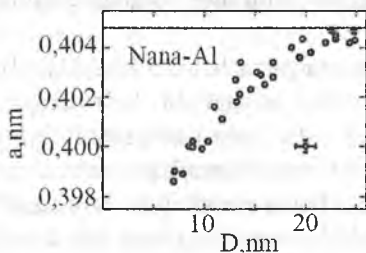
Yirik kristallardan nanozarrachalarga o'tish atomlararo masofalar va kristall panjara davri o'zgarishlariga olib keladi. Asosiy masala panjara davri kamaydimi yoki ortadimi va nanozarrachaning qanday o'lchamlarida bu narsa sezilarli bo'ladi?

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 kattaroq bo'lgan YoMK tuzilmaga o'tish mumkinligini hisobga olish kerak. Elektronografik usuldagi tadqiqotlar 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 kichraytirilganda panjara parametrlarining sezilarli darajada kichrayishi kuzatilgan. Shu bilan bir vaqtda elektronogramma ko'rinishi ham o'zgarib borgan, 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 chiziqlikchalariga 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 diametrlil zarrachalarida panjara parametri yirik holatiga nisbatan mos holda 0,7% va 0,6% ga o'zgarishini ko'rsatadi, alyuminiy zarrachalari diametrlari 20 dan 6 nm gacha kichraytirilganda 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 kislorod kirishmasi mavjud. Ma'lumki, karbidlar va nitridlarga kislorod atomlarini kiritish ular panjaralari davrini sezilarli darajada pasaytiradi. Shularni hisobga olganda, kubik nitridlarda zarrachalar o'lchami kichraytirilganda 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, kremniy 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 SeO_2 kristall panjarasi davrining aniqlangan ortishi, ehtimol, MgO ning nanozarrachalariga o'xshash ularga suv molekullari 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'rinmaydi, 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_2 , Ni_2 , Fe_2 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 kichrayishi 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 Δp ga proporsional, ya'ni $\Delta V/V = -\chi_T(2\sigma/r)$ (χ_T – 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 ishoralar bilan kiradi. Shuning uchun umumiy holda, bosimning ortishi vakansiyalar zichligiga xuddi temperatura pasaygandagi ta'sirga o'xshashi kerak, ya'ni vakansiyalar ortishiga emas, kamayishiga olib kelishi kerak. Demak, yuqoridagi tasavvurga asosan, vakansiya zichligining kamayishi zarracha panjarasi davri qisqarishiga olib kela olmaydi.

Aytish kerak-ki, Laplas bosimining fizik mohiyatidan kelib chiqilsa, u fizik jismlarda 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 σ 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 σ 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 qatlamdagi 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 sirda 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 vositasi-da panjaraga uzatiladi va tekisliklararo masofani qisqartiradi. Fridel tebranishlari amplitudasi sirdan 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 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 termodinamik xarakteristikalarini yirik moddalarnigiga nisbatan o'zgarishining asosiy sababi, fononlar spektrining ko'rinishi va chegaralari o'zgarishidan iborat, ya'ni atomlar tebranishlari chastotalari taqsimot funksiyalarining o'zgarishidir. Buni kremniy monokristali namunalari va uning kukunlarini sekin neytronlarning noelastik sochilishi usulida o'rganish natijalari tasdiqlaydi. Chastotalar taqsimoti $g(\omega)$ funksiyalari mayda kukunlar va yirik Si namunalari uchun sezilarli farq qiladi.

Tadqiqotlar mayda zarrachalarning fononlar spektrida, yirik namunalarda kristallarida uchramaydigan, past chastotali moddalar paydo bo'lishini ko'rsatadi. Nanozarrachalarda zarrachaning eng katta o'lchami D ni ikkilangan qiymatidan katta bo'lmagan 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 cheklanish bo'lmaydi. ω_{\min} ning qiymati moddaning xossalari, zarrachaning shakli va o'lchamlariga bog'liq. Zarrachaning o'lchamlarini kichraytirish fononlar spektrini yuqori chastotalar tomoniga siljitishini kutish mumkin. Nanozarrachalarning tebranish spektrlarining alohida xossalari birinchi navbatda uning issiqlik sig'imida aks etadi.

Past chastotali tebranishlar tomonidan cheklangan xususiy tebranishlar taqsimotini o'rganish asosida to'g'ri burchakli zarrachani geometrik xarakteristikalarini hisobga olgan holda, xususiy 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_1 va c_2 - bo'ylama va ko'ndalang elastik tebranishlar tezligi, $c_j^{-1} = c_j^{-1} + 2c_j^{-1}$ - effektiv tezlik ($g(v)$ dan $g(w)$ $g(\omega)$ ga o'tishda $g(\omega) = (1/2\pi) g$ ifodadan foydalanildi. Aytish kerak-ki, elastiklik nazariyasida faqatgina $c_3^{-1} = c_3^{-3} + 2c_3^{-3}$ 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

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

gi ko'rinishga ega:

$$c_2^{-1} = \frac{2c_1^4 - 3c_1^2 c_1^2 + 3c_1^4}{c_1^2 c_1^2 (c_1^2 - c_1^2)}. \quad (2.23)$$

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 moddalar umumiy soni

$$3N = \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} g(\omega) d\omega \quad (2.24)$$

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'lad. 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 ω_{\max} dagi o'xshash ifoda bilan to'la mos keladi.

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

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

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

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

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

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 Debay hissasi $(12\pi^4 N k_B / 5) (T / \vartheta_D)^3$ bo'lad ($\vartheta_D = \hbar \omega_{\max} / k_B$ - 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 doimiylar.

(2.27) va (2.28) lardan ko‘rinadiki, mayda zarrachalar holda 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 δ – ruxsat etilgan qo‘shni holatlar orasidagi energetik tirqish

$\omega_{\lambda,s} = k_{\ell,s} c_t = c_t a'_{\ell,s} / r$ $k_{\ell,s}$ – to‘lqin vektori, c_t – ko‘ndalang elastik tebranishlar tezligi, $a'_{\ell,s}$ – λ 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 ω_{\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:

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

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

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

bunda \mathcal{G}_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.

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

Yuqori temperaturalarda $T \gg \mathcal{G}_D$ (2.33) ni integrallashning yuqori chegarasi $1 \gg \mathcal{G}_D/T \rightarrow 0$, $D(x) \rightarrow (1/3)\mathcal{G}_D/T^3$ 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'imining tebranishlarga tegishli qismining ortishi, kvant o'lchamlik effektlarini e'tiborga olgan holda:

$$\Delta C = C_V(r) - C_V = \mathcal{G}_m \sum_l \sum_s \frac{3(2l+1)k_B}{4\pi r^3} \xi^2 \frac{\exp\{\xi\}}{(\exp\{\xi\} - 1)^2} \quad (2.34)$$

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

l ni $\sum_{l=0}^{l_{\max}} (2l-1)$ gacha birga qiymatlari bo'yicha yig'indisi olinadi. (2.34) va (2.32) ifodalar va (2.27) yoki (2.36) formulalardan ko'rinadiki, $\eta\omega_{\min} / k_B \ll T < \mathcal{G}_D$ bo'lganda mayda zarrachaning issiqlik 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 hisssasi $C_{el} = \gamma_e T$ ni qo'shadi.

Nanozarrachalar elektron issiqlik sig'imini, ulardagi atomlar soni cheklanganligi tufayli vujudga keladigan elektronlar energetik sathlarining uzluqligi tufayli, baholash qiyinlashadi. Mayda zarralar va past temperaturalar holatida, sathlararo masofa $\delta = \eta r_G / 2t^* D > k_V T (r_G - \text{Fermi impulsi, } D - \text{zarracha o'lchami, } t^* - \text{o'tkazuvchanlik elektronining effektiv massasi})$ 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 hisssasi 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 $k = (6\pi^2 / \mathcal{G})^{1/3}$ - yirik modda chegaraviy to'lqin vektori va $\mathcal{G} = V/N$ -atom hajmi bo'lsa, $N = (2/9\pi) k^3 r^3$ 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:

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

(2.30) ifodani oxirgi qo'shiluvchisi $r k_n$ ni hisobga olmaganda Debyay temperaturasi uchun soddaroq ifoda hosil qilish mumkin:

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

Biroz kamroq aniqlik bilan bu ifodani yanada soddaroq ko'rinishda yozish mumkin:

$$\frac{\mathcal{G}_D(r)}{\mathcal{G}_D} \approx 1 - \frac{3\pi}{8rk} \quad (2.39)$$

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

$$\frac{\mathcal{G}_D(r)}{\mathcal{G}_D} \approx \frac{1 + (\pi S/8Vk)}{1 + (\pi S/4Vk)} \quad (2.40)$$

Sirtiy taranglik σ ni ham qo'shib hisobga olinganda (2.39) ifoda quyidagicha bo'ladi:

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

bunda γ —Gryunayzen doimiysi, X_T - izometrik siqiluvchanlik. Debyay $\mathcal{G}_D(r)$ temperaturasining tovush effektiv tezligi c ga bog'liqligini

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

$$\mathcal{G}_D(r) = \frac{\hbar\omega_{\max}}{k_B} = \frac{\eta a'_{\max} c(r)}{k_B r} \quad (2.42)$$

Ko'p hollarda nanozarracha Debay temperaturasi $\mathcal{G}_D(r)$ mos holdagi yirik moddaniki \mathcal{G}_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'rganilgan 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 (Δ -qo'shni elektron sathlar orasidagi masofa, μ_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 ($k_B T / \Delta > 1$) toq va juft elektronli zarrachalar paramagnitizmi asimptotik ravishda Pauli paramagnitizmiga intiladi.

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

Magnitik qabulchanlikning nanozarrachalar o‘lchamlariga bog‘liqligi 1 dan 1000 gacha nanometrli selen va tellur nanozarrachalarida kuzatilgan: Se zarrachalari o‘lchamlarini kichraytirish ular diamagnitizmini ortishiga, Te uchun esa Van-Flek orbital paramagnitizmi ortishi tufayli χ qarama-qarshi yo‘nalishda o‘zgaradi.

Keltirilgan misollar boshqa ko‘plab metallarda ham biroz chetlanishlar bilan kuzatiladi. Tadqiqotchilarning 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’sirlashuvi 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 muvozanatli 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 jinslilikini 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 siljitishdan 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 N_i 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 munosabatlaridan kelib chiqqan holda ko'rsatish mumkinki, issiqlik tufayli magnitik moment yo'nalishlari fluktuatsiyasi ferromagnetiklik yo'qolishiga olib keladi, Kyuri temperaturasidan past temperaturalarda ferromagnetizm yo'qolib ketadigan holdagi nanozarraning kritik chiziqiy o'lchami 1 nm atrofida bo'ladi.

Haqiqatan, agar ferromagnetik zarracha chiziqiy o'lchami δ_0 zarrachaning ichida erkin tarqala oladigan elektron impulsi r bo'lsa, u Δr 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:

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

yoki η va m_e qiymatlarini hisobga olgan holda bo'ladi.

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

Bunda Δ_{ε_0} joullarda, δ_0 - metrlarda o'lchanadi. Δ_{ε_0} energiya mag-

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

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

Shuning uchun $\Delta\varepsilon_{almash}^{\max}$ 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 $\Delta\varepsilon_0$ (2.45) va tartiblovchi almashish energiyasi A (2.46) ni bir-biriga tenglab, $\Delta\varepsilon_0$ energiya ta'sirida har qanday temperaturada ham magnitik momentlarning tartibsizlanishi tufayli ferromagnitik zarrachaning ferromagnetizmi yo'qoladigan kritik chizig'iy o'lchovi δ_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 500–1000K bo'lgan zarrachani ferromagnetizm yo'qoladigan va superparamagnitik holatga o'tadigan kritik chizig'iy o'lchami 1nm 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 20nm 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 qatlamning boshqa magnitik xossalari ham bo'lishi mumkin.

Agar sirtiy qatlam 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_r pasayishini ayrim mualliflar metall nanozarrachalar sirti oksidlanishidan 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.

$Fe_{0,9}Si_{0,1}$ 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 $D < 10$ nm bo'lganda T_s ning sezilarli darajada o'zgarishi yuz beradi, $D = 2$ nm da nanozarracha T_s si massiv metallnikidan 10% dan ko'p farq qilmaydi. Monte – Karlo usuli bilan superparamagnitik zarrachalar termodinamikasini o'rganish bu zarrachalarda magnitik o'tishlarning ochiq ko'rinib turadigan o'tishlar bo'lmagani 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 nanozrachelari diametrlarini 2nm gacha kichraytirilganda T_s mos holda 7 va 12% gacha kamayishi kuzatilgan. Aytish kerak-ki, ferromagnitik nanozrachelarda supermagnetizm hodisasi N_s to'yinish magnitlanishini va Kyuri temperaturasi 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 $k_B T$ 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 vaqti τ_r o'tgandan keyin 0 ga teng bo'lib qoladi.

Diskret orientatsiyalar modelida relaksatsiya vaqti

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

Agar o'lchash vaqti τ_m relaksatsiya vaqti τ_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 fluktuatsiyalari magnitik momentlar yo'nalishlarini 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 nanozrarcha $T < T_b$ da ferromagnetik, $T > T_b$ da -superparamagnetik holatlarda bo'ladi.

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

$V > V_b$ 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 – magnetometrda 2–300 K temperatura intervalida o‘rganilgan. 300K da Co nanozarrachalari superparamagnetik holatda bo‘ladi. T_b ni 22 dan 50K gacha o‘zgartirish zarracha o‘lchamini 1,8 dan 4,4 nm gacha kattalash-tirishda $T_b = KV/30k_p$, ya’ni (2.49) munosabat bilan ifodalanadi. Bundan topilgan T_b (V) bog‘lanishni va T_b hamda zarracha o‘lchamlari tajri-baviy qiymatlaridan foydalanib, anizotropiya doimiysi K ning o‘lcham-ga bog‘liqligi topilgan: $1,8nm \leq D \leq 4,4nm$ oraliqda o‘lchamni kichikla-nishi bilan K ortadi va YOMK kobaltning yirik namunalarinikidan ham katta bo‘ladi. Koersitiv kuch H_s ni hamma o‘lchamli nanozarrachalar ferromagnetik holatida bo‘ladigan 10 K da o‘lchanganda n-Co zarra-chalari o‘lchamlarining kattalashishi bilan uning ortishi bir domenli zarrachalar xossasiga mos keladi. Kobalt nanozarrachalari uchun T_b , K , H_s larning o‘lchamga bog‘lanishlari tabiati boshqa ferromagnetik metallarning shunday kattaliklariga mos keladi.

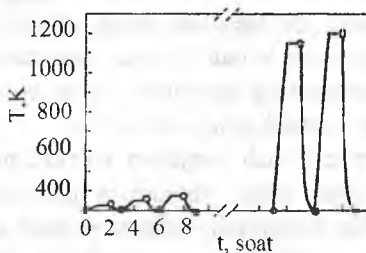
Magnitlanganlikni o‘lchash natijalari ko‘rsatishicha, $T=2K$ da Co nanozarrachalarini hatto 55kE maydonda ham to‘yinishga erishil-maydi. Shuning uchun magnitlanganlik to‘yinishi $I_s(1/n)$ bog‘lanishni $(1/n) \rightarrow 0$ gacha davom ettirish (ekstrapolyatsiya qilish) orqali topildi. Zarrachalar o‘lchami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

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

JYUCH - generatorni qo‘llab plazma kimyoviy usul bilan olingan γ - Fe_2O_3 nanokristali kukunni ($D \sim 4-7nm$) magnitik xossalari o‘rga-nish, $T_b=80K$ bo‘lganda u supermagnetik ekanligini ko‘rsatdi. Tem-peratura $T < T_b$ 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 himoyalaniş temperaturasiining o'lichamlarga bog'liqligi 3–10nm oraliqda chizig'iy bog'lanishga yaqin bo'lgan va (2.49) funksiya bilan ta'riflanadi.

Mis matritsada taqsimlangan Fe nanozarrachalari superparamagnetizmini o'rganishlar ko'rsatishicha, 0,01% temir atomlari aralashgan dastlabki mis 300–1225 K temperaturalar oralig'ida diamagnitlik xossalari ega bo'lgan. Shunday misni teng kanalli burchakli bosimlar (haqiqiy logarifmik bosim darajasi $e \approx 3,5$) ostida o'lichamlari 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 300K dan T-kuydirish temperaturasi gacha qizdirish, shu holda 1 soat ushlab turish, shundan keyin magnitik qabulchanlik χ ni o'lchash, 300K gacha sovutish va yana χ ni o'lchash, yana T gacha qizdirish va h.k. usulida olib borilgan (2.6 - rasm).

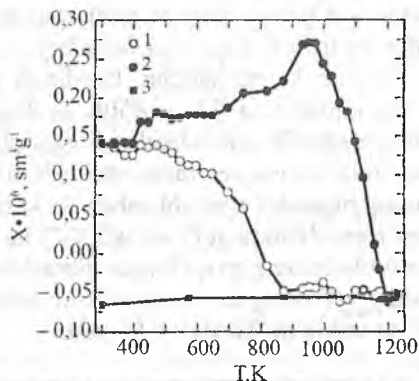


2.6-rasm. Kuydirish tajribasida o'lchashlar ketma ketligi: ○ – kuydirish temperaturasiidagi o'lchashlar; ● – kuydirishdan so'ng 300K gacha sovutilgandagi o'lchashlar.

Temperatura 300K dan 1225 K gacha har 25 K dan keyin o'zgartirib borilgan. Bevosita kuydirish temperaturasiida qilingan o'lchashlar magnitik qabulchanlikka tegishli va $\chi(t)$ bilan belgilanadi. Kuydirishdan keyin va 300K gacha sovutilganda o'lchangan χ 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 $T_n \approx 425\text{K}$ (misni submikro-kristal-likdan yirik donadorlik holatiga o'tishi) yaqinida χ sakrab o'zgaradi, 450–650 K oraliqda ko'p o'zgaraydi va keyingi temperatura ortishida χ o'sadi, 975K da maksimumdan o'tadi va diamagnetik qiymatlargacha pasayishi kuzatiladi, 850K da misning χ sining temperaturaviy bog'lanishiga o'tadi.



2.7-rasm. Magnitik induksiya 8,8 kHz maydonda temir aralashmali n-nokristallik mis (n-Cu) matritsa magnitik qabulchanligi χ 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.

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

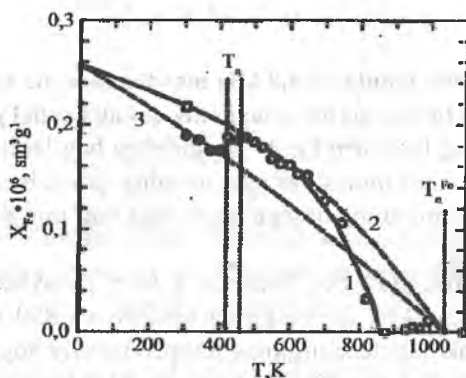
Tadqiqotlarda aniqlangan $\chi(t)$ va $\chi(300t)$ ni $T_n \approx 425\text{K}$ dagi sakrab o'zgarishi haqida ham misning submikrokristalldan yirik donadorlik holatiga o'tishini bildiradimi degan savolga javob olish uchun nazariy va tajribaviy ma'lumotlar tahlil qilindi.

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'rilyotgan 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 tushuntirish qiyin. Tahlillar ko'rsatishicha, kuydirish $\chi(300T)$ va temperaturaviy $\chi(T)$ bog'lanishlarda 425 – 450K oraliqda χ 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'lanishlarida sakrash kirishma atomlarining χ ga qo'shgan hissasidan deb olsak, $\chi(T)$ dan $\chi_{Cu}(T)$ ni ayirib, $\chi_{Gc}(T)$ 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 temperaturasi T_c^{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'ilmalari zarrachalarini bir xil o'lchamli va Fe uchun Kyuri temperaturasi T_s 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 zarrachalari superparamagnetik bo'lganda vujudga kelishi mumkin. O'lchamsiz kattaliklarda T temperatura va H magnitik maydonda χ_{SP} supermagnetizmlilik hissasi

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

ko'rinishda olish mumkin. Bunda $L-[cth(x)-1/x]$ – Langranj funksiyasi, n_{SP} – superparamagnetik zarrachalarning birlik hajmdagi soni; V_{SP} – zarracha hajmi, $M_S(T)$ - T temperaturalarda ferromagnetik 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 $M_S(0)=1740Hz$ va $T_s=1043K$. $M_S(0)$ ning ushbu qiymatiga Fe atomi uchun $2,22 \mu_V$ (μ_V – bor magnitoni) magnitik moment mos keladi.

Ferromagnetik hissasi oddiy monokristall temir uchun Kyuri temperaturasidan 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, $C=43$, $E_m/k_y=9217K$ yoki $E_m=0,79eV$.

O'Ichamliksiz hajmiy χ_{SP} va atomlar zichligi c_{Fe} dan ferromagnitik fazaning (zichligi eruvchanlik natijasida o'zgarib turuvchi) massiv (χ) 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'irliklari, $\rho_{Fe} = 7,86g \cdot sm^{-3}$ –temir zichligi. $\chi_{Fe}(T)$ ni, (2.50)–(2.52) larni hisobga olgan holda, (2.53) ifodaga asosan 425–1053K oralig'ida aproksimatsiyalash va Kyuri temperaturasi $T_s=1043K$, siljish energiyasi $E_m=0,79eV$ ligini e'tiborga olinsa, tajriba va hisoblash natijalarini birmuncha mos kelishi kuzatiladi.

Shunday qilib, agar temirning misda 650K gacha eruvchanligi hisobga olinmasa, supermagnitik kirishmaning misdagi 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 χ si o'zgaraydi deyilsa, χ_{Fe} ning tajribaviy qiymatini nanoo'tishgacha bo'lgan χ bo'yicha aproksimatsiyalash mumkin (2.8-rasm, 3-egri chiziq). Bundan ko'rinadiki, 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 zarrachaga 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. 450–600K oralig'ida $\chi(300, T)$ bog'lantirish 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 darajada 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 300K gacha sovuтилgan superparamagnetik 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. Magnitlik qabulchanlik χ ning ortishi qolgan qismini boshqa omillar, masalan, nanozarrachalar to'yinish magnitlanishi M_s ning yirik namunalarda kichikligi yoki sovutishda ko'p miqdordagi ferromagnetik massalarning ajralishi bilan tushuntirish mumkin. Tahlillarning ko'rsatishicha, χ ning 1000–1225 K oralig'ida kamayishi namunalarni katta tezlikda sovutish, ya'ni yuqori temperaturali holatda toblash orqali undagi ferromagnetikli 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, magnitlik qabulchanlikni o'lchashlar diamagnetik taglikdagi ferromagnetik nanozarrachalar xossalari o'rganishda ko'proq axborot olish mumkin bo'lgan usul ekan. Matritsaning bo'lishi ferromagnetik polikristallning tarkibiy relaksatsiyalanish temperaturasida

nanozarrachalarni tezkor o'sishiga xalaqit 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 namunalarga nisbatan o'ziga xos xususiyatlarga ega. Bu xususiyatlar ko'psonli 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'rinadigan qismida yirik namunalarda uchramaydigan yutilish chiziqlari (cho'qqilari) paydo bo'ladi. Masalan, Au zarralarining donadorlik 4 nm diametrlilik 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'liq uzunligi ortishi bilan yutilish ham ortib boradi.

Optik xossalarning o'lchamlik effektlari o'lchamlari yorug'lik to'liq uzunliklaridan sezilarli darajada kichik bo'lgan va 10–15 nm dan katta bo'lmagan 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'lmasligi kerak. Bunday miqdordagi bir xil o'lcham va

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

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

$$\varepsilon_2(\omega) = \varepsilon_{\infty,2}(\omega) + \frac{A(\omega)}{r}, \quad (2.54)$$

bunda $\varepsilon_{\infty,2}(\omega)$ – 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'zgarimas to'lqin uzunlikli nurlanishda $\varepsilon_2 \approx 1/r$ 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 metalltdagi elektronlarning erkin yugurish yo'li λ_{∞} dan kichik zarralardagi elektronlarning erkin yugurish yo'li zarracha radiusi r ga teng. Bu holda yorug'lik yutilishidagi effektiv relaksatsiya vaqtini

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

ko'rinishida ifodalash mumkin. Bunda $\tau = \lambda_{\infty} / g_F$ – yirik metall namunasidagi relaksatsiya vaqti; g_F – elektronlarning Fermi sathidagi tezligi. Zonalaro o'tishlarni hisobga olmasdan va faqat erkin elektronlar harakatini hisobga olgan holda

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{w_p^1}{w_p^2 + 1/\tau_{ef}} \quad \varepsilon_1 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega_1^2 + 1/\tau_{ef}} \quad (2.56)$$

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

Mi nazariyasida yorug'lik yutilishining eng katta qiymatiga $\varepsilon = -\varepsilon_j(\omega_j)$ sharoitida erishiladi. Buni hisobga olgan juda mayda zarrachalar uchun $\tau_{ef}^{-1} \approx g_F / r$ bo'lgan 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 tomonga 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'rinadi. 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 lyuminescent xossalari o'rganishda o'lcham effektlariga qiziqish ortmoqda, chunki yarimo'tkazgichlar zonalar tizimini o'rganishda optik yutilish asosiy usullardan biridir. Yarimo'tkazgichlarda molekulararo 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 kristaldagi 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; $\eta = 1, 2, 3, \dots$] bilan ham belgilanadi. Yarimo'tkazgichlarda Bor radiusi $0,7 \text{ nm}$ (Cu, Cl da) dan 10 nm (Ga As

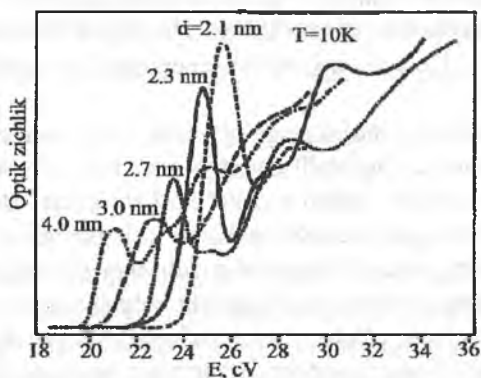
da) gacha o'zgarishi mumkin. Ayrim molekulada elektron qo'zg'otish energiyasi makroskopik yarimo'tkazgichlardagi sohalararo (ta'qiqlangan soha kengligi energiyasi) o'tish energiyasidan sezilarli darajada kattaroq bo'ladi.

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 nanozarrachalari 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 kristalda eksiton energiyasi kristallning ta'qiqlangan zonasi 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:

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

Bundagi birinchi va uchinchi hadlar yig'indisi taqiqlangan zonaning effektiv qiymatiga teng. (2.58) ifodadan ko'rinadiki, 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 Si_3N_4 kristaliga nisbatan E_g ning ortishini IQ va fluoressensiya emission spektrlarini o'rganishda aniqlangan.

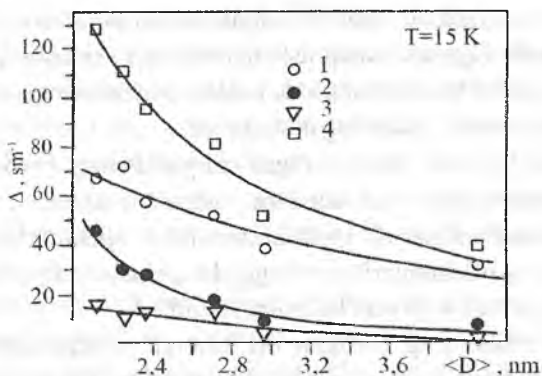


2.9-rasm. 10K da diametrlari 2,1 dan 4,0 nm gacha bo'lgan CdSe nanozarrachalarining optik yutilish spektrlari

Eksitonni qo'zg'atish energiyasi $E = \eta\omega(\omega - \text{tushayotgan yorug'lik chastotasi})$ bo'lgani uchun (2.57) dan ko'rinishicha, nanozarracha o'lchami kichrayishi bilan optik spektr chiziqlari yuqori chastotalar tomoniga siljishi kerak. Mana shunday siljish (0,1eV gacha) CuCl nanozarrachalari ($D=31,10$ va 2nm) 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 1200sm^{-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 nanozarrachaning 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 Δ va uning hissa kataligining 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 kristaldagi kirishma atomlari va panjara nuqsonlaridan elastik sochilishi hissasi (2.9-rasm, 1). Bu hissa nanozarracha o‘lchami, 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.

Ikkinchi 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 chiziqiy ravishda ortib boradi. Past chastotali tebranishlar bilan bog‘liq bo‘lgan 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 vaqti 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'liqin funksiyalarining 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 rekombinatsiyalanishi nanozarrachalar lyuminessensiyasiga olib keladi. Yarimo'tkazgichlar nanozarrachalarini lyuminessensiyasi spektrlarini o'rganish zarrachalarning o'lchamlari kichrayganda spektrlarning qisqa to'liqinli ko'k tomoniga siljishiga olib kelishini tasdiqladi.

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

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

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

Bunda E_{\min} – radiusi r bo'lgan nanozarrachaning lyuminessensiyasini 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'liqin 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 xossalarning (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.

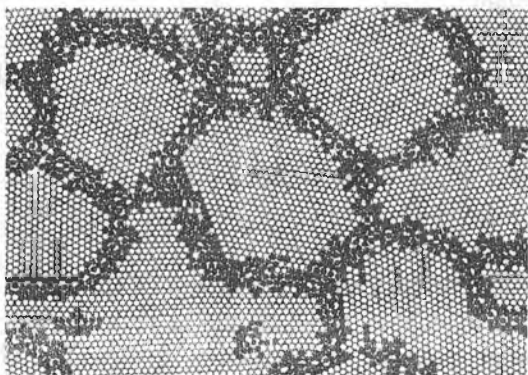
Tegib turish chizig'i deb uch va undan ortiq donadorliklar uchun umumiy chiziqqa aytiladi. Buni uchlangan birikish deb ham ataladi. Bunday uchlangan birikish polikristallarda mavjud bo'lgan barcha tegib turish chiziqlari orasida uchrab turadi. Tegib turish nuqtasida odatda, oltitagacha donadorliklar 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 usullariga qarab ularning nazariy zichliklarining 70–80% dan 95–97% gacha bo'lishi mumkin. Eng oddiy holatlarda bir turdagi atomlardan iborat nanokristall tuzilishi bilan farq qiluvchi ikki xil tarkibdan iborat: o'lchamlari 5–20 nm li tartiblashtirilgan dona (kristallitlar) va kengligi 1,0 nm gacha bo'lgan kristallitlararo chegara (2.11-rasm). Barcha kristallitlar bir xil tuzilishga ega bo'lib, faqat kristallografik yo'nalishlari 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'nalishi bilan belgilanadi. Qo'shni kristallitlarni har xil joylashishi modda zichligining bo'linish chegarasida biroz kamayishiga olib keladi. Bundan tashqari, bo'linish chegarasiga tegishli bo'lgan atomlar kristallitlardagi atomlardan farqli bo'lgan yaqin qo'shnilarga 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 yoʻqligi bilan taʼriflanadi. Bunday holatni atomlar harakatchanligini emas, ularning joylashishlarini eʼtiborga olib gazsimon holat deb ataladi (2.11-rasm). Kristallitlararo modda ixchamlashtirilgan nanomoddalarda bir muncha tartibsizlanishini difraksion usuldagi tadqiqotlar ham tasdiqlaydi.



2.11-rasm. Nanokristall materialini ikki oʻlchamli kompyuter modeli

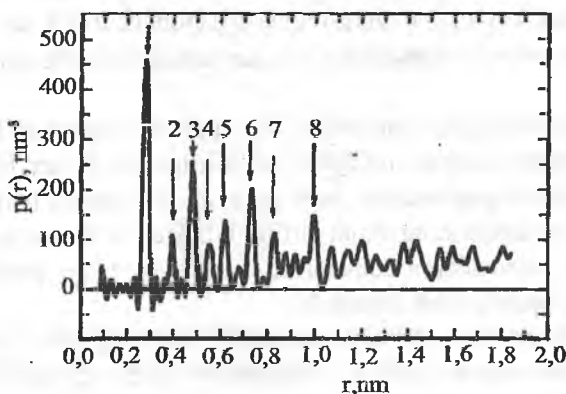
Shuning bilan birga nanomoddalarda boʻlinish chegarasi tuzilishi oddiy polikristallardagi shunday holatlarga oʻxshash va atomlarning chegaralardagi oʻzaro joylanish tartibi darajasi tasavvur qilinganidan yuqoriroq. Yirik donadorlik tuzilishli palladiyning nanokristallik palladiyga nisbatan rentgen difraksiyasi oʻzgarishi kristallitlarning kichik oʻlchamlari va donadorliklar boʻlinish chegaralaridagi yoki donadorliklarning oʻzlaridagi kuchlanishlarga bogʻliq va bu sifatlar donadorlik chegarasi fazasi gazsimon tuzilishiga yoki donadorlikdagi vakansiyalarning katta miqdoriga bogʻliq emasligini koʻrsatadi.

Nanomoddalarni yuqori sezgirli elektron mikroskop yordamida tekshirishlarning koʻrsatishicha, oddiy polikristallardagidek nanomoddalarda boʻlinish chegarasidagi atomlar faqat ikki qoʻshni kristallitlar taʼsiri ostida boʻladi. Gʻovaklar boʻlinish chegarasini butun uzunligida emas, faqat uchlangan ulanish joylaridagina aniqlangan; kristallitlararo chegaradagi atomlar zichligi kristallitlardagiga yaqin boʻlgan.

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

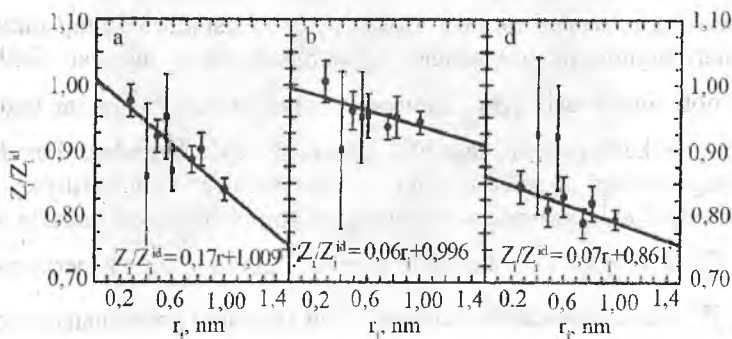
$$\rho(r) = x_\lambda \rho_\lambda(r) + (1 - x_\lambda) \langle \rho \rangle_{gb} \quad (2.60)$$

ifodasidan foydalanilgan. Bunda r —atomlararo masofa; x_λ —kristall panjara tugunlaridagi atomlar hisyasi; ρ_λ — kristallitni tashqi qatlam atomlari tugunlarida joylashgan nanokristall uchun atomlar zichligi taqsimoti funksiyasi; $\langle \rho \rangle_{gb}$ hamma atomlari kristall panjarani tugunlariga mos kelmaydigan, tasodifiy holatlarda joylashgandagi donadorlik chegarasidagi atomlar zichligi. x_λ qiymatini $\rho(r)$ ni tajribaviy qiymati 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 hisyasi x_λ 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-rasmda 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_2 ning qiymati, o'lchash aniqliklari chegarasida, 1 ga teng (2.13-a va b rasm).

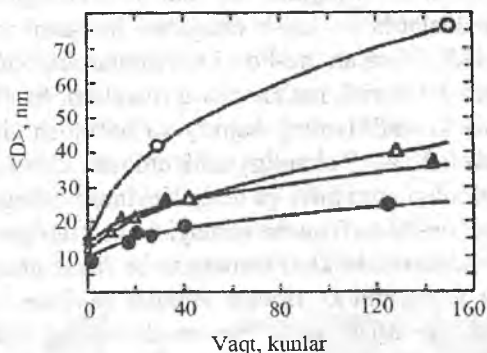


2.13-rasm. nc-Pd namunalarda nisbiy koordinatsion son Z_i/Z_i^{id} ning atomlararo r_i masofaga bog'liqligi; a—nc-Pd uy temperaturasida 4 oy saqlangandan keyin; b—o'sha namuna qo'shimcha 973 K da kuydirilgandan keyin; d—yangi tayyorlangan dastlabki nc-Pd namuna

Yangi tayyorlangan namunalar ixchamlashtirilgandan keyin o'n kundan ko'p bo'lmagan 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 olingan ixcham namunalarda donadorlik chegaralari yaqin tartibli nomuvozanat holatda bo'ladi demakdir.

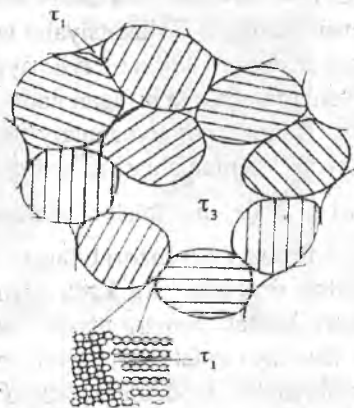
Bunday holat hatto uy temperaturasida ham turg'un emas va 120–150 kun davomida kristallitlar o'lchamlari 12 dan 25–80 nm gacha ortadigan artiblanganroq holatga o'tadi (2.14 - rasm).

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



2.14-rasm. Ixchamlashtirilgan nc-Pd namunalarida donadorlik o'lchamlari (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 olingan mikroskopik erkin hajmli nanokristall moddani ikki o'lchamli modeli (τ – pozitronning annigilyatsiya vaqti): τ_1 – bo'linish chegarasiga vakansiya, τ_2 – vakansiyalar birlashmasi (taxminan 10 ta vakansiya hajmiga teng nanog'ovak), τ_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 hajmiy va bo'linish chegaralari his-salari mos holda 0.3 va 0.7 ekanligi kelib chiqadi, kristallitlararo mod-daning nisbiy zichligi atigi 50% ga teng. Keyinroq qilingan tadqiqotlar ikki faza zichligi nc-Pd da 0 gacha kamayishi ko'rsatilgan. Bu esa ney-tronlarni 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.

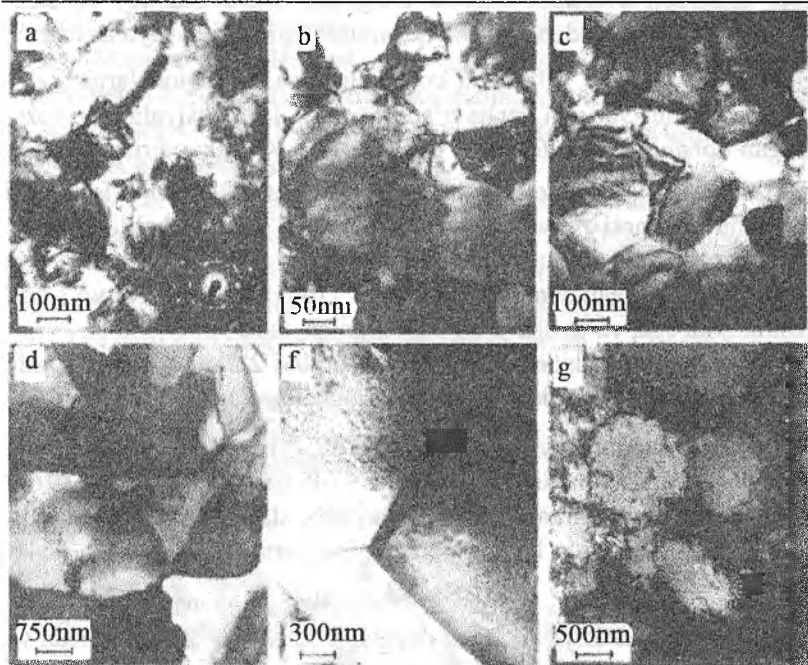
2.7. Submikron kristallik metallar tuzilishining xususiyatlari

Hozirgi zamonda monokristallik moddalarda bo'linish chegarasi gazsimon tuzilishga ega degan farazlar haqiqatga mos kelmasligi sezilib qolmoqda. Bunga qarama - qarshi tasavvur sifatida uchlangan tu-tash joylarida kompensirlanmagan dislokatsiyalar va bevosita bo'linish chegaralarida dislokatsiyalar mavjudligi tufayli paydo bo'ladigan ortiq-cha (yuqori darajada) energiyaga ega bo'lgan nomuvozanatiy bo'linish chegaralari olinmoqda. Bunday nomuvozanatiy bo'linish chegaralari-ning uzoqqa ta'sir etuvchi kuchlanishlari maydoni donadorliklar ichi-dagi tashkil etuvchilari $r^{-1/2}$ (r - bo'linish chegarasigacha bo'lgan ma-sofa) ga proporsional deformatsiya tenzori bilan aniqlanadi.

Demak, kuchlanishlar maydoni eng katta qiymati bo'linish che-garasi 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 etil-gan. Elektron mikroskopiya usullarida tadqiqotlar ko'rsatishicha, sub-mikrokristall moddalar xususiyatlarining asosiysi undagi yo'nalishlarni erkin holda tarqoqlashtirilgan nomuvozanatiy donadorlilik chegaralari mavjudligidir.

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'lgani uchun, bu holda nomuvozanatli bo'linish chegaralari elastik kuchlanishlar manbayi bo'lib xizmat qiladi. Kuydirilganidan keyin donalarning ko'p qismi dislokatsiyalardan tamomila ozod bo'ladi. Ekstinksiyon 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 namunalari kvazigidrostatik bosim ostida buralishi bilan logarifmik darajasi $e=7.0$ bo'lgan deformatsiya hosil qilindi. Jadal plastik deformatsiyadan keyin namunalarda 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 $\approx 200 \text{ nm}$ 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.

Ekstinksiyaning donalar ichidagi egilgan konturlari va chegaralardagi diffuzion keskinlik donalar chegarasi nomuvozanatiy holatdiligiga 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 tozalangan donalar hissasi 60–70% ga yetdi. 535 K da kuydirish donalarning 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 holatlariga qaytadi.

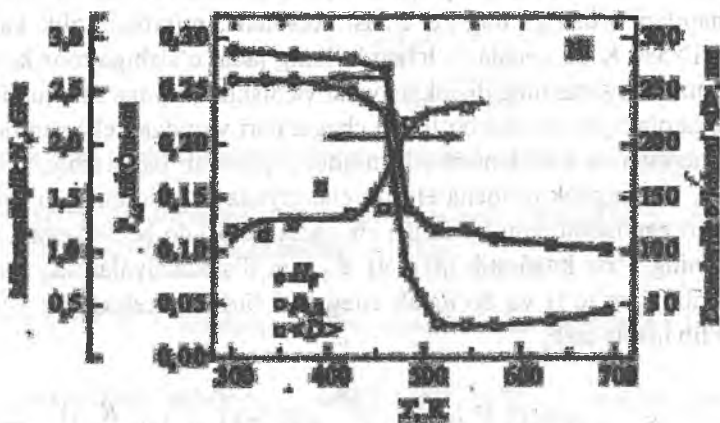
575 K da kuydirilganda donalar o'lchamlari 2,2 mkm gacha ortadi. 10–20% donadorliklarda panjaraviy dislokatsiyalar zichligi (0,3–1,5) $\cdot 10^9 \text{ sm}^{-2}$ qolganlarida $\rho_{V,b} = 2 \cdot 10^7 \text{ sm}^{-2}$ dan ortmaydi, ya'ni ko'pchilik donalar dislokatsiyalardan tozalanadi. 795 K da kuydirilganda (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 $\rho_{V,b} = 4 \cdot 10^3 \text{ sm}^{-2}$ 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. Taxlillar 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 temperaturada sodir bo'ladi.

Bo'linish chegaralarida elastik kuchlanishlar mavjudligi tasdig'i sifatida 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'rinadi. Ulardan biri (Fe atomlarining kristallitlardagi holati) Fe ni odatiy yirik donadorlik γ -Fe dagi holatiga mos keladi.

Ikkinchi 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 olingan Ni_3Al qotishma uy temperaturasida, 8GPa kvazigidrostatik 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_3Al donachalari hosil bo'ladi. Submikrokristallik Ni ni kuydirish temperaturasini 450 K gacha ko'tarish uning hajmi o'zgarmagan holda qoldiq elektrik qarshiligi (ρ_{42}) va qattiqligi mos holda pasayishini ko'rsatdi (2.17 - rasm).



2.17-rasm. SMK – Ni donalarining qoldiq elektrik qarshiligi (ρ_{42}), mikroqattiqligi va donalari o'lchamlarining kuydirish temperaturasiga bog'liq holdagi evolyutsiyasi.

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

Ni₃Al 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 parametrlari 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 parametrlari 0.6 gacha ortishiga olib keladi. 830 K – 1330 K temperaturalar oralig‘ida 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.

Ni₃Al 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‘shishiga 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 ϵ_{disl} ni dislokatsiyalarning tartiblashtirilmagan to‘ri va bo‘linish chegarasi birlikka keltirilgan yuzasi deb olib hisoblasak,

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

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, ρ va $\rho_v \approx 3\rho/D$ — dislokatsiyalarning chizig'iy va hajmiy zichliklari, R — yirik donadorlik polikristalldagi dona o'lchami, G —siljish moduli, ν —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:

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

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

bunda $\langle \Omega^2 \rangle$ -disklinatsiyalarning o'rtacha kvadratik quvvati. Hisoblariga ko'ra, disklinatsiyalar 1–2° 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 nm

bo'lgan Al SMK uchun $\gamma_{ex. dist} \approx 0,3 J \cdot m^{-2}$ va $\gamma_{ex. discl} \approx 0,06 J \cdot m^{-2}$,

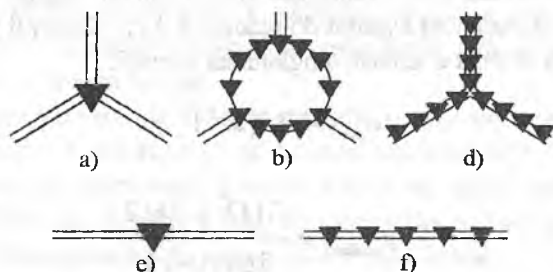
dislokatsiyalar tufayli hajm o'zgarishi $\frac{\Delta V}{V} = 4 \cdot 10^{-4}$. Hajm o'zgarishi

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 tutashmalaridagi 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'shni 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 elastiklik 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'ylab 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 qo'lishi 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'zgartiridan 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'lmagan holatda tarkibiy difraksion aks etish nazariy jadalligi, q - difraksion vektor $|q| \equiv q = (2 \sin \theta) / \lambda$;

$\exp\{-2M\} \equiv \exp\{2\pi i q u_j\}$ – atomlarni statik va dinamik (issiq-lik) 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 eritmaning diffuzion sochilish jadalligi $I_D(q)$ ni Laue foni va diffuzion sochilish jadalliklari 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 – hamma-si) atomlar kristall panjara tugunlarini tashlab ketadi. Bu esa tarkibiy qaytish jadalligini $I_0(q)$ dan $[I_0(q) - \Delta]$ gacha kamayishiga va diffuz sochilishga Δ 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 ϑ ortishi bilan fon jadalligining bir tekisda o‘shishiga, atomlar joylashishida tartibning yo‘qligi esa fonni 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 moddalarda kuzatiladi. Kristallitlarning kichik o‘lchamlari (D) bilan bog‘liq

β_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 indeksleri (h, k, l) ga bog‘liq bo‘lgan Sherrer doimiysi. Taxlanish nuqsonlariga bog‘liq bo‘lgan β_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 β_s va β_d radiallarda o‘lchanadi. O‘lcham va deformatsion kengayishlarining qaytish tartibiga bog‘lanish funksiyalari bir-biridan farqli bo‘lgani uchun, ularni difraksion qaytishlar juftlari (h, k, l) dan foydalanib, hissalarini ajratib olish mumkin:

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

bunda β — difraksion qaytishning to‘la kengayishi. Bo‘linishda β_s ni 1 indeksga bog‘liq emas deb olinadi. O‘lcham 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‘lchovi, 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‘ylab siljishi faqat difraksion qaytishlar jadalligini kamaytirib, ularning shakli, kengligi va holatini o‘zgartirmaydi. Kristallitlar o‘lchami kichrayishi difraksion qaytishlarning sezilarli darajada kengayishiga olib keladi. Uzoq ta’sirli 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 ϑ burchaklar tomoniga sijishiga olib keldi. Kristallitlar

o'Ichami oddiy hujayra davri a ning 30 barobaridan kichik ($D < 30a$) bo'lganda $\rho = 0,1H \cdot m^{-1}$ da kengayishning o'Icham 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'Ichamlari kichiklashganda bo'linish chegaralarining 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'lmagan tarkibiy tuzilish mavjud. Shunga o'xshash 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'rinadiki, shisha va amorf jismlarning tartiblanmagan tizimlari tebranishlari spektri oddiy kristallitnikidan keskin farq qilar ekan. Kristallar tebranma holatlarini past energiyalar sohasidagi zichligi Debay qonuni bilan yaxshi tavsiflanadi:

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

bunda ω_D —chastotalar taqsimoti Debay funksiyasining eng katta qiymati.

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

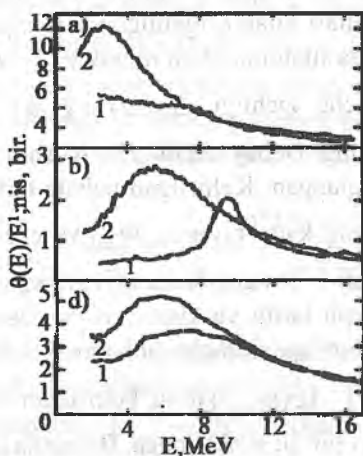
Bunday holatlar haqidagi mavjud tasavvurlarga, asosan, tartiblanmagan moddalardagi holatlar zichligi qo'shimchasini hosil qiluvchi qo'zg'atuvchi tebranishlar manbai birdan bir necha nanometrgacha

o'Ichamga ega bo'lgan bir necha o'ndan yuzlab atomgacha sohaga joylashgan bo'ladi. Shunday qilib, tartiblanmagan moddalar past energiyali 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.

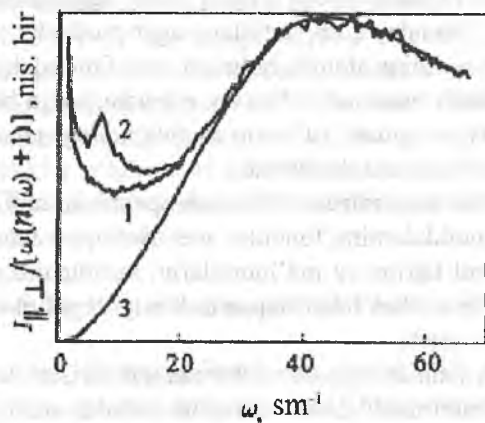
Haqiqatan ham nanozarralar tebranish spektrlari tahlili, nanozarrachalar va nanomoddalarning fononlar spektrlari, past temperaturali issiqlik sig'imlarini tajribaviy ma'lumotlarini tartiblanmagan moddalar past energiyali spektrlari bilan taqqoslash quyidagi holatlarni keltirib chiqarishini ko'rsatadi.

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

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



2.19-rasm. Tebranma holatlar zichligining kristal (1) va shishasimon (2) moddalarda energiyaga bog'lanishi: a – As_2S_3 , b – SiO_2 , d – $Mg_{70}Zn_{30}$ uchun.



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

Shishasimon moddalarda va ularga mos As_2S_3 , SiO_2 , $Mg_{70}Zn_{30}$ kristallarida past energiyali kvazilokal qo'zg'atishlarni neytronlarning noelastik va kogerent bo'lmagan sochilishi va yorug'likning kombi-natsion 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 mod-dalar uchun $\Delta g(\omega)$ eng katta qiymati ω_{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'luvchi omillar amorf moddalar tuzilishidagi alohida ho-latlar universal xarakterga ega ekanligini ko'rsatadi.

Shishalarda yorug'likning kombinatsion sochilishi spektrlarining past chastotali sohalarida kristallar spektrlarida uchramaydigan keng cho'qqi kuzatiladi. Tablillar bu cho'qqi Boze statistikasiga bo'ysunuvchi tebranishlar qo'zg'olishlari birinchi tartibli yorug'lik sochilishi bilan bog'liq ekanini ko'rsatadi. Bozon cho'qqisining eng katta qiymatiga mos keluvchi chastota akustik tebranishlar sohasida bo'lib, har xil moddalar uchun Debay chastotasi ω_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'qqilari hosil bo'lishini tajriba natijalarining eng kam o'zgarishlarisiz ifodalovchi eng optimal funksiya – bu logarifmik normal funksiya

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

Keltirilgan koordinatalarda (2.71) funksiya faqat dispersiya taqsimotidan iborat o'lchamsiz σ parametr bilan aniqlanadi. σ 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

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

yordamida bug'lantirish va kondensatsiya usulida olingan moddalarda nanokristall zarrachalar o'lchamlari bo'yicha taqsimoti aniqlanadi. Bunda D —zarracha diametri, $\langle D_g \rangle$ – o'rtacha diametr, σ_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 klasterlari 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 kuzaatilgan (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 namunalarda spektrlaridagi farq klasterlarning sirtiy tarkiblari tebranish spektriga mos keladi. KRS ni tajribaviy spektrlarida faqat

$$\omega^T = \frac{0.8\mathcal{G}_t}{D} \quad (2.73)$$

chastotali asosiy tarkib ishtirok etadi.

Bunda \mathcal{G}_t —tovushni ko'ndalang tezligi, D -sferik klaster diametri, ω^T —asosiy torsion modda chastotasi.

$\text{MgCr}_2\text{O-MgAl}_2\text{O}_3$ klasterli Al_2O_3 , MgO shishaning yuqoridagiga o'xshash spektri faqat

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

chastotali sferik tebranish tarkibiga ega bo'ladi.

Bunda \mathcal{G}_λ —tovush bo'yлама tezligi. Mana shu ikki holatlar o'rtasidagi farq klaster va asosiy modda elastiklik doimiylarning 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-Regel sharti bajariladi, ya'ni fonon to'lqin uzunligi λ 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'lchash 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 ($\omega \approx \frac{g}{R_c}$) sohada ko'shimcha tebranma holatlar vujudga kelishiga olib keladi.

Avval ko'rilganidek, qo'shimcha tebranma holatlar zichligi dispersiya logarifim chastotasi $\sigma = 0.48$ bo'lgan logarifmik normal funksiya (2.72) yordamida yaxshi tasvirlanishi mumkin. Agar qo'shimcha holatlar zichligi tarkibni nanometrlil nojinsliklarida joylashgan tebranish qo'zg'otgichlari tufayli bo'lsa, unda kvazilokal tebranishlar chastotasi ω nojinsliklar o'lchami D bilan $\omega = Kg/D$ 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 σ ning o'sha qiymati bilan yozilishi mumkin demakdir:

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

D_0 - nanonajinsliklar ehtimolligi eng katta bo'lgan diametri shishalarning nanonajinsliklari bilan bog'liq tebranish spektrlarining past energiyalardagi alohida xossalari shishalar xossalriga faqat past temperaturalardagina emas, balki shishaning qotish temperaturasigacha 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 kristallarnikigiga 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 tabiati (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 holatlar nazariyasi uchun nanosohalar shunchalik muhim rol o'ynaydi.

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'liqdir. 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'imlari 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'rinadigan 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, zarracha 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-tiladi. 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 xossalari uning 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 tabiati bilan bir-biridan sezilarli darajada farq qiladi: 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 molekular 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.

Yelinning 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 molekularlari 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.

Na^+ , Ag^+ natriy va kumushning kationlari.

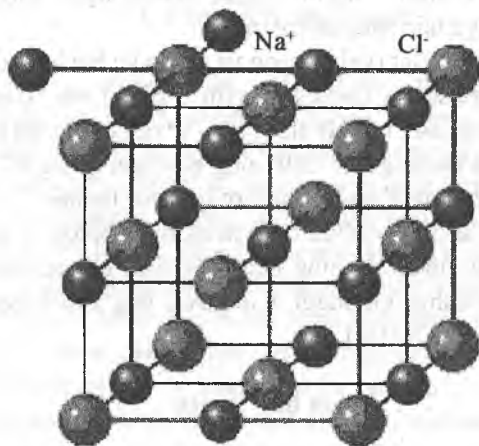
Agar atom aksincha o‘ziga qo‘shimcha elektronlar qabul qilsa, oshiqcha elektronlar zaryadlari atomni manfiy ionga aylantiradi, uni *anion* deyilib (–) ishorasi bilan belgilanadi.

Sl^- , O^{2-} xlor va kislrod anionlari.

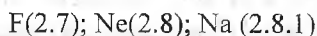
Eslatib o‘tamiz, kimyoviy bog‘lanishni atomlarning o‘ziga eng «yaqin» inert gaz atomi singari barqaror elektron konfiguratsiyaga intil-

ishi mahsuli deb tushuntiriladi. Mendeleyev davriy jadvalining neon ($1s^12s^22p^6$) atomi qatnashgan ma'lum bir qatorini ko'rib chiqamiz.

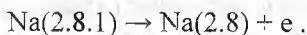
Kimyoviy modda belgisidan keyin qavs ichida K-, L- va M-elektron qobig'idagi elektronlar soni ko'rsatilgan (31-rasm).



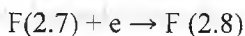
3.1-rasm. Natriy xloridning kristall panjarasi modeli



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



Hosil bo'lgan zarra - natriyning musbat zaryadlangan ionidir. Florida 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:

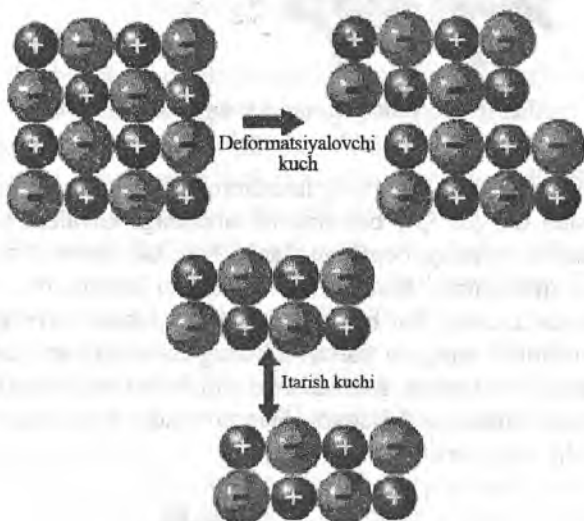


Hosil bo'lgan zarrachalar (ftor anioni va natriy kationi) orasida elektr tortishish kuchlari ularni bir-biri bilan bog'laydi. Bu *ionli kimyoviy bog'lanish* deyiladi.

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

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

Ko'p hollarda ion bog'lanishli birikmalar tashqi ta'sir ostida yoki kimyoviy 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'lmagan siljishlar bir xil zaryadli ionlarni yaqinlashtiradi. Natijada ular orasidagi itarish kuchlari ta'sirida kristallda yoriqlar paydo bo'ladi.

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

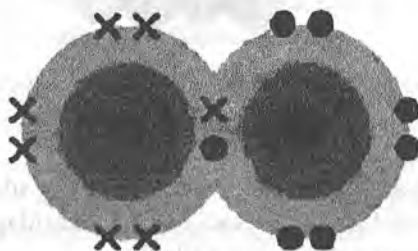
Shuning uchun, kislorod atomi zaryadlangan natriy kationini, vodorod atomi esa xlor anionini tortadi va NaCl kristall panjarasi parchalanadi.



3.3 - rasm. Osh tuzining suvda erish jarayoni.

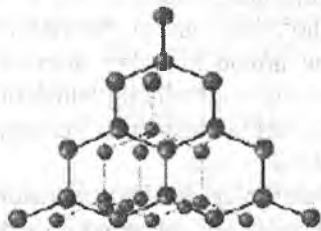
Kovalent bog‘lanish

Ion bog‘lanish kimyoviy bog‘lanishning birdan- bir turi emas. Xlor molekulasida 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 molekullarga 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.

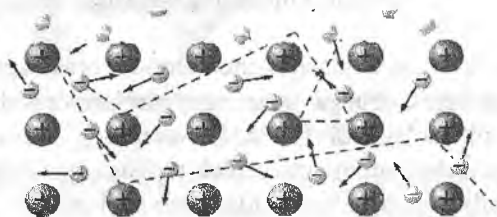
Metall bog'lanish

Metallar –hozirgi zamon sanoatida juda keng qo'llaniladigan xom ashyolardandir. Mashinalarning katta qismlari, dastgohlar, asboblar va transport qurilmalari metallardan tayyorlanadi. Ular tokni va issiqlikni 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.

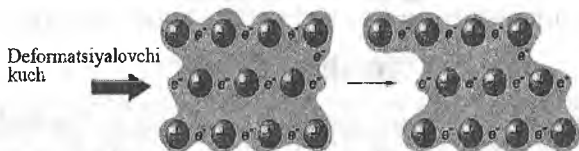
Metaldagi erkin elektronlar *delokalizatsiyalangan*, ya'ni ular qandaydir muayyan bir atomga tegishli emas. Bunday noyob elektronlar «buluti» qanday paydo bo'ladi?



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 *molekulyar orbitallar* hosil bo'ladi. Agar bu ikki atomga uchinchi atom yaqinlashsa, uning orbitali birinchi ikkita atomning orbitalini ustiga qoplanib yana bir molekular orbital hosil qiladi. Atomlar soni juda ko'p bo'lsa, 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 xossalarini, jumladan, mustahkamligini tushuntirib beradi. Deformatsiyalovchi kuch ta'sirida, ion kristallidan farqli ravishda, metallning panjarasi yoriqlar paydo qilmasdan 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 potentsiallar farqi qo'yilsa, umumlashgan elektronlar buluti musbat potentsial 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* kuchlaridir (3.8-rasm).



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

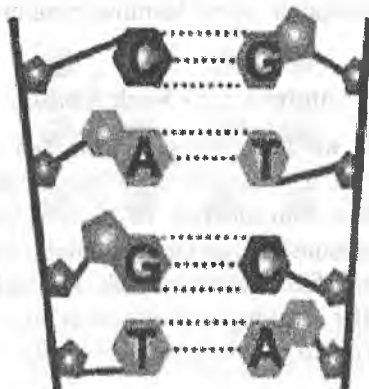
Ba'zi molekulalar (ko'proq kovalent bog'lanishda) *dipol momentiga* ega bo'ladi. Uning mohiyati shundaki, molekulalarning bir qismiga boshqa qismidan ko'ra ko'proq elektron «to'planadi». Buning natijasida molekulaning ikki chekkasi orasida potentsiallar farqi paydo bo'lishiga olib keladi. Rasmda ko'rsatilganidek, 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'rtasida 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. DNK molekulasidagi vodorod bog'lanishlarning ko'rinishi.

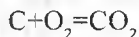
Huddi shu vodorod bog'lanish muzdagi va suvdagi ko'p noyob xususiyatlarni tushuntiradi.

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:

Reagentlar \rightarrow mahsulotlar

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 uzluksiz 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 molekular 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 reaksiya qobiliyatini namunadagi atomlar miqdori va uning o'lchamiga qarab, sezilarli o'zgartirishi mumkin ekan.

XIX asrning buyuk olimi Maykl Faradey bunga birinchi bo'lib e'tibor berdi. U oltinning juda mayda bo'laklaridan g'aroyib xususiyatli *suspenziyalar* olgan. O'zining kompakt holatidan farqli ravishda, hammaga 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 Mendeleev davriy sistemasining uchinchi koordinatasi ham deyishadi(guruh va qator bilan birga).

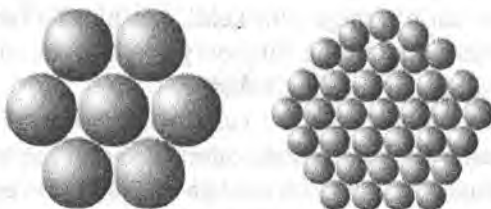
Aynan nanometrik o'lchamdagi moddalarni olish bo'yicha o'tkazilgan birinchi tajribalar olimlar o'rtasida nanokimyoga bo'lgan qiziqishni shiddat bilan o'sishiga olib keldi. Ma'lum bo'lishicha, nanometr o'lchamdagi zarralarning kimyoviy faolligi yuqori bo'lib, ular ishtirokidagi reaksiyalar juda tez boradi.

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 vaqtlarda 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 .Muzdagi 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‘lchami kichiklashgan sari sirtidagi atomlar ulushi ortib boraveradi. Mos holda nanozarra to‘la energiyasidagi sirtiy atomlarning ulushi ham ortadi.



3.11.rasm. Nanozarrachada (chapdagi rasm) atomlarning ko‘pchilik qismi uning sirtida yotadi, kompakt moddada esa (o‘ngdagi 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 moddaning suyulish temperaturasiga, eruvchanligiga, elektrik o'tkazuvchanligiga, oksidlanish darajasiga, zaharlilik darajasiga, portlovchanligiga va boshqa xossalariга sezilarli ta'sir etadi. Bularning hammasi zarralarining 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'nalishi o'rganadi.

XX asrning birinchi yarimida nanokimyoга kolloidlarni o'rgangan mutaxassislar o'zlarining eng katta hissalarini qo'shgan bo'lsa, ikkinchi yarmida 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 nanotuzilmalar xossalarini, ularni olishning yangi usullari va nanozarralarni modifikatsiyalashtirish yo'llari ustida ish olib bormoqda.

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

Nanokimyoда kvant o'lchamiy effektlarning o'rni juda beqiyosdir, ya'ni zarra xossalarining undagi atom va molekulalarning miqdori, zarra o'lchamlariga bog'liq o'zgarishlari muhim o'rin tutadi. O'lchamiy effektning ahamiyati shunchalar kattaki, D.I.Mendeleyev davriy sistemasiga o'xshatib klasterlar va nanozarralar xossalarining 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 xossalarini o'rganadi degan hamma qabul qilgan nisbiy tushuncha 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, moddaning 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	Alohida atomlar	Klasterlar	Nanozarralar	Kompakt modda
Diametri, nm	0,1–0,3	0,3 – 10	10 – 100	100dan ortiq
Atomlar soni	1 – 10	10–10 ⁶	10 ⁶ –10 ⁹	10 ⁹ dan ortiq

Shunday qilib, nanotuzilmalarga ko'p atomli klasterlar va molekullar, nanotomchi, nanokristallar misol bo'lishi mumkin. Bunday yondoshish yolg'iz atomlarni nanokimyoning pastki chegarasi sifatida, nanozarra xossasini yo'qotadigan 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'lchashlar 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'yi, 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'yi, 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'yi 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

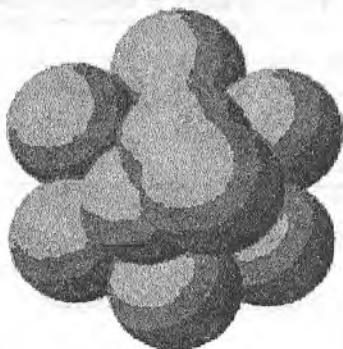
Nanoobyekt klassifikatsiyasi faqatgina rasman nuqtayi nazardangina muhim emas. Nanoobyekt geometriyasi uning fizik-kimyoviy xos-salariga ham jiddiy ta'sir ko'rsatadi.

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.

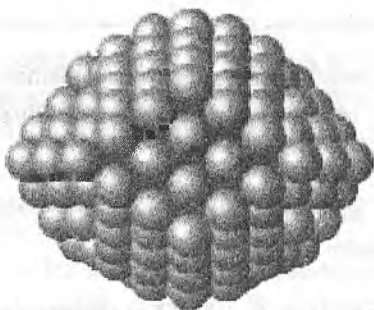
Bunday zarrachalarni ifodalashda yetarlicha katta aniqlikda qattiq sharchalar modelini ishlatishimiz mumkin. Ularning atomlari orasidagi bogʻlanish energiyasi juda zaif, shuning uchun ular 10 – 100 K dan baland boʻlmagan temperaturalarda mavjud boʻladi (3.12-rasm).



3.12 - rasm. 16 ta argon atomidan iborat nanozarracha

Metall zarralari

Bir nechta metall atomlari klasterda kovalent bogʻlanish ham, metall bogʻlanish ham hosil qilishi mumkin. Metallning nanozarrasi kuchli reaksiyon qobiliyatga ega va koʻp hollarda katalizator sifatida foydalaniladi(3.13-rasm).



3.13 - rasm. Metall nanozarrachasi.

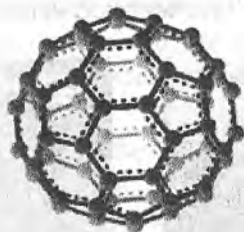
Metall nanozarrasi, odatda, muntazam shakllarni - toʻgʻri oktaedr, ikosaedr yoki tetrodekaedr shaklini qabul qiladi(3.14-rasm).



3.14 - rasm. Metall nanozarrachasining 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.

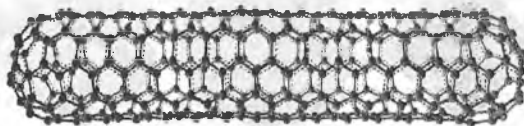


3.15-rasm. Fulleren molekulasi C_{60}

Fullerenlar yangi moylar ishlab chiqarishda, antifriksion qoplamalarda, yoqilg'ilarning yangi turlarida, yuqori qattqlikdagi olmossimon birikmalarda, datchiklar va bo'yoqlarda keng ko'lamda qo'llaniladi.

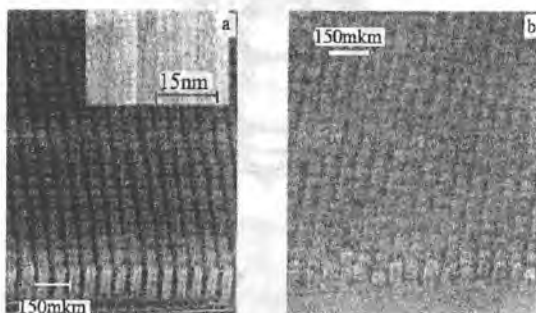
Nanonaychalar

Nanonaycha – uglerodning 1000000 chamasidagi atomlaridan tuzilgan ichi bo'sh, bir qatlamli, 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. Nanonaychning bir qatlamli molekulası.

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. Nanonaychning 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 yacheykalari* 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 yacheykali telefonlar 4 kun emas, taxminan 2 hafta kutish rejimida ishlab turishi mumkin. Yoqilg‘i yacheykasi 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 nanonaychning 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 vaqti taxminan 5 soatni tashkil qiladi. Lekin, injenerlar uni 40soatga uzaytirishni rejalashtirmoqda. Hozirgi vaqtda yoqilg'i yacheykasi ishlab chiqarish bilan ko'p kompaniyalar shug'ullanishmoqda. Bular Motorola, Casio, Sony, Hitachi va Samsung kabilardir.

Bu nanonaychalarning hayratlanarli xossalari kelajak avtomashinalariga ekologik toza yoqilg'i bo'luvchi vodorodni to'plash va saqlash imkonini beradi. Yoqilg'i yacheykasida ishlaydigan harakatlantirgichlarda elektr energiya ishlab chiqarish uchun vodorod H_2 va kislorod O_2 reaksiyasidan foydalaniladi. Shuning uchun avtomobildan tutun o'rninga 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 ballon demakdir. Hech qanday avtomashina qiziquvchilari bahaybat ballonni mashinalariga o'rnatib, benzokolonkaga olib borishni xohlama-gan bo'lar edi. Lekin, palladiy nanozarrali nanonaychada vodorodni o'zining normal holatdagi sig'imidan yuz marta zich holatda saqlasa bo'ladi, bu degani mashinalar yanada quvvatli, arzon va ekologik toza bo'lishi mumkin.

Toyota kompaniyasi 2001-yildayoq bunday avtomobillarni 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. Hyudai, UTC, Fuel Cells va Chevron Texaco kompaniyalari Kaliforniyada eksperimental vodorod stansiyasi ochishdi, unda 5 ta Hyudai 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 $E=mc^2$ formulasini 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 oddiyroq qilib aytganda, energiyani moddaga yoki aksincha moddani energiyaga aylantirish mumkinligini bildiradi. Bu formuladan foydalanib, masalan, vazni 0.11 kg olmaxonda

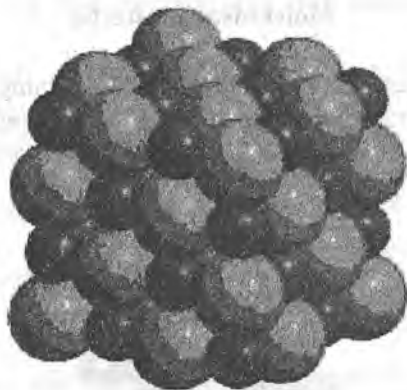
$E=0,11 \cdot (300.000.000)^2 = 10^{16} \text{J}$ energiya bo'lishini ko'rsatish mumkin. bu atom bombasi portlashida chiqqan energiyadan 100 marta ko'p. Unda nimaga olmaxon portlovchi emas, hatto ko'pincha yuvosh? Chunki moddani energiyaga aylantirish juda qiyin. Hatto atom elektr stansiyasida ham massaning mingdan bir hissasigina energiyaga aylanadi. Quyoshdagi *termoyadro reaksiyasida* moddaning bir foizigina energiyaga aylanadi. Faqat 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 suvga aylansa, termoyadro reaksiyada ikkita vodorod atomi geliy atomiga aylanadi, unda juda katta energiya ajralib chiqadi. Agar kimyoviy reaksiyalar molekullarni 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 erishilmadi – chunki, bir nanogramm oltin olish uchun ishlatiladigan termoyadro qurilmasi bir necha vagon to'la tilla quymasi narxiga teng. Nanotexnologiya termoyadro asboblarni 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

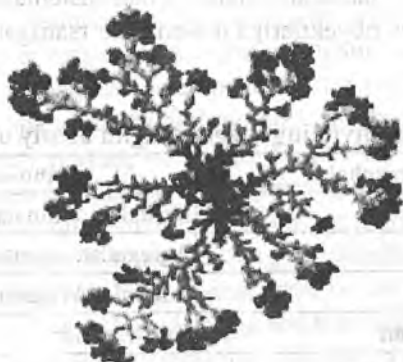
Ion klasteri NaCl kristalidagi ion bog'lanishni tasvirlaydigan klassik rasmlardandir. Agar ion nanozarrasi keragicha katta bo'lsa, uning tuzilishi katta o'lchamli kristall tuzilishiga yaqin bo'ladi. 3.18- rasmda NaCl kimyoviy formulasiga mos ion zarra turiga misol tasvirlangan. Bunday ion bog'lanishli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



3.18 -rasm. NaCl klasteri.

Fraktal klasterlari

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

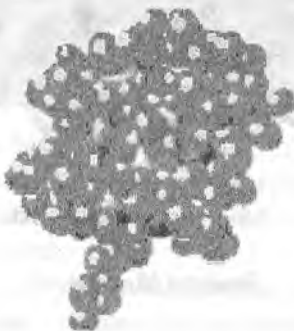


3.19 - rasm. Fraktal klaster.

Fraktal - bu shunday obyekt, uning kattalashib o'ishi jarayonida bitta shakl, tuzilish katta va kichik masshtablarda birday qayta - qayta takrorlanishini ko'rishimiz 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 - rasmda ferredoksin oqsili molekulari ko'rsatilgan.



3.20- rasm. Molekular klaster.

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

8- jadval

Nanokimyoning o'rganadigan asosiy obyektlari

Nanozarrachalar	Nanosistemalar
Fullerenlar	Kristallar, eritmalar
Nanonaychalar	Agregatlar, eritmalar
Oqsil molekulari	Eritmalar, kristallar
Polimer molekulari	Kullar, gellar
Noorganik nanokristallar	Aerokullar, kolloid eritmalar
Mitsellalar	Kolloid eritmalar
Nanobloklar	Qattiq jismlar
Lengmyur- Blodjett pardalari	Sirti pardali jismlar
Gazlardagi klasterlar	Aerozollar
Modda qatlamidagi 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'quvchilarni zerik-tirib 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 qonuniyatlari bilan chegaralanamiz.

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

-dispersatsion usullar, yoki makronamunani maydalash yo'li bilan nanozarra olinadigan usullar;

-kondensatsion usullar, yoki aloxida atomdan "o'stirish" yordami-da nanozarra olish usullari.

Birinci guruh bu – «yuqoridan pastga » borish usuli. Boshlang'ich jismlar nanozarra bo'lgunga qadar maydalaniladi. Bu nanozarra olishning eng oddiy usuli, makrojism uchun o'ziga xos "go'shtmaydalagich"dir. Ikkinchi 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*–quyiqlashish, zichlashish so'zidan olingan) ta'rifiga ko'ra – bu moddani sovutish natijasida gazsimon holatdan kondensatsiyalangan (qattiq yoki suyuq) holatiga o'tishidir. Agar shishaga yaxshi pufilasangiz 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'xshash hodisa sodir bo'ladi. Birlamchi makroskopik jismlar oldin bug'lanadi, keyin esa hosil bo'lgan bug' kerakli o'lchamli nanozarra hosil bo'lguncha kondensatsiyalanadi. Natijada kompakt modda ultradispers moddaga aylanadi. Nanozarrani ion eritmadan olinganda ham shunga o'xshash jarayon sodir bo'ladi, faqat unda bug' emas, suyuqlik ishlatiladi.

Nanozarra olishning barcha usullarida ham tashqi manbadan kuchli energiya oqimi zarur bo'ladi, chunki bu usullarda nanozarralarni nomuvozanatli 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 vaqtdan 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'yinغان eritmadan sodir bo'ladi.

Dispergatsion usulda – keragicha mexanik energiya ta'sirida, monokristallning parchalangan fragmentlari o'lchami kamayib boradi. Mexanik energiya oqimi katta bo'lgan vaqtda 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.

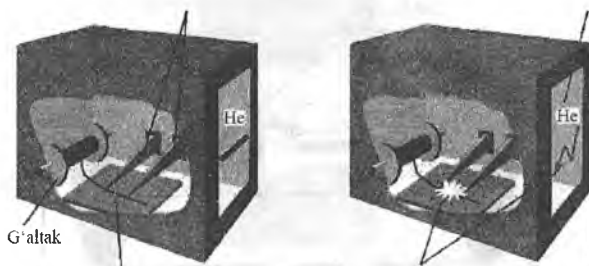
Bunday ko'ngilsizlik oldini olish uchun, sistemaga oqsilning molekular eritmasi, polimer va sirtiy faol moddalardan (SFM) tuzilgan turg'unlashtirgichlar kirgiziladi. O'sishning ma'lum bir nuqtasida stalibizator ishga tushib, uning molekularlari nanozarraga hamma tomondan yopishib, uning keyingi o'sishiga to'sqinlik qiladi. Turg'unlashtirgich tarkibi va molekularlari 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 nanonaychalarning 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 kimyoviy 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.

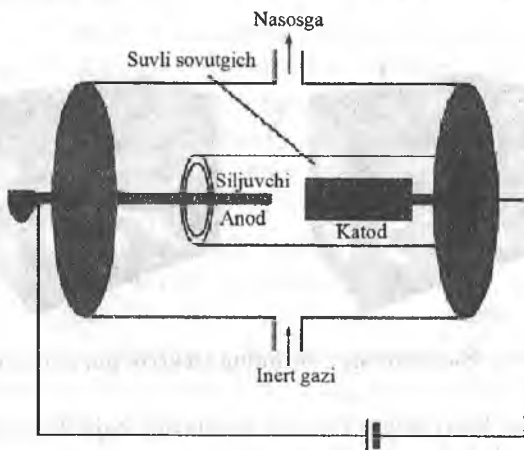
3.5 Uglrodli fullerenlar va nanonaychalar olinishi

XX asrning oxiri uglrodning 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 uglrodli 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 uglrod nanostrukturalari olishning har xil usullari ishlab chiqilgan. Lekin, hamma usullarning ma'nosi bir xil: nanonaycha va fullerenlar uglrodli materiallarni yuqori temperaturalarda kimyoviy 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 Idjima birinchi marta nanonaycha oldi. Usulning ma'nosi shunday: inert gaz bilan to'ldirilgan kamerada gaz atomlarini ionlashtiruvchi grafit elektrodleri 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.

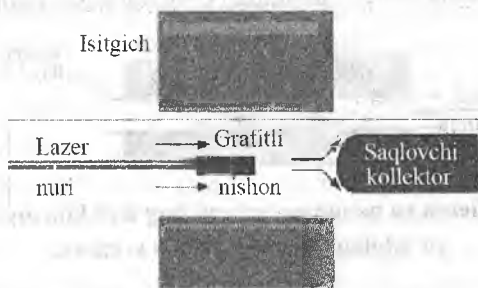
Gaz bosimi atmosfera bosimidan bir necha marta past, elektrodlardagi kuchlanish 25–35V va elektrik razryaddagi tok kuchi 100A bo'lganda elektrodlar orasida hosil bo'luvchi plazma temperaturasi 4000K ga yetadi. Bunday temperaturada grafit anodning sirti jadal bug'lanadi. Bug'langan uglerod atomlari plazmaning 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 nanonaychalarni 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 kvarts naychali pechga joylashtiradi.

Naychanning uzunasi bo'ylab kichik tezlikda yumshatgich gazi (geliy yoki argon) o'tkazilib turiladi. Nishon 140 mJ energiyali, 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 nanonaychalarni 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

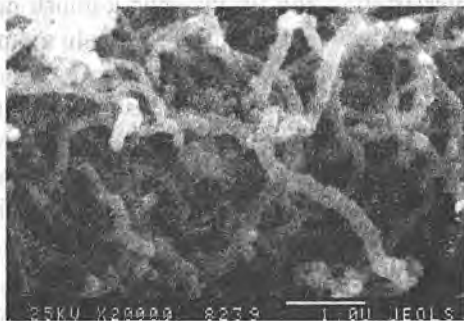
Uglerodli nanonaychalar olishning bu qulay va ommabop turi uglerodli gazni issiq metall katalizator yuzasiga termokimyoviy cho‘ktirishga (o‘tqazishga) asoslangan. Bu usul *uglevodorodlarni katalitik parchalash usuli* degan nomni ham oldi(3.24-rasm).

Uglerodli gaz aralashmasi (odatda atsetilen C_2H_2 yoki metanning CH_4 azot bilan aralashmasi) $700-1000^{\circ}C$ temperaturadagi pechkaga kiritilgan kvars naycha orqali o‘tkaziladi. Kvars naycha ichida sopoldan qilingan idishchada metall kukunidan qilingan katalizator joylashgan.



3.24- rasm. Fulleren va nanonaychalarni 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‘lchamlari katta darajada jarayon borishi shartlariga (vaqti, temperaturasi, bosimi va bufer gazining turi va h.k), hamda katalizatorning dispersiyalanish darajasi va naviga bog‘liq (3.25-rasm).



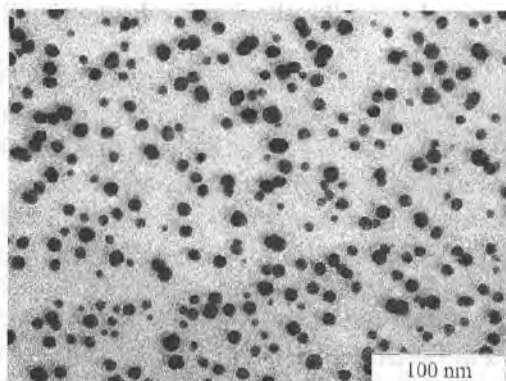
3.25- rasm. Bug‘dan kimyoviy cho‘ktirish orqali olingan nanonaychalar mikroskopda shunday ko‘rinadi.

Nanonaycha va fullerenlarni bug‘dan kimyoviy cho‘ktirish (o‘tqazish) usulida olish, oxirgi vaqtda 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 tejankor usulni topishga, ya‘ni ularni ommaviy bo‘lmasa-da kirishmalar miqdorini minimal miqdorga kamaytirishga urunmoqdalar.

Aytish kerakki, nanostrukturalarni bu olish usuli ularning sifatini ta‘minlashda juda muhim rol o‘ynaydi. U faqatgina nanostruktura xossalari-gagina emas, balki uning yashash vaqtiga ham, ya‘ni o‘z xossalari-ni saqlab tura olish davriga ham ta‘sir ko‘rsatadi. Bu muddat tugagach nanozarra yoki oksidlanib qoladi, yoki mikrozarra-ga aylanib, ixcham modda xossalari-ga ega bo‘lib qoladi.

Masalan, olinish usuliga bog‘liq ravishda kumush nanozarrasining yashash vaqti bir soatdan bir necha oygacha bo‘lishi mumkin. Ye.M.Ye-gorova boshchiligidagi «Nanoindustriya» konserni olimlari kumushdan nanozarralar olishning noyob biokimyoviy 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 biokimyoviy sintezlangan kumush nanozarralarning fototasviri.

3.6. Ba'zi nanozarralar noyob xossalari-ga misollar. Kumush

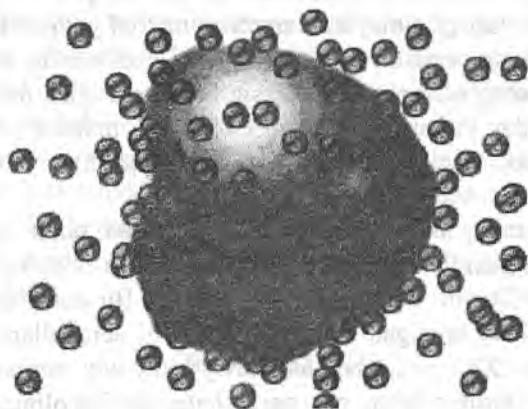
Kumush nanozarralarining xossalari haqiqatda noyob ekanligini bilamiz. Birinchidan, ular bakteriyalarni yo‘qotuvchi va antiviruslikdan iborat ajoyib faollikka ega. Kumush ionlarining antimikrob xossasi insoniyatga qadimdan ma‘lum. Balki ko‘p o‘quvchilar cherkovning davolovchi «muqaddas suvi» xossalari-ni 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'rsatishicha, nanozarralarning arziyas 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 ta'sir 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 kislorod bilan ta'minlashni to'xtatadi. Omadsiz mikroorganizmlar o'zining "yoqilg'isi" - glyukozani oksidlay olmaydi va energiya manbayisiz qolib, nobud bo'ladi. Hech qanday qobig'i yo'q viruslar ham nanozarralar bilan to'qnashganda o'z "ulushini" oladi. Odam va hayvonlarning

hujayralari ancha «yuqori texnologik» devorga ega bo'lib, ularga nanozarralar qo'rqinchli emas.

Hozirgi vaqtda kumush nanozarrasini dori - darmonlarda qo'llanish maqsadida izlanishlar olib borilmoqda. Hozir ham ular keng ko'lamda qo'llanilmoqda.

Masalan, «Gelios» firmasi kumush nanozarrasidan «Znaxar» 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'rinshidagi qo'shimchalar antiallergiant qo'shimchalar sifatida kremlarda, shampunlarda, pardozi uchun kosmetik moddalarda qo'llaniladi. Ishlatish davomida ularning shamollashga qarshi va yaralarni 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 vaqti 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, toshмага 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 kurashish yo'llarini izlashgan. Afsuski, bizning xonalarimizdagi, idora va odamlarning gavjum joylaridagi (kasalxona, 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 ishlatilish vaqti 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: pardozi anjomlaridan tortib jarrohlik asboblari 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 yelimlar tayyorlasa bo'ladi. O'tkazuvchan yelimdan mikroelektronikada mayda elektrik qismlarni bir - biri bilan bog'lash uchun ishlatish 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 ultrabinafsha nurlardan himoyalovchi yangi xossalarga berishi mumkin. Bu ultrabinafsha nurdan saqlovchi quyoshli ko'zoynak, quyoshli kunlarda kiyish uchun maxsus kiyim yaratish imkonini beradi. Ularni faqat quyoshdan himoyalash uchun emas, balki issiq kunda qizib ketishdan saqlanish uchun ham ishlatasa bo'ladi. Nanozarralarni quyosh nuridan

saqlovchi krem, surtmalar va boshqa dori - darmonlar tayyorlashda ishlatiladi, chunki ular yumshoq, havfsiz va terini qichishtirmaydi.

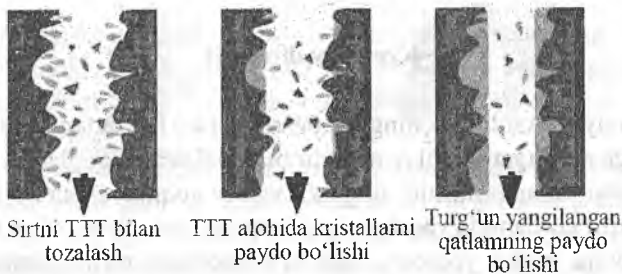
Bundan tashqari, bu nanozarralarning elektromagnitik to'liqlarini sochishidan infraqizil diapazonida ko'rinmaydigan kiyim matosida ham qo'llash mumkin, bunday kiyimda odam tanasidan chiqayotgan infraqizil diapazonidagi elektromagnitik to'liqlar rux oksidi nanozarralarida yutilishi hisobiga odamning tanasi ko'rinmay qoladi. Bu radio to'liqlardan ultrabinafsha to'liqlargacha bo'lgan, keng diapazonda ko'rinmaydigan «Stels» turidagi maxsus kiyimlar va qoplamalar tayyorlash imkonini beradi. Bunday kiyimlar harbiy va terroristlarga qarshi operatsiyalar uchun juda kerakli bo'lib, ular dushmanlarning tungi ko'rish asboblari sezib qolishidan qo'rqmay, dushmanga juda yaqin kelish imkonini beradi.

ZnO nanozarra asosidagi materiallarni infraqizil datchiklarda qo'llash ham bo'ladi.

Serpentin

Serpentin nanonaychasi nanozarrachalarning noyob xossalarini sanoatda 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 shishachasini 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 ishqalanyotgan qismining sirtida ideal himoya qatlami hosil bo'ladi. Qattiq qiziganda ular o'zlarining birikuvchanlik xossalarini yo'qotadi. Shunday qilib, ishqalanuvchi qismda doimiy issiqlik muvozanati saqlab turiladi, ishqalanuvchi sirtlar mutlaq silliq bo'lgani uchun asbob qismlari deyarli eskirmaydi (3.28-rasm).



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.

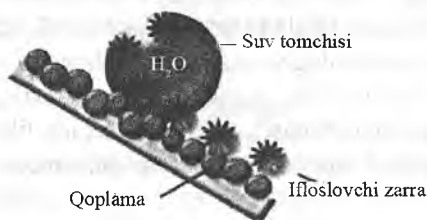
Dunyo bo'yicha chiqindi gazlar ko'payib ketganligi va ekologik holat yomonlashib borishi, oxirgi jihatga asosiy e'tibor qaratilishini taqozo etadi.

Bu muammoga katta e'tibor qaratib kelayotgan g'arbiy Yevropa davlatlari rahbarlari yangilik ahamiyatini juda tez payqadilar. 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 kamaytirmasdan ham Italiya davlati Kiot shartnomasini qabul qilishi mumkin ekan. Hozirgi vaqtda Italiyada shu qonun loyihasi 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 SiO_2 ning nanozarrachalari hayratlanarli darajadagi xossaga ega: agar ularni qandaydir material sirtiga qoplansa, ular sirt molekullari 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 qatlamining ichiga kirolmaydi va yopisha olmaydi, suv esa osonlikcha undan oqib barcha kirlarni yuvib ketadi (3.29rasm).



3.29- rasm. O'z- o'zini tozalovchi nanoqoplamaning ishlash prinsipi.

Nanotexnologlar qanday qilib, faqatgina yog'och va toshlarnigina himoyalashni emas, balki siz va bizlarning kiyimlarimizni saqlashni ham o'ylab topishdi. Mato ipariga chuqur kirib boruvchi, 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 "Aqlli" 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 olingan 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 xossalari nanomateriallarning turli tumanligi inson tasavvurini ajablantiradi: bular samolyotlardan tortib kesuvchi asboblargacha ishlatiladigan o’ta yengil, o’ta pishiq nanoqoplamalar, 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).

“Aqlli” materiallar atrof-muhit o’zgarishiga faol javob qaytaradi va o’z xossalarini holatga qarab o’zgartiradi.

Nanokimyo, biz ko’nikib qolgan oddiy sanoat materiallari xossalarini yaxshilash bilan birga «Aqlli materiallar»ning yanada keng tarqalishiga olib kelmoqda. Tabiat yaratgan «Aqlli 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°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°C dan kam bo’lsa, bu odam sog’ligi uchun havflidir. 27° C da odam xushsizlikka tushadi, yurak urushi va nafas olish muammolari yuzaga keladi. 25°C temperatura kritik nuqta bo’lib undan pasayganda – odam o’ladi. Tana temperaturasi ko’tarilishi ham juda havfli. Yuqori kritik temperatura 42°C ni tashkil qiladi, bunda miya hujayralarida modda almashinuvi buzilib, odam xushini yo’qotadi. Agar bunday temperatura uzoq tushmasa, bosh miya shikastlanadi va hatto halok bo’lishga olib keladi.

Shunga qaramasdan, terimizga «oʻrnatilgan» teri bezlari tufayli, tanamiz bu 42°C kritik temperaturadan ancha yuqori temperaturalarni ham koʻtara oladi. Ingliz fiziklari Blagden va Chentrilar (tajriba uchun bir necha soat non pishirish pechida oʻtirishib) *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 boʻladigan havoda odamlar keragicha uzoq vaqt havfsiz qolsa boʻladi deganini bildiradi. Bunday chidamlilik nima bilan tushuntiriladi? Shu bilanki, bizning terimiz atrof-muhitning temperaturasi koʻtarilishiga shartli ravishda koʻp 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 taʼminlab oʻzi yaratgan mavjudotlarga gʻamxoʻrlik qilgan. Inson tafakkuri ham bir joyda turgani yoʻq! Metallurglar ancha oldin sanoat obyektlarini yuqori temperaturalardan saqlash uchun “terlovchi” metallar ixtiro qilishgan. Bu oʻziga xos “aqlli” material mis mikrozararlari kiritilgan gʻovak poʻlatdan iboratdir. Misning erish temperaturasi poʻlatnikidan kichik boʻlgani tufayli tashqi temperatura koʻtarilib maʼlum bir kritik chegaradan oʻtgandan soʻng metal faoll “terlash”ni boshlaydi: mis kengayib poʻlat gʻovaklari orasidan chiqib boshlaydi, bunda oʻzi bilan ortiqcha issiqlikni olib chiqib ketadi. Sovutganda esa mis tomchilari yana poʻlat kapillar gʻovaklari ichiga “soʻriladi” va material dastlabki holatiga qaytadi.

Nanomateriallar xossalari turli tumandir. Hozirgi paytda G.V.Popova boshchiligidagi rus olimlari *biomimetik* materiallar, yaʼni biologik toʻqimalarga oʻxshaydigan materiallar yaratish ustida ish olib bormoqdalar. Bunday materallarga eng koʻp tarqalgan misol sifatida, oʻzining mustahkamligi va elastikligi bilan barcha inson yaratgan materiallardan sifatli boʻlgan oʻrgimchak toʻrini keltirish mumkin. Bu biomimetiklarning asosini sunʼiy oqsillar tashkil qiladi. Oʻzining tabiiy qardoshlariga oʻxshab bu oqsillar ham aminokislotalardan iborat boʻlib, ularni ribosomalar emas, balki inson sintez qilgan. Agar oddiy oqsillar 20 ta noyob aminokislotalar ketma-ketligidan tuzilgan boʻlsa, biomimetiklar uchun oqsillar bitta aminokislotalarning 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 molekullarni biriktirish mumkin. Bunda har safar yangi ajoyib xossalari materiallar hosil bo‘ladi.

Eslab ko‘raylik, tabiat turli xil imkoniyatli juda ko‘p oqshillarni yaratgan. Ularning ko‘pchiligi tashqi muhitning o‘zgarishiga faol javob qaytaradi va moslashadi. Sun‘iy biomimetiklar o‘zlarining xossalari bilan tabiiy oqshillarga o‘xshab uncha katta bo‘lmagan tashqi ta’sirlarga: nurlanish, issiqlik, elektrotok, zararli moddalarga javoban “aqlililigini” 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. Ozigina 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‘lmagandek. Ular aqlli materialdan nima bilan farq qiladi? Eng qiziqarlisi, 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 vaqtdan 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 ifloslantirmaydi.

Bu yo‘nalishda 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’nosi 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 chiqqa 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 “aqlli kiyimni” ham kiritish mumkin. Ko‘plab bunday loyihalardan temperatura o‘zgarishiga 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 hasharotlarni haydaydigan, hushbo‘y hid taratadigan paypoqlar, g‘ijimlanmaydigan ko‘ylaklar yaratiladi. Zamonaviy hayotiy filmlarda bunday “aqlli” moddalar misollarini ko‘plab ko‘rish mumkin. Bunga eng yorqin misol “Terminator” filmidagi turli shakllarga kiruvchi suyuq odam. Nanotexnologiyalarning rivojlanishi natijasida bunday g‘aroyib 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 xossalriga ega bo‘lgan nanozarrachalardan foydalaniladi. 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 "aqli materiallari" turli xil sezgichlar, kichik kompyuterlar, ijrochi nanoqurilmalardan iborat bo'ladi.

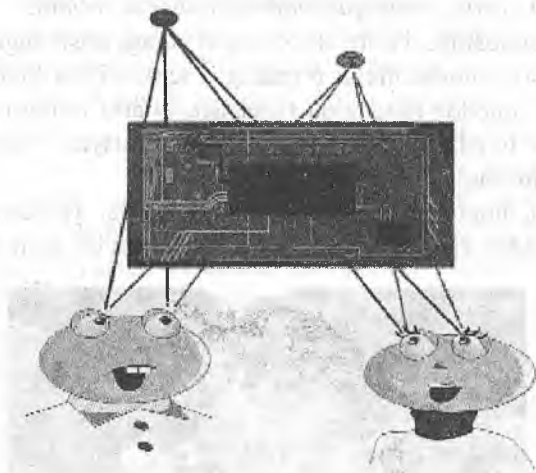
Philips kompaniyasi olimlari o'z egasi yuragi urishidagi buzilishlarni bildiruvchi nanodatchiklar o'rnatilgan ichki kiyim loyihisini taklif qilishdi. Favqulodda holatlarda (masalan, infarkt holida) ichki kiyim simsiz aloqa orqali eng yaqin tez yordam stansiyasi bilan bog'lanib, inson hayotini saqlab 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'rnatilgan 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 ishlatilsa 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 ishlash sxemasi.

Uchuvchilar ham samolyot xonasi pollari shaffof bo‘lishiga qarshi emaslar, chunki shunda ular qo‘nish paytida yo‘lakni ko‘rib turishlari mumkin.

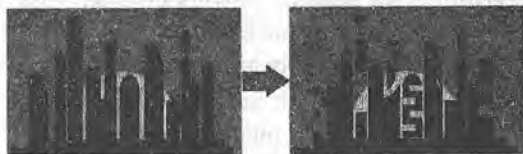
Kelinglar ozgina hayol surib ko‘raylik... Aytib o‘tilgandek, “Aqlli materiallar”ning noyob xossalaridan biri – dastur yordamida ularni boshqarish mumkinligidir. Dastur tuzuvchilar “ko‘rinmas material”ni xohlagan narsani ko‘rsatishga sozlashlari mumkin, masalan uni kiygan odam o‘rniga taniqli kinoyulduzni 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 santimetrli aniqlik ham yetib ortadi. Shuning uchun yaqin orada ko‘p qavatli

bir xil turdagi “qutilar” yo‘qolib, “havoda uchadigan” arxitektura ansambllarini 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 qoplamalarni yaratgan va ba‘zi hasharotlar ko‘ziga qoplagan. (3.34-rasmda) 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 kengayadi, 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 isitilsa 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 “Aqlli” 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 holatlarida 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 nanostrukturalangan 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 “Aqlli” nanomateriallar biz uchun ajoyib, g‘ayrioddiy 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 temperutura tashqi havo o'ta issiqligida ham va o'ta sovuqligida ham 20° - 22° C ni tashkil qiladi. Uyingizdagi "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 ishtirokingizsiz ham oynadagi chang va kirlarni tozlaydi. Bog'dagi egat ustiga tortilgan issiqxona pardasi havo temperaturasiga 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 qattqlik beradi. U 1050 GPa bosim va 1800° C temperaturaga chiday oladi.

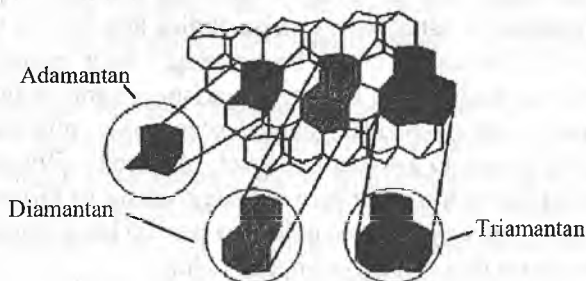
Ikkinchidan, bu qimmatbaho kristall Yer sharida ancha ko'p tarqalgan, neft, tabiiy gaz, yog'och, ko'mir va grafit tarkibiga kiruvchi oddiy uglerod atomlaridan tashkil topgan. Bizning sayyoramizdagi uglerod miqdori $6 \cdot 10^{18}$ tonnani tashkil qiladi, bu insoniyat madaniyatining butun tarixi davomida qurgan binolari va ishlab chiqargan buyumlaridan millionlab marta ko'pdir.

Agar kamyob va qimmat bo'lmaganida, o'zining ajoyib xossalariga 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 santimetrдан 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 sanoat-ning ko'p sohalarida – elektronika, metallni qayta ishlash, aviakosmik, avtomobilsozlik va kemasozlikda bebaho material sifatida ishlatilmoqda.

Nanotexnologiyalar rivojlanishi natijasida nanometr o'lchamli ol-mos olishga qiziqish paydo bo'ldi. *Almazoid* – makroskopik olmosning eng kichik zarrachalari, g'ishtchalari mavjudligi 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.

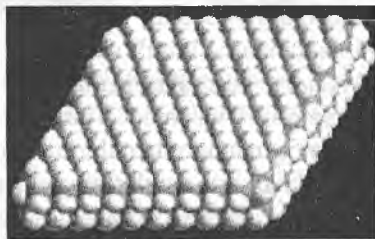
Bunday elementar g'ishtchalar -almazoidlar quyidagicha nomlar-ga ega bo'ldi: *adamantan* ($C_{10}H_{16}$), *diamantan* ($C_{14}H_{20}$), va *triamantan* ($C_{18}H_{24}$). Almazoidlarda uglerod atomlari bir-birlari bilan kovalent bog'langan bo'lib, zarra sirtidagi atomlarning bo'sh bog'lari vodorod atomlari bilan "band". Ko'p vaqt bu birikmalar hayoliy deb hisoblan-gan, chunki ularni atrof-muhitdan ajratib ham, termokimyoy usullar bilan ham sintez qilib ham bo'lmasdi. 1957-yili u tabiatda topildi - alma-zoidni 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°C dan yuqori, zichligi 3500 kg/m³. Shuning uchunalmazoiddan qilingan har qanday obyekt po'lat-dan qilinganga nisbatan ancha katta qattiqlikka va yuqori suyulish tem-peraturasiga 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 uchunalmazoidlar 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.

Nanoolmos vaalmazoid pardalar elektronikaning turli qurilmalarida, 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.

Nanoolmoslarning zamonaviy tadbirlaridan ba’zilar elektronika, radiotexnika, optika, tibbiyot, mashinasozlik, zargarlik sanoatlarida elektron va optik materiallar sirtini silliqlovchi iboratdir. Nanoolmos tarkibli materiallar yordamida ixtiyoriy geometrik shakldagi qattiq jismlarning 2–8 nm li notekis yuzasini oynadek silliq qilish mumkin.

Nanoolmoslar qo‘llanilishi mikroabraziv va silliqlovchi tarkiblar, yog‘lovchi moylar, abraziv uskunalar, polimer kompozitlar, rezina va kauchuklar, magnitik yozuvchi tizimlar sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Nanoolmoslarning 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 shimol va jazirama cho'llarda muvaffaqiyatli ishlar qo'lga keltirilmoqda.

Nanoolmoslar moylovchi yog'larda, sovutuvchi suyuqliklarda ishlatilmoqda. Nanoolmoslarning moylarda ishlatilishi motorlar ishlar muddatini va transmissiyasini oshiradi.

Kelajak istiqbolda tayyorlanadigan tibbiyot nanouskunalari 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'lmagan olmos sirtli protezlar va implantantlarni klinik sinovlari shuni ko'rsatdiki, u kimyoviy nofaol hujayralar uchun zaharli emas, leykotsitlar uni "o'zini-ki"dek qabul qiladi, shamollash va patogen jarayonlarni chaqirmaydi.

Olimlar endigina olmos nanoqoplamalarining 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 vaqtda almazoid nanozarralarining inson organizmiga biomutanosibligini o'rganish bo'yicha faol izlanishlar olib borilmoqda, lekin, haligacha hech kim ularning qandaydir zararli ta'siri to'g'risida ma'lumot bergani yo'q.

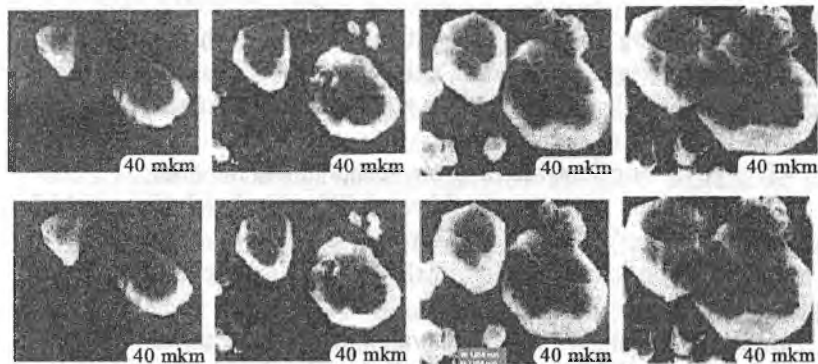
O'zining noyob xossalari ko'ra, almazoid XXI asrning universal va arzon materiali bo'lishi ehtimoldan holi emas.

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) 15 min, d) 30 min, e) 60 min vaqtdan so'nggi holatlari.

Nanolmoslar 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 tonndan 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 ishlatishni taklif qildi, lekin, bu ish amalga oshishgacha borib yetmadi. Natijada portlovchi modda ham, nanoolmos ham, pul ham yo'q.

Murakkabalmazoid 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 probirka yordamida erishiladigan bo'lsa, bunday vazifani nanomanipulatorlar bajargani afzal emasmi? Molekular mexanosintez g'oyasi juda sodda, u avtomobillar 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 batafsil 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, reaksiyaga 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 molekullararo ta'sir kuchlaridir.

Vodorod bog'lanish vodorod atomi bilan boshqa elektromanfiy atom orasidagi tortishish kuchidan hosil bo'ladi. U molekullar o'rtasida (suv va muz) yoki molekullar 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. tayorlashda foydalanish mumkin. Undan tashqari ular yordamida matolarni "stels" turidagi elektromagnitik to'lqinlarning keng diapazonida ko'rinmas qiluvchi qoplamalar tayyorlashda ishlatiladi.

Kremniy dioksidi nanozarralari matolar, oynalar, yog'och, kerami-

ka va tosh uchun o‘z - o‘zini tozalovchi qoplamalar tayyorlash imkonini beradi. Serpentin nanonaychasi asosida qilingan TTT moddalar avtomobil umrini uzaytiradi va chiqindi gazlarni kamaytiradi.

- Nanokimyoning amaliy tadbiqlaridan biri - yaxshilangan xossalari nanomateriallar hamda tashqi muhit o‘zgarishiga javob qaytara oluvchi va o‘z xossalari holatga qarab o‘zgartiruvchi “Aqlli” 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 xilalmazoidlar mavjud: (adamantan diamantan, va trimantan), barchalari olmosning asosiy xossalari, jumladan, yuqori biometanositlikka ega. Shuning uchun,almazoid kelajak istiqbolda yaratiluvchi tibbiyot nanorobotlari uchun materiallar ro‘yxatida birinchi o‘ringa davogardir.

3- bobni takrorlash uchun savollar

1. Kimyoviy bog‘lanish deganda nimani tushunasiz?
2. Kossel 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 ayting.
17. Kumush, rux oksidi, serpentin va kremniy dioksididan qilingan nanotuzilmalar xossalari tushuntiring.
18. “Aqlli” materiallar nima?
19. “Aqlli” materiallarni qayerlarda ishlatish 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'ldi. Bunday yutuqlarga erishishning sabablaridan biri yarimo'tkazgichlarning keng ko'lamli qo'llanilishidir.

Xo'sh, nima o'zgardi? Insonlar faqat yana bir material turini ishlata boshladilar xolos. Biroq, aytilish 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 (germaniy, kremniy, selen, tellur va boshq.) va juda ko'p turdagi kimyoviy birikmalar kiradi. Bizning tevarak - atrofimizni o'rab 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 belgilaridan 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 xossalarini, jumladan, elektrik o'tkazuvchanligini boshqarish mumkin.

Bundan 180 yil ilgari odamlarga turli o'tkazgichlar elektr tokini turlicha o'tkazishi ma'lum edi. 1821-yilda ingliz kimyogari Hemfri 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

g'ayrioddiy bog'langan yana bir necha moddalarni kashf qildi. Lekin, o'sha paytlarda bu dunyo ilm ahlini qiziqtirmadi. 1873-yili selenning (Se) qarshiligi yorug'lik nuri ta'sirida o'zgarishi aniqlangandan so'ng, bu ishlarga qiziqish ortdi.

Selen fotoqarshiliklar tezda turli optik asboblarda qo'llanila boshladi. 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 ishlash qonuniyatini tushuntirish uchun yarimo'tkazgichlarda kechadigan qator fizik jarayonlarni ko'rib chiqish zarur bo'ldi. Dast avval ulardagi elektrik o'tkazuvchanlik mexanizmiga to'xtalib o'tamiz.

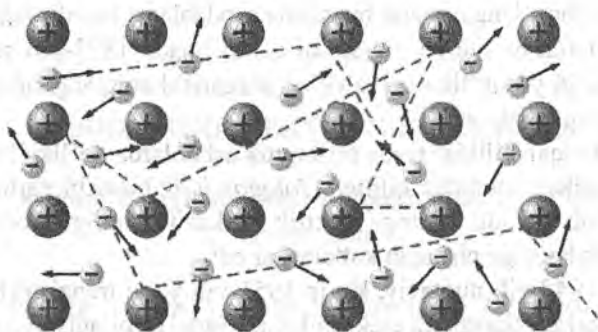
4.2. Elektrik o'tkazuvchanlik

Ma'lumki, barcha moddalar turli kimyoviy bog'lar hosil qilgan atomlardan tuzilgan bo'lib, bu bog'lar ularning ko'plab fizik va kimyoviy xossalarini, jumladan, elektrik o'tkazuvchanligini belgilaydi. Masalan, tuz va yog' dielektriklar guruhiga mansub bo'lib, elektr tokini o'tkazmaydi, metallardan qilingan sim esa juda yaxshi o'tkazgichdir. Metallning yuqori elektrik o'tkazuvchanligi sababi nimada?

Metallarning elektrik o'tkazuvchanligi

Kristall panjarada metall atomlari juda zich joylashgan – har bir metall atomi o'n ikkitagacha qo'shni 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 *chiqish 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 zichligi ularing yuqori elektr o'tkazuvchanligini belgilaydi.

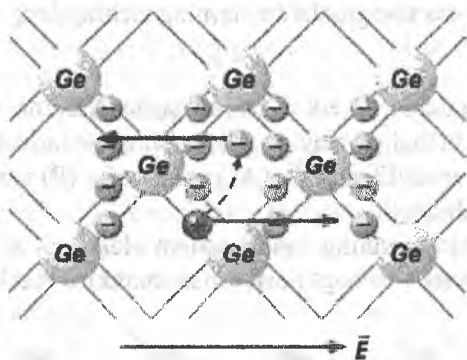
Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi

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'lanmagan, 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° 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° 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‘shimcha 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‘shni atomga siljiydi. U atom o‘z navbatida boshqa atomdan elektronnı 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‘shni 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 tura olmaydi. Ma'lum bir vaqtdan 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.

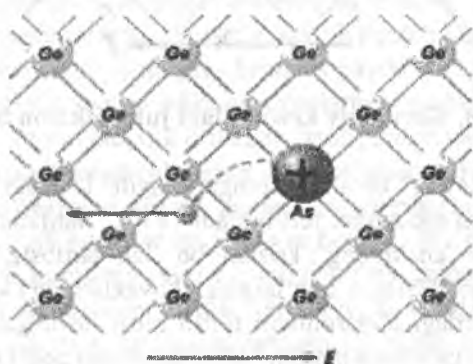
Rekombinatsiya paytida energiya ajralib chiqadi, uning qiymati elektron-kovak juftligini hosil qilish uchun sarf bo'lgan energiyaga tengdir. Ba'zan bu energiya nurlanish ko'rinishida ajralib chiqadi, ko'p hollarda esa bu energiya kristall panjaraga berilib, uni qiztiradi. Erkin elektronlar va kovaklar 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'shni atomlar bilan kimyoviy bog' hosil qilish mumkinligini bildiradi.



4.3 -rasm. Germaniy kristall panjarasidagi arseniy atomi.
n turdagi 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.

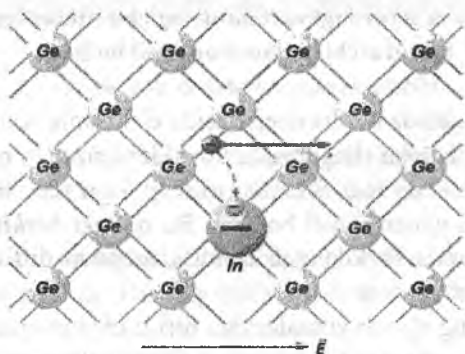
As ning beshinchi valent elektroni esa bog' hosil qilishda ishtirok etmaydi va natijada o'z atomidan uzilib ketsa bitta erkin elektron paydo bo'lishi mumkin.

Bunday kirishmalar *donor kirishmalar* deb ataladi. E'tibor bering, kirishma kiritilganda erkin elektron hosil bo'lishi kovak hosil bo'lishiga olib kelmaydi, chunki bunda erkin elektron atomlar orasidagi bog'lanishda qatnashayotgan valent elektronlar hisobiga hosil bo'lmaydi. Natijada donor kirishma kiritilgan yarimo'tkazgichda elektronlar zichligi n , kovaklar zichligi p dan katta bo'lishi mumkin:

$$n > p.$$

Donor kirishmali yarimo'tkazgichlarni n (*negative*) *turdagi yarimo'tkazgichlar* deb ataladi. Ularda elektronlar asosiy tok tashuvchilardir.

Agar o'sha germaniyga 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.

$$p > n$$

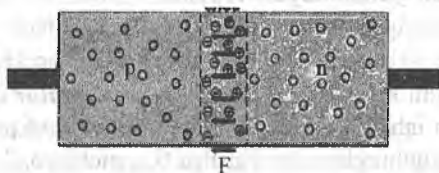
Bunday yarimo'tkazgichlarda kovaklar asosiy tok tashuvchilar bo'lib, ularni *r turdagi (positive – musbat) yarimo'tkazgichlar* deb ataladi.

4.3. Elektron - kovak o'tishi

Har qanday yarimo'tkazgichli asbob bir yoki bir nechta elektron - kovak o'tishidan iboratdir.

Elektron - kovak o'tish ($p - n$ o'tish) – bu p va n turdagi yarimo'tkazgichlar tutashgan joyidir.

n turdagi yarimo'tkazgichlarda erkin elektronlar zichligi kovaklar zichligidan ancha ko'p ($n \gg p$) bo'lgani uchun, p turdagida esa aksincha ($p \gg n$) bo'lgani uchun bunday elektrik neytral yarimo'tkazgichlar tutashtirilganda kovaklar va elektronlar diffuziyasi sodir bo'ladi. Kovaklar shiddat bilan p yarimo'tkazgichdan n turdagi yarimo'tkazgich tomon, elektronlar esa n yarimo'tkazgichdan p turdagi yarimo'tkazgichlar tomon diffuziyalanadi (4.5-rasm).



4.5 - rasm. p va n turdagi yarimo'tkazgichlar tutashgan joyida berkituvchi qatlarning hosil bo'lishi.

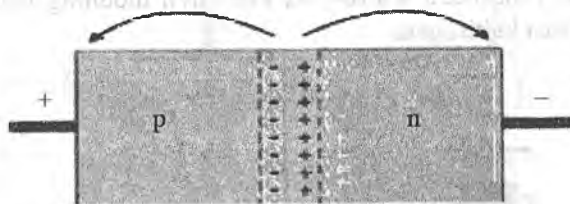
Diffuziya natijasida n soha chegarasida elektronlar kamayib, musbat zaryadli qatlam, p soha chegarasida kovaklar kamayib manfiy zaryadlangan qatlam hosil bo'ladi. Shunday qilib, $p - n$ o'tish chegarasida ikki xil zaryadlangan qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlam **berkituvchi qatlam** deb nomlanib, unda shakllangan elektrik maydon diffuziyani davom ettirishga yo'l qo'ymaydi.

$p - n$ o'tishning ajoyib xossalariidan 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.

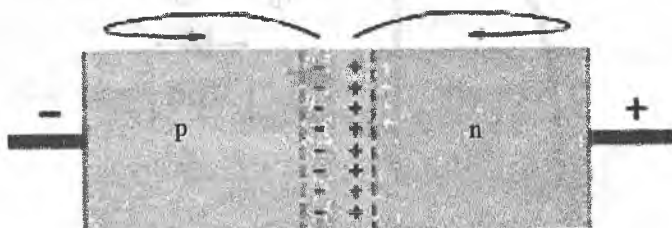
1) manbaning musbat qutbi p tomonga, manfiy qutbi n tomonga ulangan.

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.

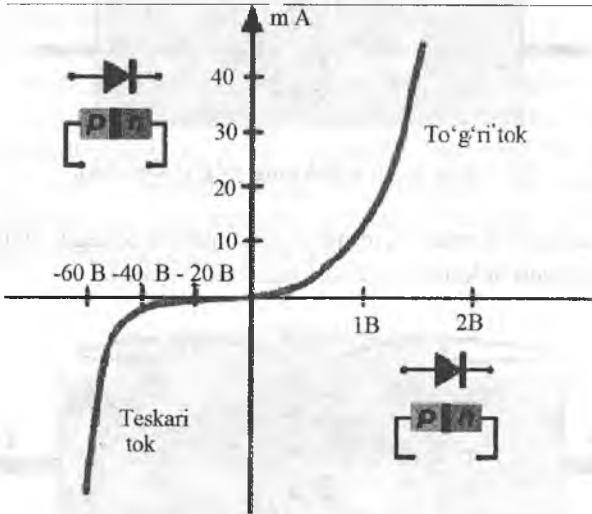
Bunday ulanish berkituvchi qatlamda kovaklar va elektronlar diffuziyasi tufayli hosil bo'lgan elektrik maydon kuchlanganligini yanada orttiradi.

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 tomonga tok o'tishi xossasi yarimo'tkazgichli diodlarda foydalaniladi. Yarimo'tkazgichli diodlar, asosan, kremniy va germaniydan tayyorlanadi. Ularni tayyorlashda bir turdagi (masalan, n turdagi) o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgich kristaliga boshqa turdagi (p turdagi) yarimo'tkazgich kristali tomchisi eritib kiritib yuboriladi. 4.8-rasmda kremniyli diodning volt - amper xarakteristikasi keltirilgan.



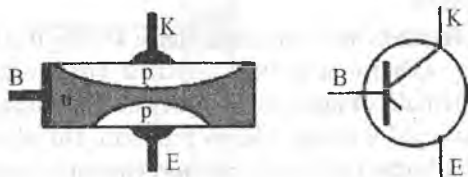
4.8 - rasm. Kremniy diodining volt-amper xarakteristikasi.

4.5. Tranzistor

Ikki $p - n$ o'tishli yarimo'tkazgichli asboblari tranzistorlar deb ataladi. Barcha mantiqiy mikrosxemalar ular asosida ishlaydi. Tranzistor so'zining lug'oviy ma'nosi inglizcha *transfer* - tashuvchi va *resistor* - qarshilik so'zlaridan tashkil topgan. Ko'p hollarda tranzistorlar ham kremniy va germaniy kristallaridan tayyorlanadi. Oddiy *planar tranzistorlar* p yoki n turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa yarimo'tkazgich plastinkadan iborat bo'lib, uning sirtiga ikki tomoniga

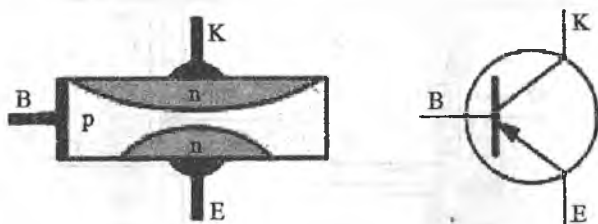
boshqa turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgich qatlami o'tqaziladi. Tranzistor plastinasini **baza (B)** deb ataladi, unga o'tqazilgan boshqa turdagi yarimo'tkazgich qatlamlaridan birini **kollektor (K)**, ikkinchisini **emitter (E)** deb ataladi.

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, $p - n - p$ turdagi germaniyli tranzistor plastinasi bazasi donor kirishmali n tur o'tkazuvchanlikka ega bo'lib uning ikki tomonida p turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan, sohalar hosil qilinadi. $n - p - n$ turdagi 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 emmitter 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 kuchaytiradi. Boshqa ulanish sxemasida tok kuchaytiriladi.

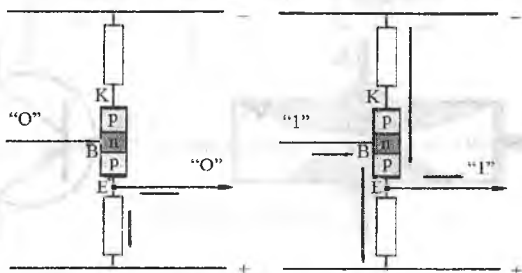
O‘ylab ko‘ring, radioqabullagich antenmasida sodir bo‘lgan juda zaif elektrik signallar kuchaytirilgach, tovush karnaylarini kuchli tebrata oladi.

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 birdan iborat ikkilik kodida ishlovchi mioprotsessorlar amalga oshiradi.

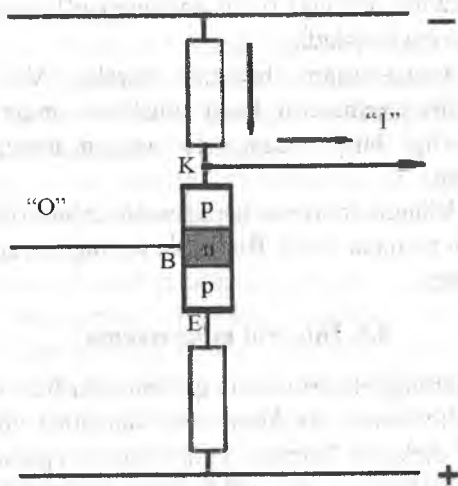
CMOS (komplementar metall-oksit yarimo‘tkazgich) mantiqiy qu-rilmalarida musbat yoki nol kuchlanish “0” ni anglatadi, manfiy kuchlanish esa “1” ni bildiradi. Baza zanjiri qo‘shilmaganda emitter zanjiridan tok o‘tmaydi. Bu holat mantiqiy “0” ga mos keladi. Bazaga manfiy kuchlanish berilganda zanjirda tok hosil bo‘ladi, bu mantiqiy “1” ga mos keladi.

Shunday qilib, sxema kirishida “0” tranzistorini yopadi, chiqishida ham “0” ni olamiz. Agar kirishga tranzistor bazasiga “1” bersak, u ochiladi va emmitterda “1” ni hosil qilamiz (4.11-rasm).



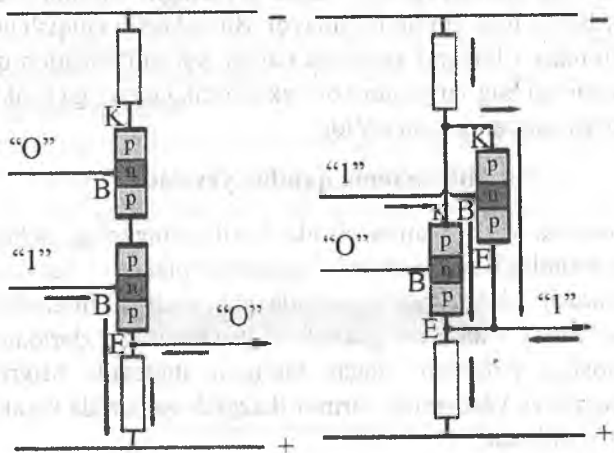
4.11-rasm. *p - n - p* tranzistorning mantiqiy ulagich sifatida ishlatilishi.

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, fotosenszorlar ishlab chiqilishi mumkin (4.13-rasm).



4.13 - rasm. “VA” va “YO KI” tranzistorli sxemalar.

Biroq, texnikaning keyingi rivoji nanometr o'lchamli tranzistorlar yaratishni taqozo eta boshladi.

Bir qancha tranzistorlarni birlashtirib 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 elektronkada 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'rniga ixcham, stol ustida, hatto cho'ntakda joylasha oladigan 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'xshagani uchun, ba'zan ularni **chiplar** ham deb ataladi.

Yuzasi 1sm^2 bo'lgan 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 birlashtirib 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 foydalaniladi. Plastina 200 mm diametrlri va qalinligi 1 mm dan kichik bo'lgan disk ko'rinishda bo'ladi. Uni silindrik monokristallni kesish yo'li bilan olinadi.

Yarimo'tkazgich monokristali xossalari kristall yo'nalishiga kuchli bog'liq bo'lganligi uchun, uni kesishdan oldin kerakli yo'nalish tanlab olinadi.

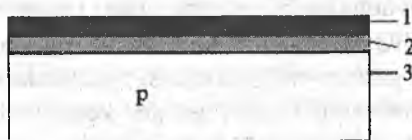
Monokristallarni kesishda o'lchami 40–60 mikron bo'lgan olmos bo'lakchalari bilan qoplangan keskich disklardan foydalaniladi. Shuning uchun kesilgan kremniy disklari sirtida turli xil yoriqlar, chiziqlar hosil bo'lib, sirtning yassiligi va fizik - kimyoviy xossalari buziladi. Sirtning yassiligini ta'minlash 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, kislorod atmosferasida *oksidlanadi*, ya'ni kislorod ta'siriga duch keltiriladi. Natijada taglikning sirtida juda yupqa SiO₂ qatlam hosil bo'ladi. Kremniy taglik temperaturasini va kislorod atmosferasida turish vaqtini o'zgartirib kerakli qalinlikdagi oksid qatlam olishimiz mumkin. Dioksid qatlam yaxshi dielektrik bo'lib, kimyoviy chidamli, pishshiq 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 qismlariga 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).



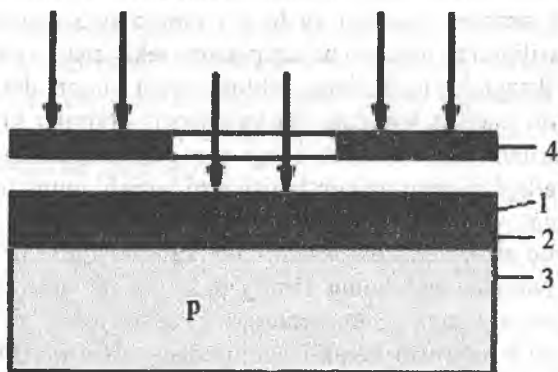
4.14-rasm. p - turdagi kremniy taglikka qoplangan:

1 – fotorezist; 2 – SiO₂ 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. Ekspozitsiya

Keyingi bosqichda – ekspozitsiyada 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 SiO_2 qatlam olib tashlanadi. Har bir qatlamni olib tashlash uchun alohida kimyoviy modda ishlatiladi (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.

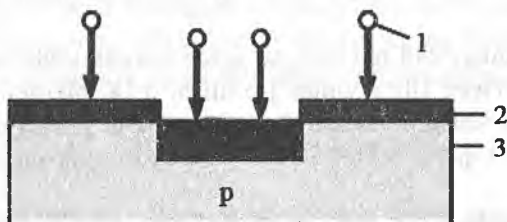
Kimyoviy suyuqliklar bilan yedirishda, fotorezist niqob bilan himoyalangan SiO_2 qatlami olib tashlanadi. “Quruq” usullar samaraliroq bo‘lib, unda gazrazyadli plazma sirt qatlamlari bilan ta‘sir lashib, ularni ko‘chirib tashlaydi. Undan tashqari, yedirishning ionli, kimyoviy – ionli va plazma - kimyoviy 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 SiO_2 qatlamda ochilgan "darcha": 1 – fotorezist; 2 - SiO_2 qatlami; 3 – yarimo'tkazgichli plastinka.

5. Mikrosxema tayyorlashning oxirgi bosqichi, epitaksiya, diffuziya 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 – 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

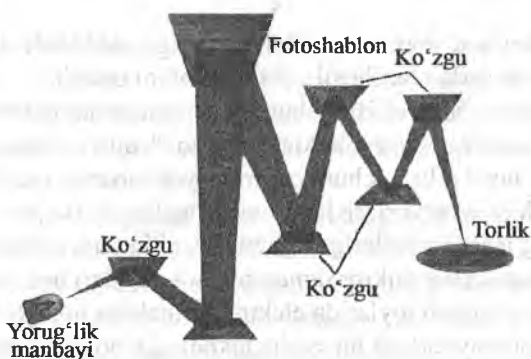
Elektronikaning yanada rivojlanishi, ya'ni chiplarning o'lchamini yanada kichraytirish hisobiga ishlab chiqarish unumini oshirish, litografiya usullarining rivojlanishiga to'g'ridan - to'g'ri bog'liqdir.

Taglikda yanada ko'p elementlar joylashtirish uchun fotoandozadagi chiziqlar qalinligi yanada kichrayishi zarur. Buning uchun yorug'lik nuri to'liq uzunligini yanada kichraytirish kerak bo'ladi. To'liq uzunligi qancha kichik bo'lsa, u shuncha kichik qismlarni fotorezistga "chizish" imkonini beradi.

– Dastlab litografiyada to'liq uzunligi 1 mikron bo'lgan nurlar ishlatilgan, bunda yo'lakchalar qalinligi ham taxminan 1 mikronga teng bo'lar edi. Keyin 435 va 365 nm to'liq uzunligidagi binafsha nurlar ishlatila boshlandi, yo'lakchalar qalinligi ham 0,35 mikron (365nm)gacha kichraydi.

To'liq 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 qalinligi 70 nm li chiziqlar hosil qilish imkonini beradi, bu odam sochi qalinligidan deyarli ming marta kichikdir. EUV – litografiyada to'liq uzunligi 11 – 14 nm bo'lgan nurlar, qaytaruvchi optika va fotoandoza qo'llaniladi (4.18-rasm).



4.18-rasm. Optik litografiya sxemasi.

Optik qurilma fotorezist niqob bilan yorug'lik manbai orasidagi oynalar majmuasidan iborat. EUV – litografiyaning afzalliklarini tasavvur qilish uchun biz o'quvchiga bir necha yorqin misollar keltiramiz.

EUV – texnologiya hozirgi mikroprotsektorlardan 30 barobar tez ishlaydigan yaratish imkonini beradi. 10 Hz chastota bilan ishlovchi protsektor odam ko'zini yumib ochguncha (taxminan 0,2 sekund) 2 mlrd. hisoblashlar bajaradi.

EUV – litografiya kremniy taglikda o'lchami 70 nm li va bundan kichik qismlar elementlar hosil qilish imkonini beradi. EUV va DUV – litografiya yordamida chizilgan elementlar qalinligi, 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 qonuniyatlarga asoslangan litografik jarayonlar ishlab chiqish uchun yo'l ochadi.

4.7. O'tkazuvchan polimerlar

Uzoq vaqt davomida mikroelektronikaning asosiy materiallari deb kremniy chiplar asosi, kontakt va yo'lakchalar uchun mis hisoblanar edi. Kompyuterda plastmassa uning monitori korpusini tayyorlash uchun ishlatilardi. 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 molekularning 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, selluloza, kraxmal, kauchuk, tabiiy saqich tabiiy polimerlarga misol bo'la oladi. Inson organizmida

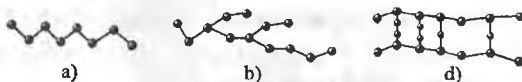
ham muskullar, teri, soch polimerlardir. Yaqin vaqtlargacha polimerlarni faqat tabiat hosil qilar edi. Oʻtgan asrning 20-yillarida inson ularning sirini aniqlab oʻzi ishlab chiqara boshladi. Sunʼiy polimerlar polietilen, kapron, neylon va boshqa plasmassalar koʻrinishida bizning hayotimizga kirib keldi. Bugungi kunda oʻzlarining ajoyib xossalariga koʻra ular hamma joyda yogʻoch, metall va shisha oʻrnini bosmoqda. Plastmassalar namlikdan, kuchli kislotalardan qoʻrqmaydi, zanglamaydi, chirimaydi. Ular arzon uglevodorod xomashyosidan tayyorlanadi.

Polimer zanjirlari uzunligini va toʻqilishini oʻzgartirib plastmassalarning pishshiqligi va elastikligini oʻzgartirish mumkin.

Polimer zanjiriga yana bitta halqa qoʻshish yoki ozgina kirishma kiritish bilan ularda yangi xossalar paydo qilish mumkin. Baʼzi polimerlarning pishshiqligi poʻlatniki bilan taqqoslanarli boʻlsa, baʼzilarining elastikligi rezinani kidan ham yaxshi, boshqasi xuddi xrustaldek shaffof, lekin sinmaydi. Baʼzi polimerlar issiqlik taʼsirida tezda parchalansa, baʼzilari juda yuqori temperaturalarga ham chiday oladi. Buni bilgan holda olimlar bugungi kunda yuz minglab xil polimerlar hosil qilishadi.

Polimerlarning tuzilishi va tarkibi

Makromolekulada bir turdagi atomlar yoki atomlar guruhi chiziqiy, tarmoqlangan yoki fazaviy tuzilish hosil qilib birikishlari mumkin. Tabiiy kauchuk *chiziqiy* polimerlarga misol boʻla oladi. *Tarmoqlangan* polimerga – amilopektin, *murakkab fazaviy tuzilish*larga nanonaychalar misol boʻla oladi (4.19-rasm).



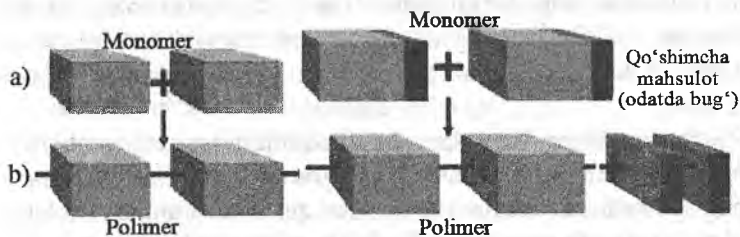
4.19-rasm. Polimerlarning turli tuzilishlari.

a) chiziqiy; b) tarmoqlangan; d) fazaviy.

Polimerlarning hosil boʻlishi

Tabiiy polimerlar tirik organizmlar xujayralarida biosintez jarayonida hosil boʻladi. Ular oʻsimlik va hayvonlardan olinishi mumkin. Sunʼiy polimerlarni olish kimyoviy *polimerlanish* va *polikondensatsiya* jarayonlari asosida amalga oshiriladi. Polimerlash reaksiyasida oddiy

– monomer molekullarni birikishidan yangi katta molekular massaga ega bo‘lgan makromolekula hosil bo‘ladi. Makromolekula va monomerning tarkiblari bir xildir. 4.20 - rasmda polimerlanish (a) va polikondensatsiya (b) reaksiyalarining shartli sxemasi ko‘rsatilgan (4.20-rasm).



4.20-rasm. Polimerlar hosil bo‘lish reaksiyalari:

a) polimerlanish; b) polikondensatsiya.

Polimerlar elektrik o‘tkazuvchanligi

Sintetik polimerlarning eng ajoyib xossaligidan 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 sovrindorilari 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‘shib 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.

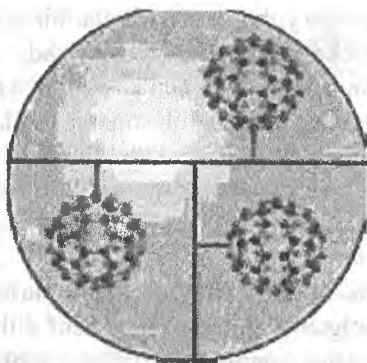
Keyingi izlanishlar o‘tkazuvchanligi oddiy plastiknikidan o‘n million marta yuqori bo‘lgan polimerlarning kashf qilinishiga olib keldi. Bu kashfiyot XXI asrning organik materiallarga asoslangan yangi elektronikasiga yo‘l ochib berdi. Organik materiallar kremniyga nisbatan yengil va egiluvchan bo‘lib, 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'rinishgan. Elektronlarni ozod etish uchun turli xil kirishmalar kiritiladi. Ular kiritilgandan so'ng zaryadlar (elektronlar va kovaklar)ning molekular zanjir bo'ylab ko'chish imkoni 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 cheklovchi 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 yelimgan 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 impulsga aylantirilmoqda. Chiplar yordamida axborot ma'lum bir kanallarga yo'naltirilib, keyin yana yorug'lik impulsiga aylantiriladi va optik tolalar yordamida kerakli manzilga uzatiladi (4.21-rasm).

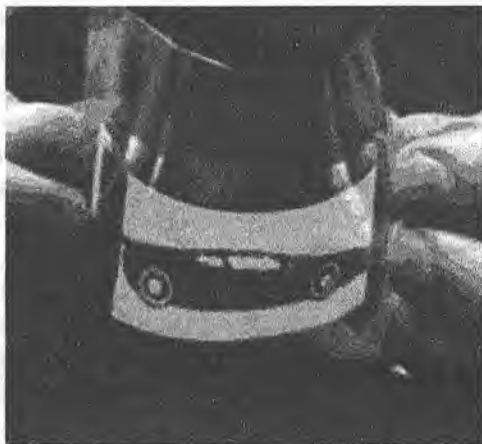


4.21-rasm. Fullerenlar va polimer zanjirlar birikmasi – o'ta tezkor optik ulagichlar kalitidir.

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 afzalikdir, chunki printer sodda va ananaviy IS tayyorlovchi qurilmalarga nisbatan juda arzon va ishlatishga qulaydir.

Britaniyaning Cambrige Display Technologies kompaniyasi uyali telefonlar va boshqa kichik elektron qurilmalar uchun videodispleylarni printerda ishlab chiqarishni yo‘lga qo‘ymoqchi. Bunday displeylar 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 displeyning laboratoriya namunasi tasvirlangan.

Agar printerda ham o‘tkazgichlar, ham polimerlar, displeylari muhirlash mumkin bo‘lsa, nima uchun printerning o‘zini pechat qilib

bo'lmis ekan? RepRap – loyihasi ko'ngillilari aynan shu maqsadni ko'zlagan. Ular o'zini qayta pechatlovchi printer ustida ish olib bormoqdalar. Bunday printerlar o'zining barcha (detallari) ehtiyot qismlarining 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 sodda: agar metall o'tkazgich simli ramkasini magnitik maydonda aylantirsak, ramkada 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'rinib 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 rivojining hozirgi darajasida millimetr 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 mikroobyekt va mikro-mashinalar bo'lib, ularga motorlar, nasoslar, turbinalar, mikrorobotlar,

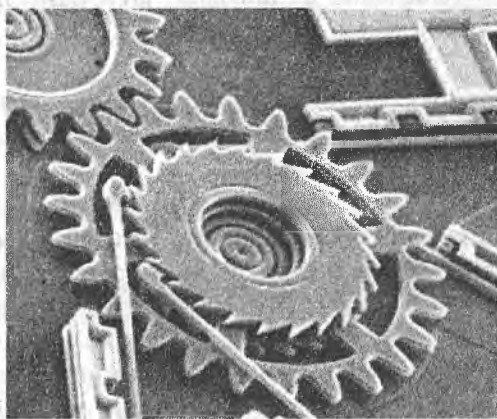
mikrodatchiklar va butun boshli analitik mikrolaboratoriyalar kiradi.

Ularnig o'lchami gugurt cho'pi uchidan kichik bo'lishi mumkin. Shuning uchun MEMS lar ishlatilishi 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: telekommunikatsiyada, tibbiyot va transportda keng ishlatilmoqda. MEMS lar bugun nanotexnologiyalar rivojida muhim o'rin tutmoqda. Aynan shunday tizimlar negizida nanomanipulator va nanorobotlar yaratish rivojlantirilmoqda.

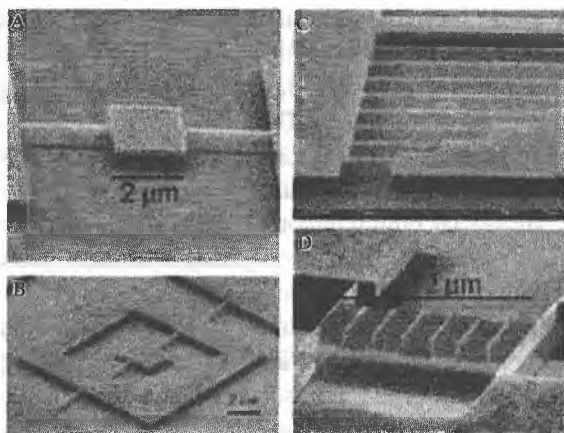
Ananaviy mikroprotsessor ma'lum bir algoritm bo'yicha hisob - kitoblarni bajarib, natijani raqam sifatida chiqarib berishga qodir xolos. MEMS lar esa hisoblabgina qolmasdan, yana ba'zi bir harakatlarni ham bajarishi mumkin, ya'ni ular mikrorobotlardir.

Agar IS lar faqat "o'ylash"ga qodir bo'lsa, MEMS lar tashqi dunyoni "sezish", u bilan aloqa qilish imkoniyatiga ega. Shuning uchun MEMS lar yarimo'tkazgichlar inqilobining yangi to'liqini desak mublag'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 ishlatiladi. MEMS ni yasash texnologiyasi esa IS tayyorlashni eslatadi (4.24-rasm)



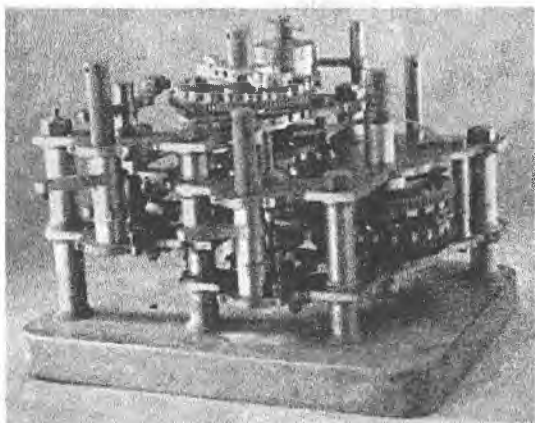
4.24-rasm. Tayyorlangan MEMS lar.

Ikkalasini tayyorlashda ham yagona texnologik jarayon ishlatiladi. 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 qiziqarliki, MEMS lar faqatgina mikro- va nanorobotlarning sezgi organlari va mushaklari bo'libgina qolmasdan, nanokompyuterlar asosi ham bo'lishlari mumkin.

Kompyuterlar paydo bo'lishi XIX asrda Charlz Bebbijning universal mexanik mashinasidan boshlanadi. 1833-yili Kembridj universiteti professori, ingliz olimi Charlz Bebbij xotira va programmashtirish qurilmalariga ega bo'lgan ulkan mexanik arifmometr ixtiro qilgan. Bebbijning analitik mashinasi hozirgi zamon 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 olingan natijalarni saqlashi mumkin edi (4.25-rasm).



4.25-rasm. Charlz Bebbij mashinasi.

Olimlar hozirda nanoo'lchamli Bebbij mashinasini yaratmoqchilar.

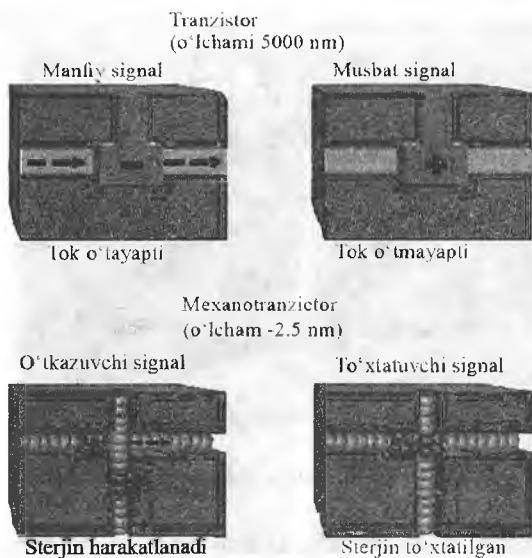
Erik Dreksler barcha mantiqiy amallar va ularni saqlash sterjenlar tizimi harakati tufayli amalga oshiriladigan juda kichik o'lchamli mexanokompyuter loyihagini taklif qildi. Drekslar mexanotranzistorlar yordamida ishlaydigan, o'lchamlari $400 \times 400 \times 400$ nm bo'lgan bunday kompyuterning batafsil qilingan tavsifini keltiradi. Nanotexnologiyalar yordamida o'zgartirilgan materiallar (masalan, olmos va sapfir) yordamida informatsiya almashinuvi tezligini yetarlicha oshirish mumkin.

Bunda uning hisoblash quvvati bir sekunda 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 ishlatilsa, 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.

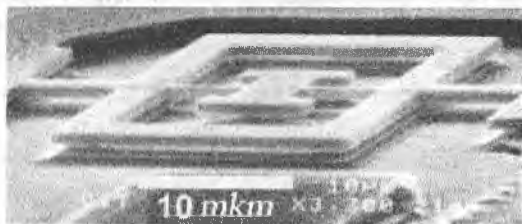
Mexanik xotira mantiqiy katagi yasalişhini ko'rib chiqamiz. Elektron – nur litografiyasi yordamida tadqiqotchilar dastlab mexanik kalitlar matritsasi uchun “shablon” tayyorladilar. Uni kremniy oksidi bilan qoplangan kremniy monokristalidan yedirib hosil qilishdi.

Elektron – nur litografiyasi MEMS va nanotexnologiyalar tomonidan anchadan buyon ishlab chiqarish jarayonida qo'llaniladi. Undan mikroelektronika sxemalari va mikropotsessorlarni ommaviy ishlab chiqarishda ko'p foydalaniladi. 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 ish-lash tezligi sekundiga milliard siklgacha yetishi mumkin (4.27-rasm).

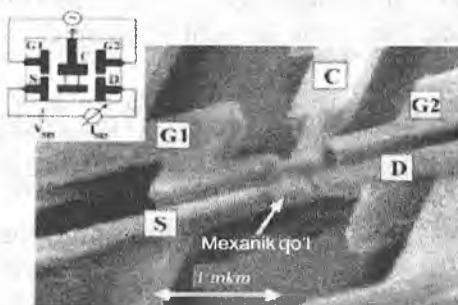


4.27-rasm. MEMS xotira yacheykasi.

Ularining o'lchami esa eksperimental namunalardan ham kichik bo'lishi mumkin.

Nanomexanik xotiralarning nanoelektronikaga nisbatan yana bir afzalligi shuki, nanotorning tebranish diapazoni bir necha angstromni tashkil qiladi. Nanotorlarning shu diapazonda atigi bir necha femtovatt elektroenergiya ishlatsa, hozirgi xotira kalitlari millivatlarda iste'mol qiladi. Mexanik xotiralar o'lchamini hech narsa chegaralamaydi. Man-gitik xotiralarning esa superparamagnitik effekt bilan o'lchami chega-ralanadi.

Mexanik va elektron hisoblashlarni umumlashtirgan gibrid NEMS tranzistorlar zaryad tashuvchilarni mexanik usulda tashish qonuniya-tiga asosan ishlaydi. Bunga bir misol keltiramiz. 2001-yili AQSHning Viskonsina shtatida Robert Blayk elektromexanik mayatnikni namo-yish etdi. U radiochastotalar diapazonida tebranib, bir elektronni u elek-troddan bunisiga mexanik ko'chira oldi (4.28-rasm).



4.28-rasm. Blaykning nanomexanik ossilyatori.

Qurilma o'rtasida "mexanik qo'l" deb nomlangan tebranuvchi mayatnik. Agar G1 va G2 nuqtalarga o'zgaruvchan kuchlanish qo'yil-sa, mayatnik o'zgaruvchan kuchlanish chastotasiga proporsional chas-tota bilan tebranaadi. Ishchi qurilmada mayatnik 100 Hz chastota bilan tebrangan. Mayatnik – C, G1, G2, C va D elektrodlardan izolatsiyalan-gan hamda yerga ulangan. C va D elektrodlar tranzistorlardagi 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 kuchlan-ish manbai V_{SD} va elektron tashish natijasida hosil bo'luvchi tok I_{SD} ni o'lchovchi asbob tasvirlangan.

Tadqiqotchilar ossillyatorni SOI (silicon – on insulator: krem-niy 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 qi-lish uchun 100000 tacha elektronlar o'tishi zarur. Yangi elektromexanik tranzistorda buning uchun *bitta elektron* kifoya qiladi. Yangi qurilman-ing afzalliklaridan biri unda issiqlik ta'sirida shovqinlar yo'qligidir, chunki, paynov va manbalar bir-biridan mexanik ajratilgan. Bu tranzis-torlarda qilingan qurilmalarda energiya iste'moli ancha kamdir.

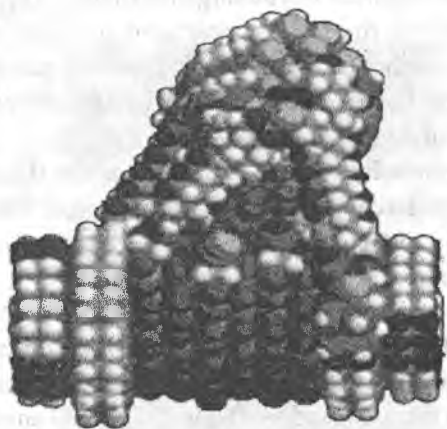
Blayk fikricha, u yaratgan mayatnik radioaktivligi yuqori bo'lgan joylarda ham ishlay oladi. Shuning uchun bunday mexanik tranzis-torlarni sun'iy yo'ldoshlarda qo'llanilishi kutilmoqda.

NEMS lar yordamida nanomanipulyatorlar ham yaratish mumkin. Nanomanipulator – bu boshqariluvchi mexanosintez qiluvchi yoki alo-hida molekulalarni bir joydan ikkinchi joyga ko'chirib oluvchi quril-madir.

Hozir bunday qurilmalar yaratish ustida bir qator yirik kompani-yalar va laboratoriyalar ish olib bormoqda. Nanomanipulyatorlarning loyihalari ishlab chiqilgan, lekin hali hech bir amalga oshirilganicha yo'q.

MEMS va NEMS qurilmalarining qo'llanish sohalari shunchalar ko'pki, 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 asboblari 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 qonuniyatlari 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 ishlatilib, seyflarni va muzey eksponatlarini qo'riqlashda ishlatiladi. Bunday MEMS qurilmalar buyumdagi 1 mikrongacha bo'lgan siljishlarni seza oladi. 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 molekullari 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.

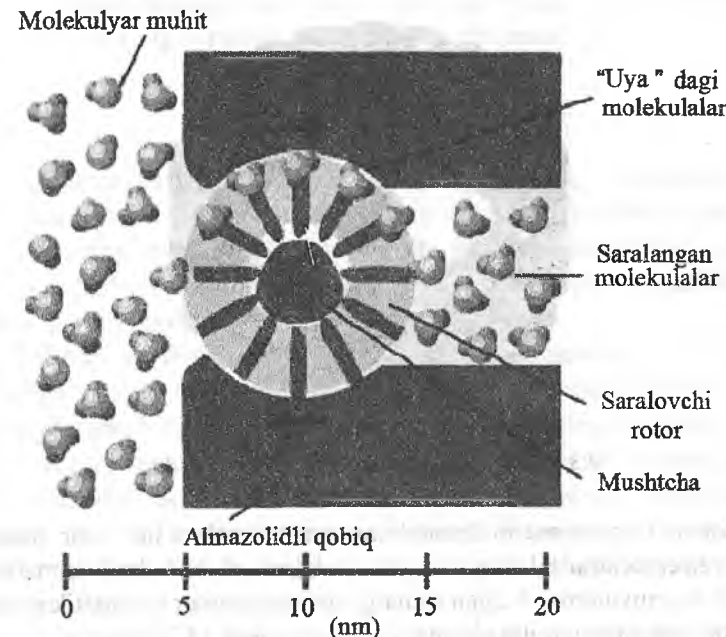
Nanosensorlar – bu nanomasshtablardagi effektlarda ishlaydigan sezgir elementlardir. Bugungi kunda nanosensorlar murakkab qurilmalar holatini aniqlash, uy ro'zg'or texnikasi va biotibbiyotda keng qo'llanilmoqda.

NEMS lar yordamida faqat bir turdagi molekullarni ajratuvchi nanoretseptor ishlashini ko'rib chiqamiz.

Qanday qilib faqat markaziy kompyuter tanlagan molekullarni ajratib oluvchi programmashtirilgan 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 molekullarga mo'ljallangan "uyachalarga" egadir. Turli xil molekullar ichida turgan "uyacha" faqat tanlangan molekullarni tutib qoladi va uni qurilma ichiga kirib ketguncha ushlab turadi. Bunday rotorlar 10^5 ta atomlardan tuzilgan bo'lib, $7 \times 14 \times 14 \text{ nm}$ o'lchamga va $2 \cdot 10^{-21} \text{ kg}$ massaga ega bo'ladi. Ular atomlar soni 20 tadan oshmagan molekullarni 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).

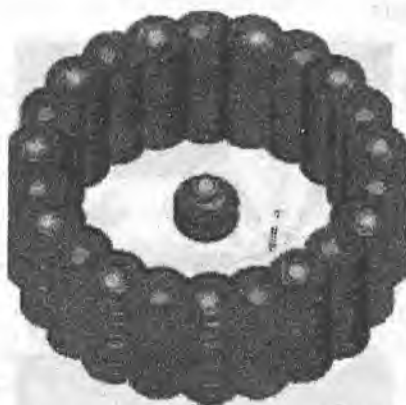


4.30-rasm. Molekular saralovchi rotor.

Rotor to'liq qayta tiklanuvchi bo'lib, gaz, suv va glyukoza molekullarini damlash yoki chiqarish uchun ishlatilishi mumkin. Har bir rotor uning uzunasi bo'ylab joylashgan molekullarni tutib olish uchun 12 ta "uyachadan" iboratdir. MSR katta idishlarga birorta ham begona molekula yo'q, kimyoviy toza moddalarni damlash imkonini beradi.

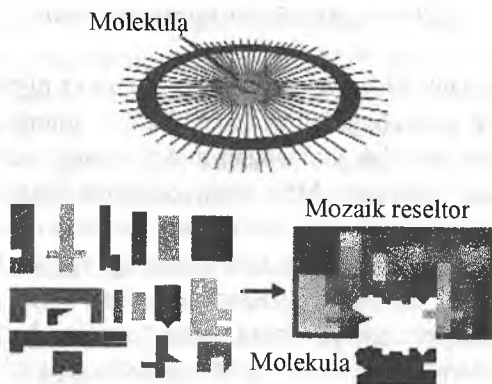
Rotorlarning "uyachalari" maxsus tuzilishga ega bo'lib, ular ba'zi fermentlarning faol markazlari singari, atomma - atom yig'iladi. Masalan, geksokinaz fermenti glyukoza uchun "uyacha" bo'ladi.

Erik Drekslarning hamkasbi va Xerox kompaniyasi tadqiqotchisi Ralf Merkle uzunchoq, chiziqli molekullarni "tutuvchi uyachalar" uchun nanonaychalardan foydalanish mumkin deb taxmin qiladi. Ralf turli uzun molekullar uchun zarur bo'lgan nanonaychalar o'lchamlarini hisoblab chiqdi. Bunday nanonaychali retseptor 4.31-rasmda ko'rsatilgandek bo'lishi mumkin.



4.31-rasm. Nanonaycha “uya” vazifasida.

Robert Fraytas esa molekullarni saralash uchun bir qator “mexanik” retseptorlarni taklif qilmoqda. Ular turli shaklda bo‘lib, ma’nosi 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'zilar 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'nosi – 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 namunalari 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.

"Aqlli chang" birinchi marta 2001-yili mart oyida Kaliforniyadagi harbiy bazada sinovdan o'tkazildi. Samolyotdan poligonga 6 ta "aqlli chang" tashlandi. Yerga tushiboq ular simsiz tarmoqqa birikib o'zlari atrofidagi magnitik maydon kuchlanganligini o'lehashga kirishdilar.

Ular oldidan avtomashina o'tgach, birgalashib uning tezligi va harakat yo'nalishini aniqladi va barcha ma'lumotlarni eng yaqin lagerda joylashgan kompyuterga yetkazishdi.

"Aqlli chang" ning qo'llanilish sohalari

O'zining simsiz ulanishi, avtonomligi, kichikligi, ko'pligi, ishonchlilik va nisbatan arzonligi tufayli "aqlli chang" odamlarning kundalik hayotiga shiddat bilan kirib kelmoqda.

Harbiy va politsiya sohasidan tashqari, o'zaro uyushgan sensor tarmoqlari tinch maqsadlarda ishlatilishi ham mumkin. Bu atrof-muhitni kuzatishdan tortib, qari odamlarga qarashgacha bo'lgan turli vazifalardir.

Biz faqat yuqori ijobiy natijalar bergan 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 uyalarini ko'zdan kechirib chiqar edi. Ikki yil oldin ular orolga "aqlli chang" lar tarmog'ini sepib yuborgach va bazaviy kompyuterni internetga ulagach, ularning faoliyati tubdan o'zgardi. Endi biz – deydi Anderson, dunyoni ixtiyoriy nuqtasida turib, sensorlar joylashtirilgan qush uyalarida hozirgi vaqt momentida nima bo'layotganini bilib turishimiz mumkin.

Bir necha yil oldin Kaliforniya shtatidagi Berkli universiteti biologu 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'riqxonada ekosistemasini 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 sohalarida ishlatmoqdalar. "Motes"lar bioterroristlar hujumi belgilarini aniqlashda juda muhim vazifani bajaradi.

Bu texnologiyaning qonuniyligiga ba'zi asoslangan shubhalar mavjud. Ularning foydali qo'llanilishidan tashqari, "aqli chang" ko'rinmas 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 foydalanishni faqat ko'paytiradi. Ilmiy - texnik taraqqiyotni to'xtatib bo'lmaydi, shuning uchun texnika rivojlanishiga mos holda davlat qonunchiligini ham mukammallashtirib 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 kimyoviy moddalar o'ziga xos hidga ega. Havodagi bu moddalar burunga kirgach, 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 bilishdagi 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 moddalarning 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.

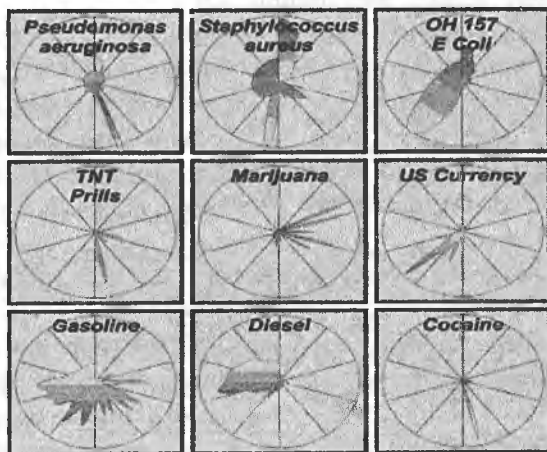
Elektron burunning yana bir variantida sensor sirtiga qalinligi 100nm va uzunligi 50nm bo‘lgan igna – kantilever biriktirilib qo‘yiladi. Ignaga ma‘lum bir molekullarni yoritish natijasida uning massasi va undan kelib chiqqan holda rezonans chastotasi o‘zgaradi. Kantileverning yangi tebranish chastotasini o‘lchab u yerda mavjud bo‘lgan molekullar guruhini aniqlash mumkin.

Har bir detektor signallari protsessor moduliga uzatiladi. Maxsus programma barcha ma‘lumotlarni analiz qilib, natijani xromotogramma ko‘rinishida chiqarib beradi. (Xromotogramma – bu markaziy koordinatadagi hidlar intensivligi grafigidir).

O‘lchashlar tugagandan so‘ng datchiklar sirtidan hidlanuvchi moddalarni 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 vaqti *sezish vaqti* deb ataladi. Elektron burunning hozirgi zamon namunalari ancha tezkor bo‘lib, ularning sezish vaqti 10 sekundni tashkil qiladi.

Yuvuvchi gazni yacheykaga berish vaqti *tiklanish vaqti* deb nomlanadi. Odatda, tiklanish vaqti 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, hidlarni aniqlash algoritmi ancha murakkab jarayondir. Shuning uchun “elektron burun” hidlarni aniqlashda sun‘iy intellektdan 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. Zamonaviy elektron burun 10 sekundda natija oladi, sezgirligi yuqori, uzoq vaqt davomida muntazam ishlay oladi va nisbatan arzon qattiq jisimli 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 chiqarayotgan 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'lbo'la elektron burun sayyohlarga 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 infeksiyon 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 taqqoslaydi 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 yoʻqligini aniqlab beradi. Hidga qarab onkologik kasalliklar, pnevmoniya va hatto atipik pnevmoniya (SARS) ni aniqlash imkoni tugʻiladi.

Kalla suyagi va miya shikastlanishida orqa miya suyuqligi oqishi holatlari oldini olib, juda koʻp insonlar hayoti saqlab qolinishi mumkin.

Tibbiyotda nafas olish aʼzolari kasalliklariga toʻgʻri tashxis qoʻyish juda murakkab jarayon hisoblanadi. Pnevmoniyani oʻtkir respirator kasalligidan farqlash ancha vaqt talab qiladi. Elektron burunni qoʻllash tashxis qoʻyish vaqtini qisqartiradi, uning narxini pasaytiradi va tashxis aniqligi oshadi.

Olimlar fikricha, kelajakda “elektron burun” shifokor uchun xuddi bosim oʻlchagich kabi doimiy hamroh boʻlib qoladi.

Hordiq chiqarish. Hozirgi kunda ixtiyoriy hidlarni sintez qila oladigan uncha katta boʻlmagan 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 hidlarni internet orqali uzatish ham mumkin boʻladi. Internet oʻyinlari turli xil aromatik hidlar bilan toʻyinadi.

Pitssa va parfumeriya sotuvchilari oʻz saytlarida mahsulotlari taratayotgan hidini ham namoyish etishlari mumkin. Parfumeriya sotuvchilariga bu ancha tashvish keltiradi. Agar har bir ayol oʻziga kerakli hid tarqatuvchi atirni internetdan tortib olsa, unda hech kim atir sotib olmaydi. Undan tashqari, har kim oʻzi xohlagan hidni skanerlab yozib olgach, uni uyda oʻzi hosil qilishi mumkin! Bozorda esa ming xil hid taratuvchi atirlar hidi yozilgan SD disklar sotib olishi mumkin. Parfumeriya sanoati ham xuddi musiqa yoki videofilm sotuvchilaridek “aromatik qaroqchilar” bilan kurash boshlasa kerak. Aibo nomli robot-kuchuk koʻpchilikka tanish. Agar u “elektron burun” bilan jihozlansa oʻz 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 koʻp tarkiblovchili suyuqliklarni analiz qiluvchi “elektron til” turidagi kimyoviy sensorlarni tayyorladilar.

Bu asboblarni 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. Farqini odamlar sezmaydigan distillangan va mineral suvlar grafikda oson ajratiladi.

"Elektron burun" singari, bu tizimda ham xromatografiyadan foydalaniladi, 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 foydalanuvchiga 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 muvaffaq 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 tugunini 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. Masalan, 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 nanokompyuterlar yaratish imkonini beradi. Informatsiyani avvalgidek ikkilik kodida belgilanishi tezlikni oshirishga o'z hissasini qo'shadi.

Chiplarda magnitooptoelektron tuzilmalarining ishlatilishi 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 nanonaychalari o'ynaydi. Nanonaychalarning noyob xossalaridan biri ularning fizik va kimyoviy xossalarining xirallik darajasiga (ya'ni, nanonaychalarning 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 tepasiga joylashgan nanonaycha esa - nanotranzistor kanalidir.

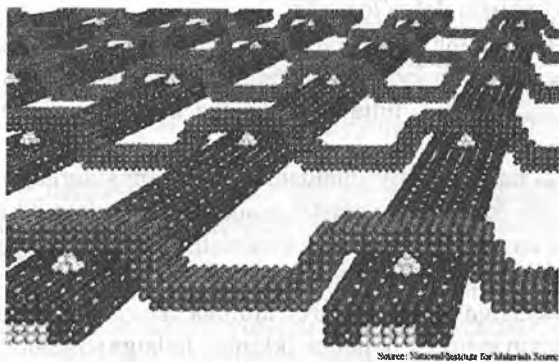
Chartered Semiconductor Manufacturing kompaniyasi 65 nmli texnologiya bo'yicha ishlab chiqilgan mikrosxemani namoyish qildi. Sin-gapurdagi zavod 2006-yildan boshlab ushbu mikrosxemani ommaviy

ishlab chiqarishga kirishdi. Texas Instruments kompaniyasi 65 nmli chiplar namunalari yaratdi.

Bunday nanoelektron qurilmalar yaratildi va o'zining ishlay olishini isbot qildi. Samsung firmasi nano- va biotexnologiyalarni inson hayajonlarini o'qishda mobil telefonlarda, signallarni neyronlarga uzatishda foydalanishni rejalashtirgan. Philips kompaniyasi energetik mustaqil ishlaydigan nanoxotira yaratmoqda. Yaponiya materialshunoslik milliy instituti tadqiqotchilari eski mexanoelektrik ulagichlarni kvant darajasida kichiklashtirishga erishdilar. Ular hozir uy jihozlarida ishlatiladigan ulagichlarga o'xshash juda kichik o'lehamli mexanik ulagich yaratdilar. Ulagichning ishlash qonuniyati juda oddiy – ikki nanoo'tkazgichga kuchlanish berilganda ular o'rtasida kumushdan qilingan ko'priklar paydo bo'ladi yoki yo'qoladi. Bu kumush nanoko'priklar uzunligi atigi 1nm . 1nm oralikka 10 ta vodorod atomi sig'adi. Bunday ulagich asosida tayyorlangan tranzistor Pentium IV protsessoridagidan 10 marta kichik bo'ladi.

Shuning uchun kvant ulagichlar asosidagi elektronika yaqin o'n yil da hozirgilarini siqib chiqarishi mumkin. Ularning oddiy ulagichlardan farqi nanoulagichlarda harakatlanuvchi mexanik qismlari yo'q. Ikki shina orasidagi kumush ko'priklar ularga kuchlanish berilganda paydo bo'ladi – deydi Yaponiya materialshunoslik milliy instituti direktori Xasegava.

Shinalar orasidagi kumush ko'priklar shu oraliqqa katta bo'lmagan musbat potentsiallar farqi berilganda vujudga keladi. Bu kuchlanish ishorasi o'zgarganda ko'priklar 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. Ula-nish chastotasi shinalar qalinligiga bog'liq. Agar ularning qalinligi ka-maytirilsa, 1GHz chastotaga erishish ham mumkin. Bu hozirgi zamon kompyuterlarining chegaraviy ishlash tezligidir.

Kumush ko'prikcha qanday hosil bo'lishiga to'xtalib o'taylik. Ham-masining 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 potentsiallar farqi bo'lganda ko'prik yig'iladi, kuchlanish teskari ulan-ganda ko'prik 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 ishlatilsa, unda 1sm² yuzaga 2,5 Gigabit informatsiya sig'adi. Hozirda eng zich xotira qurilmalarida 1sm² ga 1Gigabit sig'adi.

Yangi qurilma kvant fizikasi qonunlari bo'yicha ishlagani uchun ular asosida ko'p bitli xotiralar yaratish imkoni bor.

Bitta kalit 16 holatni yoki 4 bitni ifodalaydi. Tadqiqotchilar yangi kalit asosida "va", "yoki", "yoki-emas" mantiqiy qurilmalarini yara-ta oladilar. Barcha mantiqiy qurilmalar yaxshi ishchi xarakteristikalari matritsasini sanoatda ishlab chiqarish usullari yaratilmoqda.

HP kompaniyasi shunga o'xshash molekular nanokalitlarga asoslan-gan nanoelektronika yo'nalishini e'lon qildi. Bu yo'nalish ko'p qatlamli nanoelektronikani ommaviy ishlab chiqarishga olib keladi. Kompaniya rahbariyati nanokompyuterlar ishlab chiqarishni kompaniya biznesi-ning asosiy yo'nalishi deb e'lon qildi.

Nanoelektronikaning eng inqilobiy yutuqlari o'zining tabiat qonun-lari 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. Ikkin-chi holda elektron spini bir holatdan ikkinchi holatga (masalan, elektro-magnitik 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 vaqtda spintronika yarimo'tkazgichli tuzilmalarda magnitik va magnitooptik ta'sirlashuvini, kondensatsiyalangan moddalarda spinlar dinamikasi va kogerent xossalarni hamda nanometr o'lchamli tuzilmalardagi kvant - magnitik hodisalarni o'rganadi.



4.36-rasm. Yadro spinlarining mumkin bo'lgan yo'nalishlari.

Odatdagi qattiq jism mikroelektronikasida informatsiya elektr zar-yadi 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 ishlatildi. 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/sm² li kompyuterlar ishlab chiqarishga olib keladi.

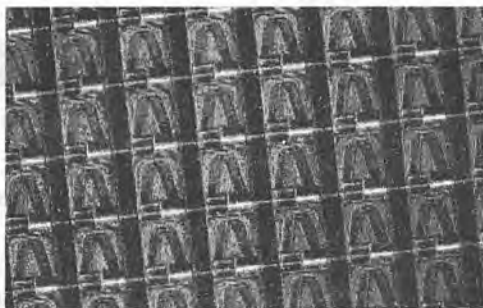
Bunday informatsiya yozish zichligida qo'l soaticha keladigan diska Yer yuzidagi butun aholi rasmlari, barmoq izlari, tibbiy kartalari va biografiyalari bilan birgalikda joylashtirish mumkin.

Nanotexnika rivojlanishining uchinchi yo'nalishi Erik Drexler 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.

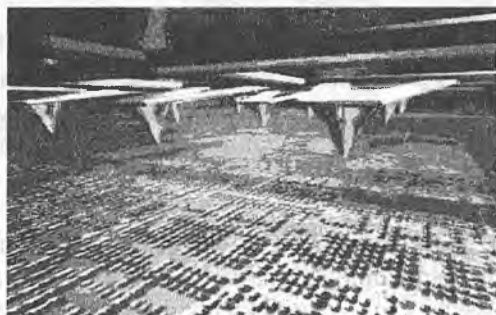
Mexanik signallar elektron signallardan 100 ming marta sekin uzatilsada, mexanik nanokompyuterlarda ular informatsiya uzatish uchun oddiyliklariga nisbatan 1 mln. marta kichik masofa bosib o'tadi. Shuning uchun ularning tezkorligi hozirgi kompyuterlarnikidan yuqori bo'ladi. Bunday nanokompyuterlarning 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 ishlatiladi. “Ko‘p oyoqcha” bu oddiy qattiq disk emas, balki “sof” raqamli texnologiya qurilmasidir (4.37-rasm).



4.37- rasm. «Ko‘poyoqchanning» optik mikroskop ostida ko‘rinishi.

Uning ishlash qonuniyatini gramplastinkalarni o‘qiydigan eski gramofonlarga o‘xshatish mumkin. Unda gramfon ignalari plastinkadagi ariqchalardan yurib undagi baland – pastliklarga mos elektrik signal hosil qilar edi. “Ko‘p oyoqchada” esa nanoo‘lchamli ignalar – kantileverlar qatori ma’lumotlar saqlanayotgan sirdan yurib ular-dagi “1” va “0” ga mos keluvchi chuqurlik va do‘ngliklarni o‘qiydi. (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 oddiydardan farqli ravishda bir vaqtda bir nechta programmani bajarishi mumkin.

Isroil olimlari faqat DNK va enzimalardan tuzilgan, operator ishtirokisiz, 1 mlrd programmani bir vaqtda parallel bajara oladigan biokompyuter yaratdilar. Bunday kompyuterlarni ko'p moddalarni bir vaqtda biokimyoviy analiz qilish va katta tasvirlarni shifrlash uchun qo'llash rejalashtirilmoqda.

4.15. Nanomotorlar loyihasi

Nanotexnologiya va NEMSlarning 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 ATFazaning sintezi va gidrolizi uchun javob beradi. ATFning sintezi yoki gidrolizi paytida markaziy subbirlilik aylana boshlaydi(4.39-rasm).

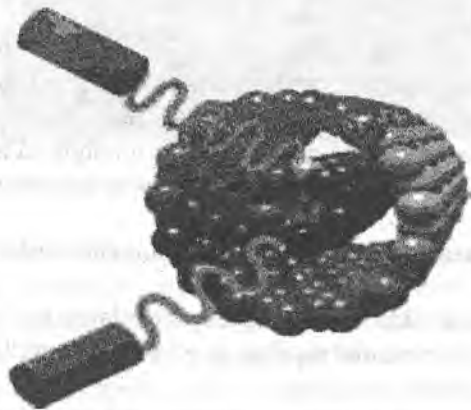


4.39-rasm. ATF gidrolizida γ -subbirligi aylanishi.

Hozir bu aylanish sababi oxirigacha ma'lum bo'lmaganda, bu tayyor biologik nanomotoridir.

Elektrostatik nanomotorlar

AQSH tadqiqotchilari energiya manbai sifatida lazer nurlaridan foydalanuvchi nanoaktyuator modelini yaratdilar. Nanomotor ikkita bir biriga kiydirilgan grafit silindrlardan 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).



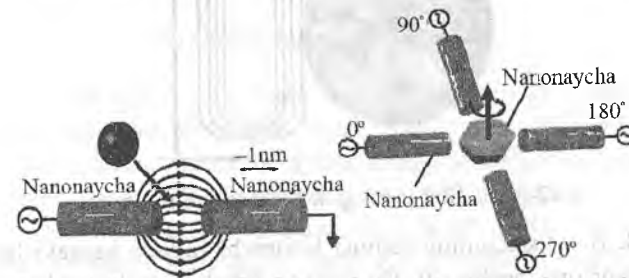
4.40-rasm. Yorug'lik ta'sirida aylanuvchi nanomotor.

DNK molekulalari asosida ishlaydigan nanoaktyuator

Bu aktyuator bir uchiga yorug'lik yutuvchi, ikkinchi uchiga esa yorug'likni qaytaruvchi organik molekula biriktrilgan DNK molekulasidan tashkil topgan. DNK zanjiri to'g'rilanganda nurlanuvchi va yutuvchi molekulalar bir biridan ajraladi, tizim nurlanadi va aksincha, DNK yig'ilganda nur yutadi. Tadqiqotchilar nanoharakatlantirgichlar sifatida aktin va kinezin molekulalaridan foydalanishmoqchilar. Ular tirik organizmlarni asosiy harakatlantiruvchilaridir. Keyingi bosqich – mushak tuzilishi birilgi bo'lgan sarkomer modelidir.

Dielektroforez nanomotor loyihasi

Bunda kuchli bir jinsli bo'lmagan elektrik maydonida zarralarning elektrodlarga tortilishi va itarilishidan foydalaniladi. 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'lmagan, zarralarni tortuvchi elektrik maydon hosil bo'lgan. Elektrodlar nanonaychalar stator, o'rtadagi nanozarralar rotor vazifasini bajardi. Agar elektrodlarga o'zgaruvchan kuchlanish berilsa, nanozarra aylana boshlaydi. Uning joylanishi elektrodlarga berilgan kuchlanishga to'g'ridan-to'g'ri bog'langan (4.41-rasm).



4.41-rasm. Dielektroforez nanomotori.

Sirt taranglik effektida ishlovchi nanomotor

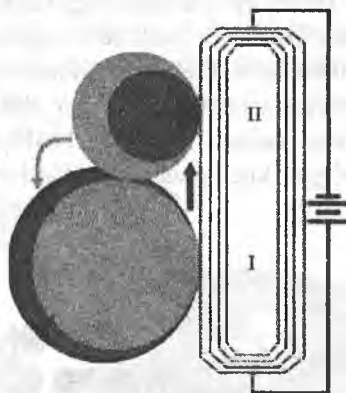
AQSH fiziklari sirt taranglik hodisasi yordamida ishlovchi birinchi nanoelektromexanik aktyuator yaratdilar.

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 egallaydi. 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 kanalcha orqali, sirtaranglik kuchlari ta‘sirida, tomchilar o‘z o‘rinlarini almashtiradilar. Keyin bu sikl qaytariladi. Tomchilarning almashinish chastotasi nanonaychaga qo‘yilgan doimiy kuchlanish qiymatiga bog‘liqdir.

Nanomotorning ishchi namunasida tomchilar almashinish vaqti 1,3V kuchlanishda 200 pikosekundni tashkil etadi.

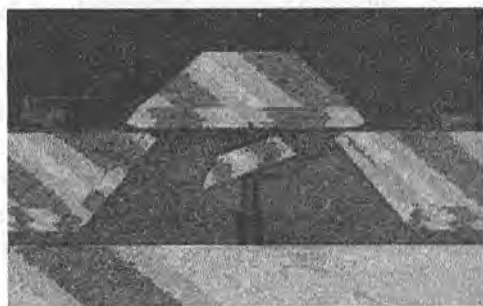
Nanonaychalar va oltin elektrodlar asosidagi nanomotor

Kaliforniyaning Berkli universitetida 500 nm o‘lchamli ishlaydigan elektrostatik nanometr yaratildi.

Nanomotor rotori oltindan qilingan bo‘lib, unga ko‘p qatlamli nanonaycha biriktirilgan.

Kichigi kattasi ichiga kiydirilgan ikkita nanonaycha podshipnik vazifasini bajaradi. Rotor qalinligi 5–10 nm ni tashkil qiladi. Ikkita

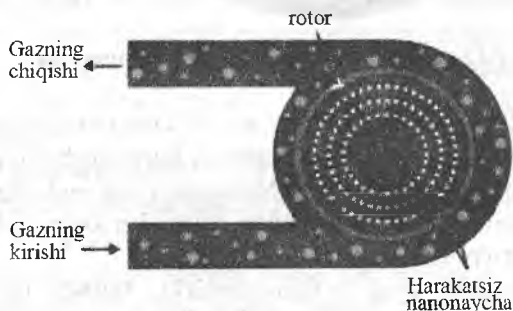
oltindan qilingan, zaryadlangan statorlar kremniy sirtiga joylashtirilgan. Bunday nanometrning aylanish tezligi sekundiga 30 aylanishni tashkil etadi (4.43-rasm).



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 foydalanib tashqi nanonaychani gaz oqimi ta'sirida aylantirish mumkin. Ko'p qatlamli 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 haydab beruvchi nasos yaratish imkonini beradi.

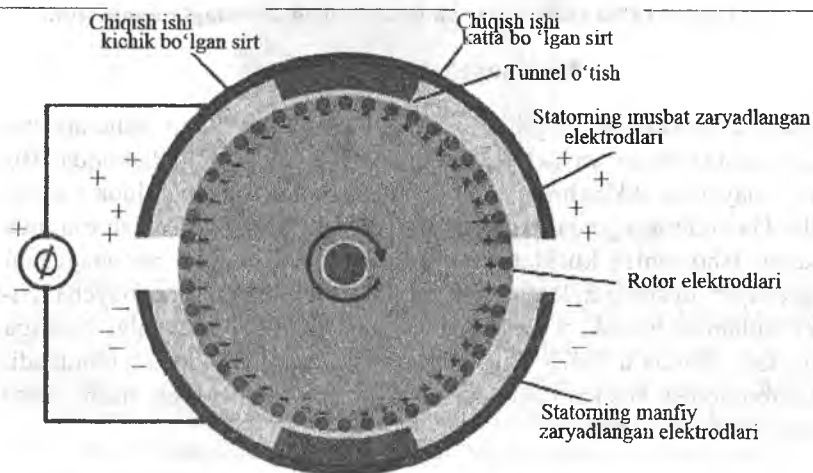


4.44-rasm. Nanonaychali rotor.

Drekslarning elektrostatik tunnel nanomotori

Bu loyiha Drekslarning “Nanosistemalar” nomli kitobida keltirilgan. Motor statorning ikki musbat va manfiy elektrodidan tashkil topgan. Dielektrikdan qilingan rotorga esa qator nanoo‘tkazgichlar, elektrodlar ulangan.

Stator elektrodleri chiqish ishi katta va kichik bo‘lgan ikki xil sirtlardan iborat. Shu elektrodlerga kuchlanish berilganda, rotor nanoo‘tkazgichlari tunnel oraliqlari orqali zaryadlanadi. Stator qoplamalarining chiqish ishlari turlicha bo‘lgani uchun rotor nanoo‘tkazgichlari o‘lgan 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 manbai kuchlanishi 10V, stator toki 110nA, rotorning tezligi 1000m/s. Nanomotor iste‘mol qilayotgan quvvat 1,1mW. Quvvat zichligi esa 1015 Wt/m³dan 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 xossalarini, 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.

- Mikroprotssessor 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 bosqichlardan 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 qilinar 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 mikroprotessor texnikasini yanada rivojlantirish uchun nanoelektronika, MEMS va NEMS larga o‘tishdan o‘zga iloj yo‘q.

- MEMS (mikroelektromexanik sistema) uch o‘lchamli mikroobyektlar va mikromashinalardir. Ularga bitta taglikda qilingan nasoslar, motorlar, turbinalar, mikrorobotlar, mikrodatchiklar va butun boshli analitik mikrolaboratoriyalar 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 vaqtda 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. Mikrooxemalar 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. "Aqlli 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'zoynak" 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'lsada, 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 fikrlashga, 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 jalb 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 asboblarning 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 o'ya 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 asboblarning 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.

Asboblarning 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 imkoni yo'q edi. Skanerlovchi mikroskoplar yaratilguncha hech kim uglerodning noyob birikmalari – fullerenerlar va nanonaychalar borligini tasavvur ham qilmagan.

Boshqa tomondan, mukammal fikrlash mavjud texnologiyalar imkoniyatidan bir necha o'n martalab ustun bo'lgan aniqroq asboblardan yaratilgan. Masalan, buyuk geniy Leonardo da Vinchining ko'pgina kashfiyotlari (zanjirli uzatmalar yoki sharikli podshipniklar) nazariy jihatdan ishlashi mumkin bo'lsada, 16-asrdan ulardan foydalanilmadi. Ularni amalga oshirish uchun asboblarning qismlari yuqori aniqlikda yaratilishi kerak edi. Hozirgi paytda bu muammo bo'lmasada, ammo o'sha asrda buni amalga oshirib bo'lmas edi.

Atom va molekullarning ko'rinmas 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 asboblarning qisqacha tasnifidir. Kitobxonlarga aytib o'tish joizki, ularning turlari aslida juda ko'pdir.

5.1. Mikroskoplarning rivojlanish tarixi

Inson dunyoga kelib unga oldindan ma'lum bo'lgan usullar bilan, ya'ni ko'rish, qo'l bilan ushlash, ta'm bilish orqali atrof-muhitni faol o'rganish 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'zga ko'rinmas 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

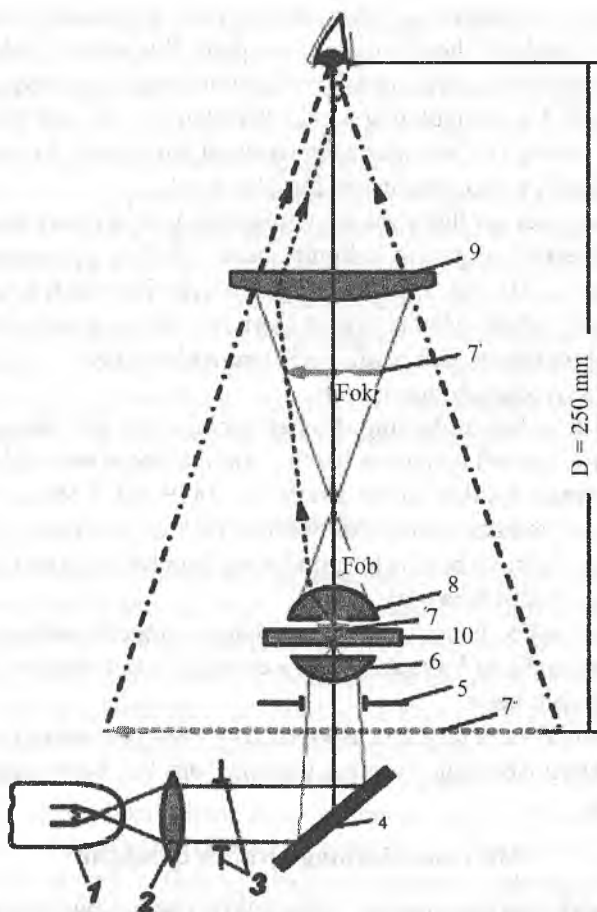
Birinchi optik mikroskop 1609–1610-yilari Galiley tomonidan qurilgan. U ikkita linzadan iborat bo'lib, biri *okular*, ikkinchisi esa *obyektiv* deb ataladi. Buyumga yaqin tomonda joylashgan obyektiv tasvirni birinchi marta kattalashtiradi, ko'zga yaqin joylashgan okular esa tasvirni yana bir marta kattalashtiradi.

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 manbai 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 takomillashdiki, 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 vaqtdan 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'rnavgan 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–oina; 5–apertura diafragmasi; 6–kondensor; 7^{II}–obyekt-
 ning mavxum, kattalashgan tasviri, 7–tekshirilayotgan obyekt, 7–ob-
 yektning kattalashgan haqiqiy tasviri; 8–obyektiv; 9–okular; 10–buyum
 stolchasi.

1677-yili Levenjuk shifokor – talaba I.Gam bilan birgalikda sper-
 matozoidlarni 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'llanilishi hayvonlarning turli a'zolari mikrostrukturalarini batafsil o'rganish imkonini berdi. M.Malpigi tanadagi kapillarlarini ko'rdi. 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'liqdir.

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 tushayotgan yorug'lik nuri to'lqin uzunligining yarmiga tengdir*. Masalan, obyekt to'lqin uzunligi $\lambda=650$ 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 obyektivdagi tasviri ham odam ko'ziga

nuqta bo'lib ko'rinmaydi. Difraksiya hodisasi tufayli u dumaloq dog'ga o'xshaydi va uni birin ketin joylashgan yorug' va qorong'u halqalar o'rab turadi. Agar ikki nurlanuvchi obyekt bir-biriga yaqin joylashsa, ularning difraksiyon halqalari bir birining ustiga qoplanib, yoritilganligi murakkab taqsimlangan, shuvalgan tasvir hosil bo'ladi.

Optik mikroskopning ajratuvchanligini oshirish uchun mikroskopchilar 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 mikroskoplarning ajratuvchanligi oddiylarnikidan deyarli ikki marta katta bo'lsa-da, ularning jiddiy kamchiligi mavjud. Bu ultrabinafsha nurlar biologik obyektlarni buzadi, shuning uchun ular biotexnologik tadqiqotlar uchun yaramaydi.

Elektron mikroskop

Nanoo'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.

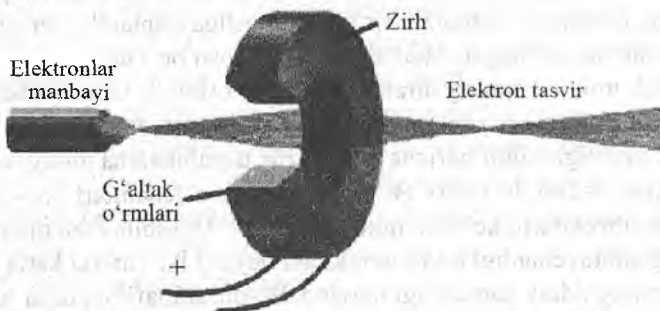
Ma'lumki, bizning ko'zimiz obyektidan kelgan yorug'lik to'lqinlari yordamida tasvir hosil qiladi. Agar ushbu yorug'lik to'lqinlari ko'zga tushguncha mikroskopning optik sistemasi orqali o'tsa, biz kattalashgan tasvirni ko'ramiz. Bunday yorug'lik nurlari yo'nalishlarini asbobning obyektiv va okularidan 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 ishlatilganda buyumni ko'rish mumkin? Javob juda soddadir. Elektronlar oqimini tashqi elektrik va magnitik maydonlar yordamida samarali boshqarish mumkin.

Elektronlarning elektromagnitik maydonlardagi harakatini o'rganuvchi va kerakli maydonlar hosil qiluvchi quurilmalar 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.

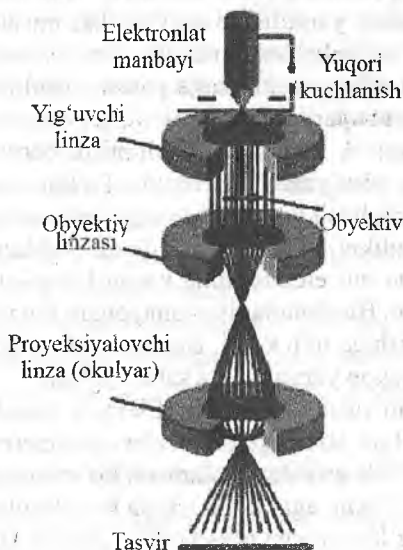
Simli g'altakning magnitik maydoni yig'uvchi yoki sochuvchi linzalardek ishlaydi. Magnitik maydonni jamlash uchun g'altakni nikel va kobalt qotishmasidan tayyorlangan maxsus “zirh” bilan qoplanadi. Uning ichida elektronlar oqimi uchun faqat ingichka oraliq qoladi xolos. Bu usulda olingan magnitik maydon Yer shari magnitik maydonidan 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 ossillograflar ishlaydi.

Elektron mikroskopning turlari ko'p bo'lib, ular ichida eng ko'p qo'llaniladigani rastri elektron mikroskop (REM). Agar oddiy televizorning elektron-nur naychasi ichiga ekrani va elektronlar manbayi orasiga biror obyektini joylashtirsak, REM ning sodda sxemasini hosil qilamiz.

Bunday mikroskopda qalinligi 10 nm atrofida bo'lgan ingichka elektron-nur dastasi obyekt ustidan gorizontaal yo'nalishda yurib uni skanerlaydi va har bir nuqtadan olingan signallarni sinxron ravishda kineskopga beradi.

Butun jarayon televizor ishlashiga o'xshab ketadi. Elektronlar oqimi manbai bo'lib qizdirilgan volfram tolasi ishlatiladi. U qizdirilganda termoelektron emissiya natijasida undan elektronlar uchib chiqadi (5.3-rasm).



5.3-rasm. Rastrli elektron mikroskopning ishlash 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'rganilayotgan obyektning kattalashgan tasviri hosil bo'ladi.

Bu holda kattalashtirish deb tasvir o'lchamining elektronlar oqimi skanerlagan namuna qismi o'lchamiga nisbati tushiniladi. Elektronlarning to'liq 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 imkoni yo'qdir.

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 xossalari-ning ochilishi bo'ldi. Bu alohida rivojlanayotgan fan yo'nalishlari elektron optikani yaralishiga olib keldi. Bu esa 1930-yillari muhim kashfiyot, 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 imkoni tug'iladi.

Neytron mikroskoplarning bir qancha ijobiy 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 zaryadi 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'lchami, temperaturasi, qattiqligi, materiali* to'g'risida ma'lumot berishingiz mumkin.

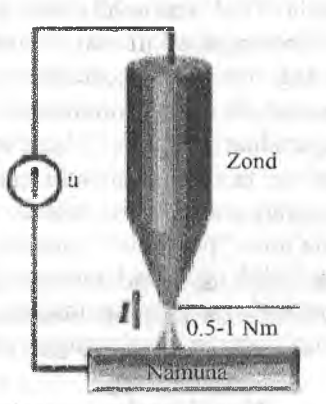
Skanerlovchi zondli mikroskoplar mana shunday buyum sirtini "paypastlash" usulida ishlaydi.

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 nanometrda kichik uzoqlikda sirpanib yuruvchi juda o'tkir ignadan iboratdir. Tunnel effekti tufayli 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 pezmanipulyatorlar 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 sirtini 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'lmagan 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 ishlatiladi. Sirtning igna bilan ta'sirlashuvi natijasida sirt-dagi 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* sirtning tirnog'ida "tirnab" ishqalalanish kuchlari xaritasini chizadi.

- *Magnitarezonans mikroskop* sirtning zond-dagi 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'lchash imkonini beradi.

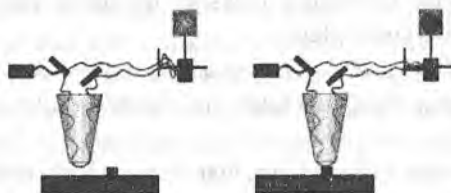
AKM lar kamchiliklaridan biri, ular namuna ichki tuzilishini o'rgana olmaydi. Zond faqat sirt bo'ylab yurgani uchun ichkarini ko'ra olmaydi. Lekin, olimlar bu to'siqni ham yengib, *uch o'lchamli atomiy - zond tomografiya* deb nomlanuvchi haqiqiy *dizassebler* yaratdilar. Ular namunaning ma'lum bir qismini skanerlab bo'lgach, undan bir atom qalinlikdagi qatlamni "yulib" 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 "yulib" 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" ishlatiladi. Tunnel tok o'rniga shaffof ignadan o'tayotgan lazer nuri xarakteristikallari o'zgarishlari aniqlanadi.

Qanday qilib obyekt skanerlanadi? Diametri ishlatilayotgan lazer nuri to'liq uzunligidan ham kichikroq bo'lgan optik-tolali zond skanerlovchi namuna sirtiga yaqin olib kelinadi (bu masofa yorug'lik to'liq uzunligidan kichik) va xuddi sirtni "sezgandek" bo'ladi. "Sezishning" ma'nosi: 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'liq 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 marta yuqoridir. Undan tashqari, yaqin maydon optik mikroskopiyasi biologik obyektlarni o'rganish uchun juda mos keladi. Chunki, bunda bioobyekt AKM va elektron mikroskoplar holdagi 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.

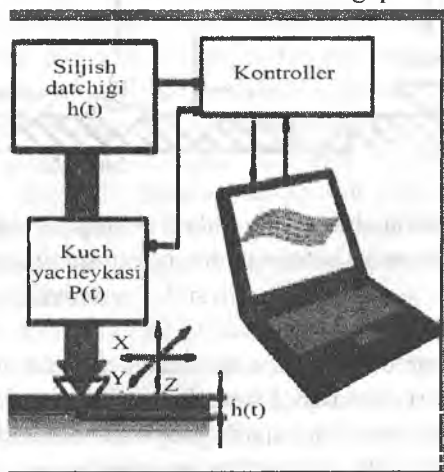
Yaqinda tadqiqotchilar IBM kompaniyasining ko'p oyoqchasi ("Nanoelektronika va NEMS bobiga qarang") bilan SNOM ni birlashtirib, yanada kattaroq ajratuvchanlikka erishdilar. Bunday qurilmaning ajratuvchanligi 13 nm atrofida bo'lishi kutilmoqda, bu esa yorug'lik to'liq uzunligidan bir necha o'n marta kichikdir!

5.1.9. Nanoindentor

“Nanokimyo va nanomateriallar” bobidan bizga ma’lumki, moddalarning aksariyat ko’pchiligi nanoolchamligi holida kimyoviy jihatdan mikroskopik holatidan ancha katta farq qiladi. Xususan, ularning katalitik faolligi o’zgaradi. Bunga sabab nanoobyektlarning solishtirma yuzasi (bir atomga to’g’ri keluvchi zarracha sirtining yuzasi) oddiy holatdagi moddalarnikidan ancha yuqoriligidadir.

Bu holat ularning *mexanik xossalari* (qattqlik, 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 qattqligi uning makroskopik qattqligidan 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 qolarli bo’lgan bu jarayonning ko’rgazmali modeli sifatida metall prujinani o’xshatish mumkin. Prujinani siqish u yasalgan materialni siqishdan ko’ra osonroq.

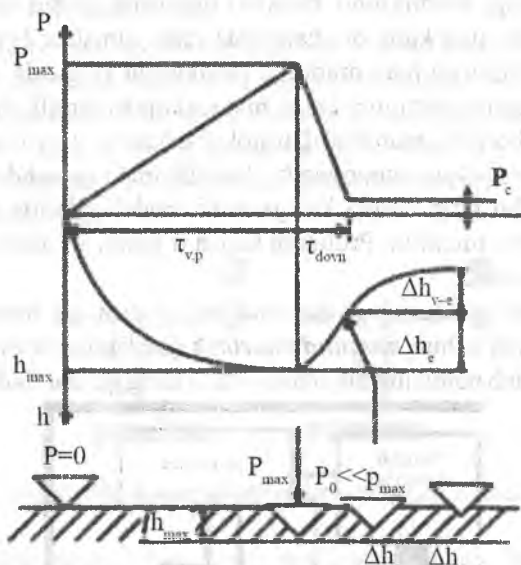
Nanometrli o’lchamdagi materiallarning turli xil mexanik xossalarni o’rganish uchun *nanoindentorlash* (inglizcha indent-chuqurcha hosil qilish) deb nomlanuvchi maxsus usul keng qo’llaniladi (5.6-rasm).



5.6-rasm. Nanoindentorning 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 chuqurligi" diagrammasi chiziladi. Bu diagrammadan nanometr o'lchamli materialni tavsiflovchi o'nlab parametrlarni chiqarib olish mumkin (5.7-rasm).



5.7-rasm. Nanoindentorning ishlash prinsipi (P – indentorga berilayotgan mexanik kuchlanish; h – indentorning vertikal siljishi; t – vaqt, τ – yuklanish sikli davomiyligi).

Bu sodda va arzon usul ko'z ostimizda eng kam material bo'lgan holda, ularning sirt xossalarini 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 laboratoriyalar

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 laboratoriyalar yaratmoqda (SZL). Bu turli zondli qurilmalar to'plamidan iborat kompleksdir. Ushbu laboratoriya obyekt sirti to'g'risida batafsil 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 obyektни 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'ldirishi mumkin. Bu maqsadlar uchun kompleks tarkibiga skanerlovchi spektrometr va tezkor lazer kiritilgan.

"NTEGRA" nomli skanerlovchi zondli laboratoriya namuna temperaturasini -30°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 kriptom qurilmasi va SZL bazasi mujassamlashgan. Yangi kesilgan muzlatilgan biologik namunani SZL yordamida tezkor o'rganish ularning ichki tuzilishi tasvirini olish imkonini beradi. Bunda qattqlik, yopishqoqlik, elastiklik va boshqa parametrlarni o'lchash va xaritalarini tuzish mumkin. Mikrotom yordamida ultrayupqa qatlamlarni kesish nati-

jasida hosil bo‘luvchi sirtlarni birin-ketin tahlil qilish, obyektning uch o‘lchamli tuzilishini tiklash imkoni 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 asboblarni 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 oliy o‘quv yurtlari va xususiy laboratoriyalar 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 keysga sig‘adi, narxi 9 ming dollardan kam bo‘lib, xona temperaturasida 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'ladi. 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 namu-nalar to'plami, sarflanuvchi materiallar va asboblarga to'plamidan iborat.

O'chiq kodli dastur tajribani boshqarish va natijani oddiy kompyu-ter 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 himoyalaniş 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 foydalaniladi va h.k.

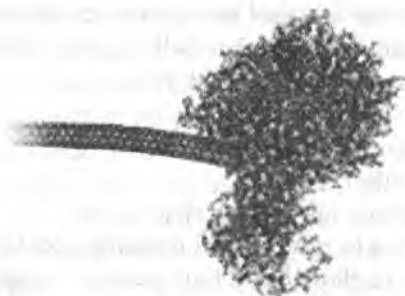
Eslab ko'ring, 19-asr boshida optik mikroskoplarning arzonlashu-vi nimalarga olib kelgan. Mikroorganizm va hujayralarni o'rganishga keng imkoniyatlar ochilib, insoniyat hayot va uning asosida yotuvchi qonuniyatlar to'g'risidagi bilimlarini juda tez boyitgandi.

Bugun "UMKA" XXI-asrning iqtidorli tadqiqotchilari uchun atom va molekulalar dunyosiga kirib borishga keng sharoit yaratib beradi. Uning ixchamligi, ishonarlighi, keng imkoniyatlari va asosiysi - ar-zonligi juda ko'p ilmiy laboratoriyalarda nanotexnologiyalarni faqat nazariyigina emas, balki amaliy o'rganish imkonini beradi. Demak, yan-gi kashfiyotlar va yutuqlar davri ham uncha uzoq emas.

Nanotarozi

Milli- va mikrogramm massali jismlarni o'lchovchi tarozilar bilan hozir hech kimni hayron qoldirib bo'lmaydi, chunki ular deyarli bar-cha maktab 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 oʻn million marta kichik obyektning tarozida tartib boʻladimi? Yaqinda AQSH ning Jorjiya shtatidagi texnologiya instituti xodimlari ana shunday mikroskopik jismlarni tortuvchi eng sezgir va eng kichik tarozi yaratdilar. U uzunligi 4 mikron boʻlgan ingichka kantilever-nanonaychadan tuzilgan (nanonaycha tarozi pallasi vazifasini oʻtaydi).



5.9-rasm. Nanonaycha asosidagi nanotarozi.

5.9-rasmda massasi 22 femtogramm boʻlgan virusni tortish amali tasvirlangan ($1 \text{ fg} = 10^{-15} \text{ g}$).

Nanotaroziining ishlashi maktab fizika kursidan yaxshi tanish boʻlgan hodisaga asoslangan: prujinali mayatnik tebranishining xususiy chastotasi prujina bikirligi (k) va osilgan yuk massasi (m) ga bogʻliq:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Boshqacha aytganda, prujina bikirligi 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 oʻzgaruvchan elektrik maydon taʼsirida 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 oʻzgarishlarni ham seza ola-

di. Qo'shimcha massa qo'shilishi tufayli chastotaning o'zgarishi kantileverdan 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. Nanotaroziida massasi 10^{-15} g atrofida bo'lgan obyektlarni "tortish" mumkin! Shunday massa taroziga biriktirilganda rezonans chastota 40% ga kamayadi. Nanotarozilardan boshqa bundan kichik zarrachalar massasini o'lhovchi 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'liq uzunliklar bo'yicha taqsimlanishidir.

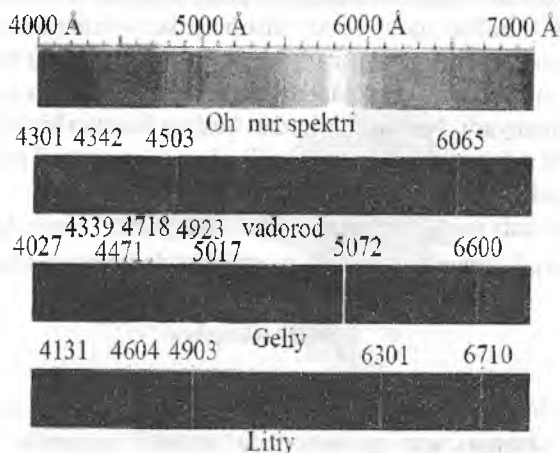
Atomdagi elektronlar energetik sathlarining o'zgarishi turli chastotadagi fotonlar yutilishi yoki chiqishiga olib keladi. Turli kimyoviy elementlarning nurlanish spektrlarini bilgan holda, biror modda spektriga qarab uning kimyoviy tarkibini aniqlash mumkin.

Rus olimi N.Surin tomonidan yaratilgan zamonaviy spektrometrlardan lyuminessensiya, sochilgan nurlar, qaytgan nurlar va obyektidan o'tib ketgan nurlarni o'rganish imkonini beradi.

Bu faqat namuna tarkibi haqidagini emas, balki unda ketayotgan jarayonlar to'g'risida ham juda ko'p ma'lumotlar beradi.

Spektrometr yordamida, masalan, namunadagi nanozarralar sonini aniqlash mumkin. Ma'lumki, eritmalardagi nanozarralar o'lchami taxminan bir xil bo'ladi, lekin, vaqt o'tgan sayin ular kattaroq ushqichalarga birikib cho'kib qoladi. Mos holda, ularning eritmadagi soni kamayib boradi. Endi bu eritmadan 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 nurning 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 batafsil 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 modellardir*. 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'rin 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-muhitga ta'sirini hisob - kitob qiladi. Bunda nazariy ma'lumotlarga asoslangan hisoblashlar ko'pchiligini kompyuter o'z zimmasiga oladi. Kvant qonunlarni yaxshi bilish imkonini beruvchi zamonaviy bilimlar darajasi nanotizimlarni oldindan hisob kitob qilish va modellashtirish SAD larnikiga o'xshash amaliy masala bo'lib qoldi. Nanotexnologiyalarni matematik modellashtirishning bir qancha turlari mavjud:

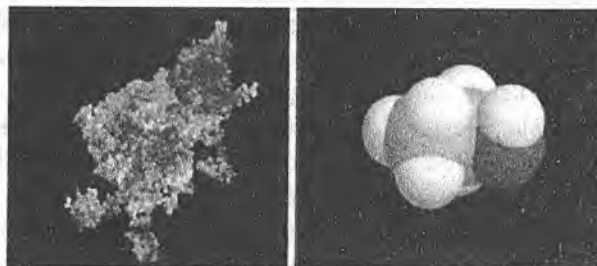
Modellashtirish turi	Dasturlar
Vizuallashtiruvchi	RasMol
Hisoblash	Chem 3D
Injener	NanoXplorer

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 saytida fanga ma'lum barcha oqsillar va biomolekulalarning modeli keltirilgan. www.nanonewsnet.ru saytida esa bo'lajak nanomashinalar qismlari-ning modellari ham mavjud(5.11-rasm).

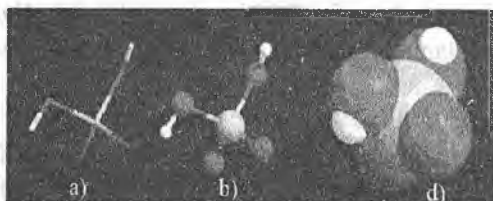


5.11-rasm. SV40 virusi va etil spirtning Ras Mol dastur oynasidagi tasviri.

Hisoblash modellari

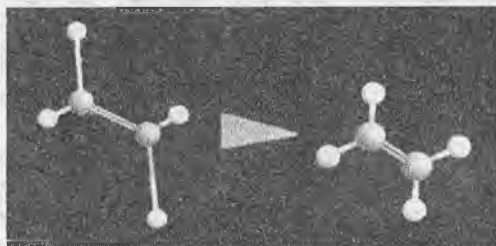
Begona modellarni tomosha qilish yaxshi albatta, lekin uni o'zingiz yaratishingiz ancha qiziqarlidir. Buning uchun kvant mexanikasi, molekular dinamika va turli xil statistika usullaridan foydalanuvchi matematik modellashtirishdan foydalaniladi. Ular yordamida obyektning faqat uchta o'lchamda ko'ribgina qolmasdan, unga temperatura, elektromagnitik maydon, gamma kvantlar ta'sir qilganda o'zini qanday tutishini ham kuzatish mumkin. **Chem 3D** deb nomlanuvchi tanikli dasturni ko'rib o'tamiz. Grafikli interfeys uni juda qulay va tushunarli qiladi:

- Har qanday kimyoviy 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 kislotasi 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 atomlarning 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).



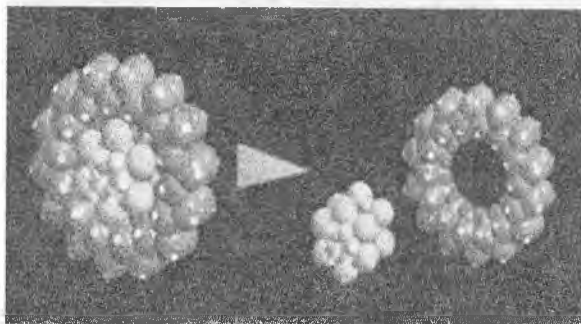
5.14-rasm. Nanotizim 1000 K gacha qizdirilgan.

- Ancha murakkab tizimlarni ham modellashtirish mumkin (5.15-rasm).



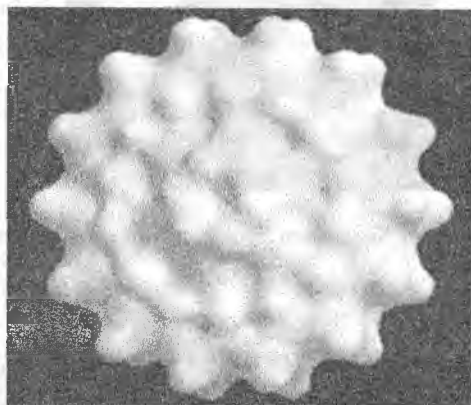
5.15-rasm. Murakkab nanomexanizm modeli

- Guruhlar tuzish va ularni boshqarish mumkin (5.16-rasm).



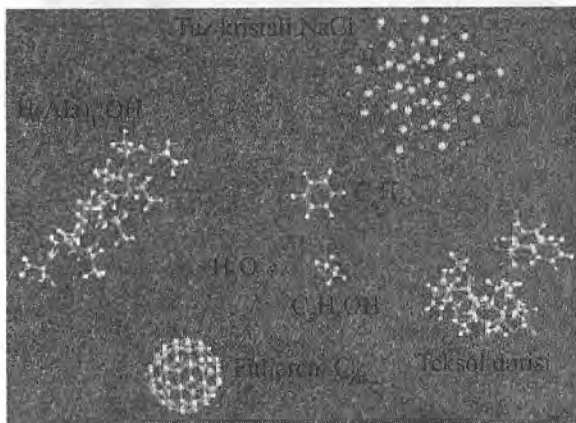
5.16-rasm. Nanotuzilmani yig'ish, bo'lish va ekran bo'ylab .
ko'chirish mumkin.

- Nanostrukturaning 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

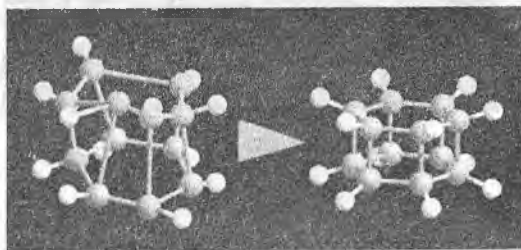
- Nanomodellar uchun kerakli asosiy molekulalar yaratib bo'lingan va ular ma'lumotlar bazasida saqlanadi. Ular hammaga tanish bo'lgan H_2O , C_2H_2 , C_6H_6 , ATF moddalari va turli xil dorilar va biomolekulalardan iborat murakkabroq molekulalar(5.18-rasm).



5.18-rasm. Murakkab va sodda molekulalarga misollar.

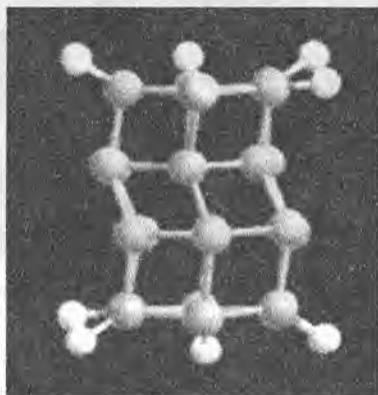
• Agar alohida atomlardan ma’lum bir tuzilma hosil qilish zarur bo’lsa va uning haqiqatda qanday ko’rinishini ko’rmoqchi bo’lsak, unda ushbu atomlarning Mendeleev davriy tizimidagi ramzini tanlab ularni yaratish va keyin o’zaro kimyoviy bog’lash mumkin (albatta, bu tizim kimyoviy qonunlarga to’g’ri kelishi 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.

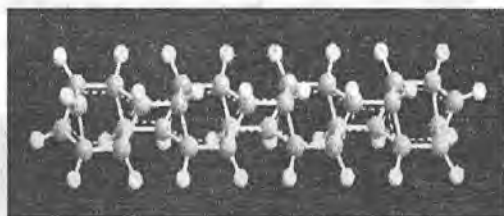
Shunday qilib nusxa ko'chirib kerakli bog'larni qo'shib sterjen-ni xohlagancha uzaytirish mumkin. Energiyani yana minimallashtirib, tuzilmaning to'g'rilanmayotganini ko'ramiz. Bu xato emas, balki atomlarning haqiqiy joylashishidir (5.20-rasm).



5.20-rasm. Egri nanosterjen.

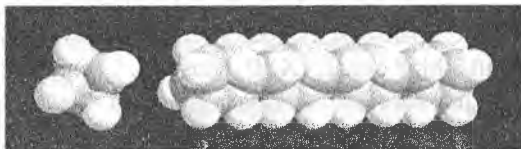
Dastur bunday sterjen egri bo'lishini ko'rsatdi. "Silliq" sterjen olish uchun boshqa molekular konfiguratsiya o'ylab topish kerak. To'rtta uglerod atomidan tuzilgan molekular konfiguratsiyani sinab ko'ramiz.

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 dasturining 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, tavsifnoma faylini kichik hajmga keltirish mumkin. Bu fayl shablon va qismlarning tavsifnomasi va ular orasidagi bog'lanishlardan iborat bo'ladi xolos. Masalan, biror hajmni to'ldirish kerak bo'lsa, "shablon" yordamida hajmdagi eng kichik element hosil qilinadi va uni hajm to'lguncha qo'yib chiqiladi.

Nanodetallar dizaynini 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.

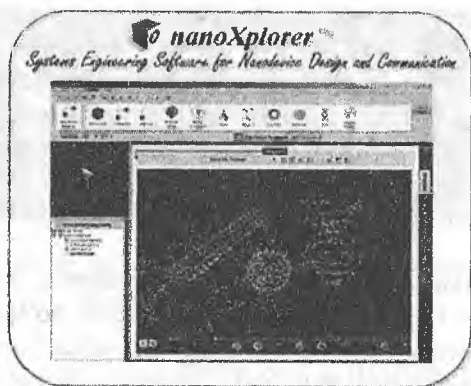
Nano Titan kompaniyasi nanostrukturalarni tavsiflovchi *nanoML* nomli ierarxik til ishlab chiqdi (XML asosida). Uning yordamida nanotizmlarni molekular darajada tavsiflash mumkin. Undan tashqari, ularning asosiy elektrik, optik, fizik xossalarini, qo'llanilishi to'g'risidagi ma'lumotni, kashfiyotchining mualliflik huquqini aniqlash mumkin.

Nanoqurilma modeli alohida nanotizimlar va molekular mashinalar bilan tavsiflanadi, ular o'z navbatida turli xil molekularlar to'plami, nanonaychalar va ular orasidagi bog'lanishlar bilan ifodalanadi. nanoML tili bilan ishlashni 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 bazasiga kiritish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Uning yordamida foydalanuvchi o'zining ishlanmasida dastur bazasidagi oldin yasalgan nanopodshipniklar modeli, vellar, 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).

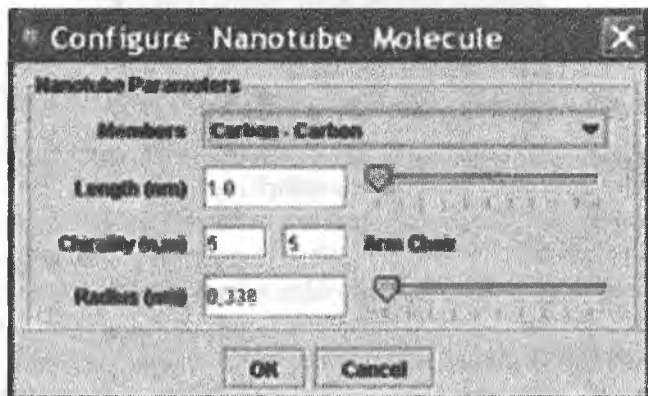


5.23-rasm. NanoXplorer dastur interfeysi

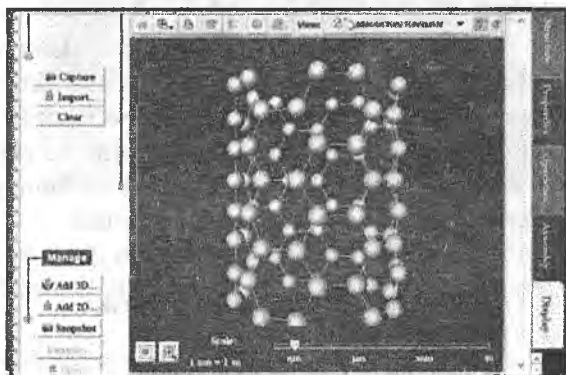
Dastur yordamida biochip va sun'iy enzimlardan tortib to nanobotlar modelini yaratish mumkin(5.24-rasm).



5.24-rasm. NanoXplorer dasturni asboblari paneli.

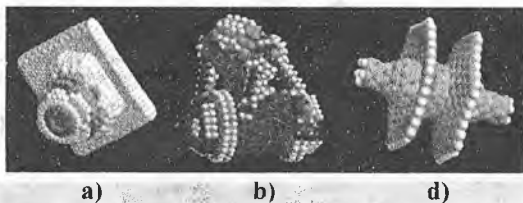


5.25-rasm. NanoXplorer da nanonaycha xossalarini sozlash.



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; d) 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.

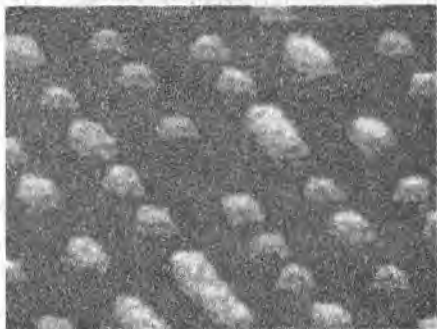
Kvant hodisalarning aniq kompyuter modeliga asoslangan nanoelektronika yutuqlari yanada kuchliroq kompyuterlar yaratish imkonini beradi. Bu kompyuterlar o'z navbatida o'ta murakkab nanotizimlarni, masalan, milliardlab atomlardan tuzilgan nanorobotlarni tezda hisoblash, loyihalash qobiliyatiga ega bo'ladi.

Hozir bir necha atomli tuzilmani modellashtirish uchun kompyuter makroskopik mikrosxemalar labirintlari bo'ylab ulkan elektronlar sonini sekundiga milliard 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. Mexanosintez va nanofabrika

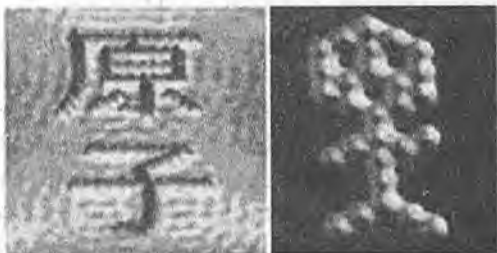
Oxirgi paytlardagi elektron, atomiy - kuch va tunnel mikroskoplari hamda informatsion texnologiyalarning gurkirab rivojlanishi keng tadqiqotchilar ommasiga alohida atomlarni kuzatish imkonini yaratdi.

Rasmda CD-ROM diskning sirti atom aniqligida keltirilgan. Bu ham nanoobyektlarning zamonaviy vizuallashtirish mahsulidir.



5.28-rasm. Atom aniqligidagi CD-ROM diski relyefi.

Undan tashqari, zamonaviy aniq texnika alohida atomlarni ko'rib-gina 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. Rasmlarda shunday "nanorasm"lardan ayrimlari keltirilgan.



a)

b)

5.29-rasm. a) mis sirtida temir atomlari yordamida terilgan ierogliflar,

b) SO molekularlaridan 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 sifatli oziq-ovqat, kiyim-kechak, mebel, maishiy texnika va boshqa narsalar ishlab chiqarishdan iboratdir.

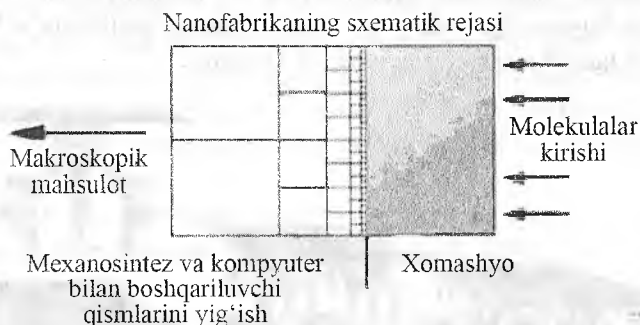
Shuning uchun mikroskopiya yutuqlariga qaramasdan, hali Dreksler yozib o'tgan haqiqiy, skanerlovchi usulli nanotexnologiyaga ancha uzoq. Biror mahsulotni skanerlovchi mikroskop yordamida donalab, atomma-atom yig'ib, ko'plab ishlab chiqarilishni tasavvur qilish qiyin. Agar har bir atomni bir sekundda 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 bormashinasining 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 qurishgan!

Shunday qilib, nanometr o'lchamli asboblardan 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, molekulyar darajada turli xil buyumlar yarata oluvchi - nanofabrikalar g'oyasini ilgari surmoqda(5.30-rasm).



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.

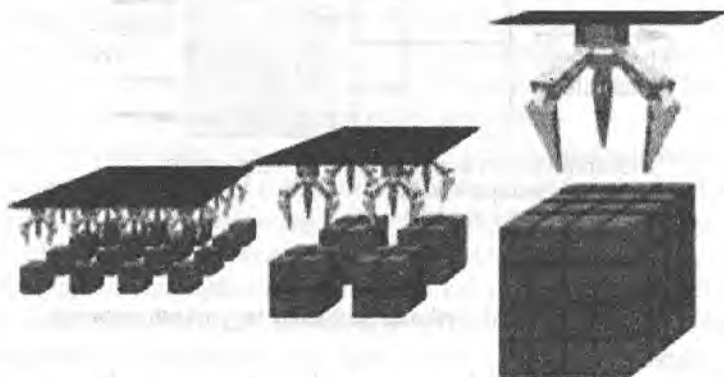
Konvergent yig'ish g'oyasi AQSH ning mas'ul nanotexnologiyalar markazi CRN (Center For Responsible Nanotechnology) direktori Krus Feniksga tegishli. Uning mohiyati shundaki, oxirgi mahsulot bir-biriga birlashtirilgan kubchalardan hosil bo'lgan "qurilish bloklaridan" iboratdir.

Butun yig'ish jarayoni alohida bloklarni tutib olib, kerakli joyga siljitib, 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 nanomanipulyatoridir. Harakatlanuvchi nanorobot-assemblerdan farqli o'laroq, fabrikator biror asosga mahkamlangan bo'lib, qo'zg'almasdir.

Konvergent yig'ish jarayoni quyidagicha 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 turdagi

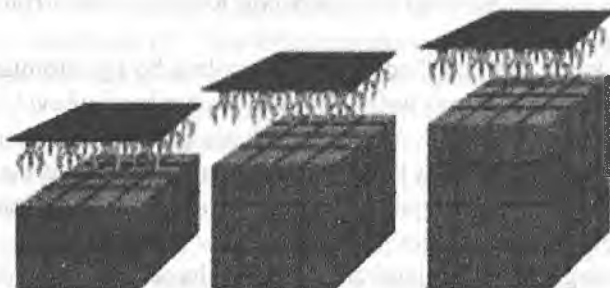
fabrikatorlar yordamida birlashtiriladi va h.k. Bu jarayon istemolchi tomonidan buyurtirilgan mahsulot kerakli shaklda, tuzilishda, o'lchamda hosil bo'lguncha davom etaveradi (5.31-rasm).



5.31-rasm. Konvergent yig'ish sxemasi.

Butun jarayon oddiy fabrikadagi robotlashgan yig'ishni eslatadi. Yig'ishni barcha jarayonlar atomma-atom bo'lmagani, borgan sari bloklar kattalashib borishi hisobiga yig'ish vaqti 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 qatlam-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 bita 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 almazoid 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'rinadi. Qanday qilib bunday bo'lishi mumkin? Lekin tabiat juda ko'p, xilma-xil "replikator"lar yaratgan (DNK, viruslar, hayvonlar va h.k.). AQSH ning MAKKA (Milliy aerokosmik agentligi) tashkilotining yaqindagi tadqiqotlari ko'rsatishicha, o'z nusxasini yarata oladigan sun'iy mashinalar Pentium IV kompyuterlari chiplaridan murakkab bo'lmas ekan.

General Dynamics kompaniyasi MAKА bilan birgalikda replikasiyalanuvchi 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 sayyoralarni 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'lmagan 20 tonna og'irlikdagi makroskopik replikator-robotlar o'zga sayyorada o'ziga kerakli konlarni, elektrostansiyalarni, zavod va fabrikalarni o'zlari qurib, ko'paytirib olishlari mumkin. MAKА ushbu loyihada ishtirok 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 replikatorni 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, generatorni, konveyer qismini, nanomanipulatorni olishi mumkin. Bunday nanoblokni 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.

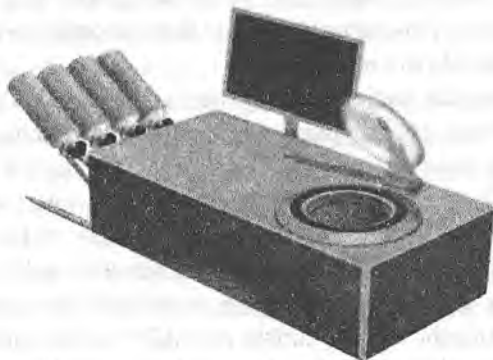
5.3.1. Nanofabrikaning funksional bloklari

Nanofabrikaga jiddiy *sovutish tizimi* kerak bo'ladi. Chunki undagi sarflanayotgan quvvat zichligi ancha yuqoridir. (o'lchami 0,5x0,5x0,5 m bo'lgan nanofabrikaning nominal quvvati 200 kWni tashkil etadi). Shuning uchun uning tuzilishida tashqi qobiqni sovutish tizimi hisobga olingan. Makroqismlarni yig'uvchi bloklar yuqori bosimda, o'rta qismlarni yig'uvchi bloklar o'rta bosimda, alohida nanobloklar va fabrikatorlar past bosimlarda sovutiladi. Undan tashqari, nanofabrikaning markaziy kompyuter bilan bog'lovchi *aloqa tizimi* nazarda tutilgan hamda tayyor mahsulotni *tashuvchi tizim* mavjud bo'lishi kerak. Mahsulot *saralovchi rotor* kirayotgan xomashyo materialidan faqat mahsulotni aniq, nuqsonsiz, halokatsiz ishlashni kafolatlaydigan atom va molekullarni saralab oladi. Bunday bloklarning ko'pchiligi MEMS va NEMS qurilmalar ko'rinishida yaratilishi mumkin.

Bir tomondan nanofabrikaga xomashyo (atom va molekullar), shuningdek, sovutgich ballonlar biriktiriladi. Ikkinchi tomondan mahsulotni loyihalash uchun birlashgan CAD interfeys ulanadi. Tasavvur qiling, sizni noutbukingizga o'lchami 0,5x0,5x0,5m bo'lgan qutini biriktirishdi. Keyin kompyuterda 3DMAX ga o'xshagan dasturni ishlatiladi 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 vaqtdan so'ng o'sha materialdan qilingan shar tayyor bo'ladi. Lekin, shar tayyorlashning bizga keragi yo'q. Yaxshisi o'lchami 1 mkm bo'lgan almazoidan qilingan nanorobot qo'lini chizamiz. Uni o'lchami 1 mkm 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 ke-
ladigan olmos fabrikasi o‘lchami 10x10x10 sm li olmos tayyorlashi
mumkin, bu fabrika og‘irligi atigi 4 kg bo‘ladi. Ishlab chiqarish jaray-
oni 3 soatga yaqin davom etadi. Bunda mahsulot atomgacha tartiblan-
gan tuzilishga ega bo‘ladi. Fabrikaning replikatsiyasi ikki kunni talab
etadi. Mahsulot narxi, asosan, xomashyo narxiga bog‘liq bo‘ladi. Fab-
rika 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 mum-
kin. Fabrika odam chizgan loyihani 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 loyahasini tayyor-
lash yoki tayyor loyihani 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'stlaringiz 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 alohida atomni tutib olishi, ushlab turishi, bir joydan tortib olib, ikkinchi joyga birlashtirishi mumkin. Eslatib o'tamiz, bunday mexanik usul bilan kimyoviy bog'ni hosil qilish yoki uzish *mexanosintez* 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 asboblarning turli xil nazariy loyihalari mavjud. Ularning ba'zilarini ko'rib chiqamiz.

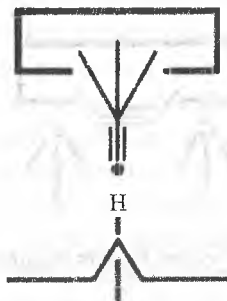
Eslab ko'ring, almazoidli konstruksiyalar tuzilishi nimadan iborat edi. Ular to'rtta qo'shni atomlari bilan kovalent bog'langan uglerod kristall panjarasidan iborat edi.

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 (CH_4), benzol (C_6H_6), atsetilen (C_2H_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 darhol unga birikadi.

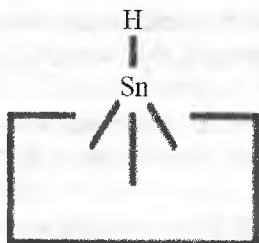
Molekula yoki sirtidan vodorod atomini yulib olib biz ularda reaksiyaga kirishuvchanlik hosil qilamiz. Agar ishchi soha vakuumda joylashgan bo'lsa, tartib olingan vodorod o'rniga mexanik usulda yana bir vodorodi yulingan molekulaga yoki atomni biriktirib qo'yish mumkin.



5.35-rasm. Dreksler asbobi.

Agar vodorodni yulib olgan vaqtda nanofabrikaning ishchi sohasida uglerod bilan reaksiyaga kirisha oluvchi erkin modda bo'lsa, u darhol uzilgan vodorod o'rnini 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 sirtini 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.



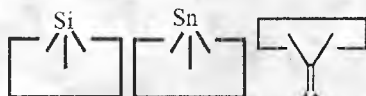
5.37-rasm. Frayts asbobi.

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 asboblarda 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 asboblilar

Funksional guruhlarni birlashtiruvchi asboblilar. Bunday guruhlarning juda ko‘p turlari mavjud, masalan, - OH, -COOH, -COO, -Cl, -NH₂ 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 nanoaktyuatorlar va murakkab nanosistemalar yaratishning iloji bo‘lmasligi mumkin. Bularsiz nanofabrika ham qurib bo‘lmaydi.

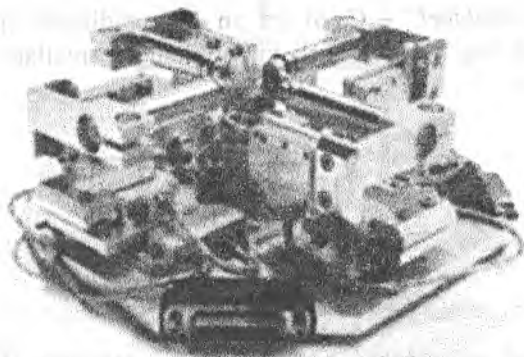
Undan tashqari, juda ko‘p qiziqarli asboblilar yaratilmoqda. Masalan, IBM kompaniyasi tadqiqotchilari STM (skanerlovchi tunnel mikroskop) larni shunday takomil qildilarki, ular yordamida atomga bitta elektron qo‘shish yoki undan yulib olish mumkin. Bu esa atomning reaksiyaga kirish qobiliyatiga tezda ta‘sir qiladi. Oregon universiteti kimyogarlari alohida arseniy (As) atomlarini tutib oluvchi *xelator* – molekular “qisqichbaqa qisqichlari”ni yaratdilar.

Hozirgi vaqtda atomlarni aniq boshqara oladigan manipulatorlar mavjud bo‘lmasada, ammo bu sohada ma‘lum bir amaliy qadamlar qo‘yilgan. Yangiliklarda ba‘zan alohida atom va molekular bilan

bo'lmada, lekin unga katta bo'lmagan 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 manipulatoridan iborat MEMS lar ishlab chiqaradi. U mikro va nano o'lchamli namunalarni ushlab, o'lchash, tutib turish va yig'ishga mo'ljallangan.

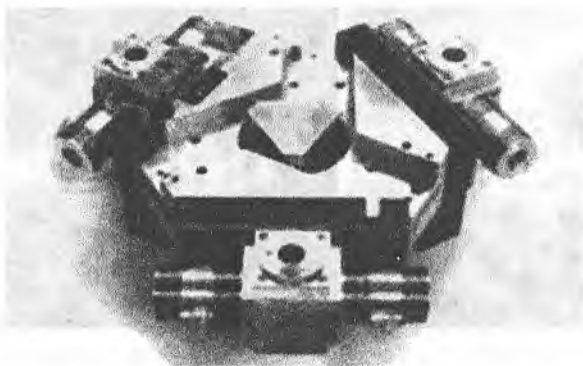


5.40-rasm. Zyvex kompaniyasi nanomanipulatori.

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, biotexnologiya va h.k. sohalarda ishlatiladi. Zamonaviy nanomanipulatorlar murakkab mexanizimli, katta o'lchamli, og'ir va eng asosiysi qimmat (bir necha o'n ming dollar turuvchi) qurilmalardir.

Agar ularning arzonroqlari yaratilsa edi, qanchadan qancha laboratoriyalar, kompaniyalar va tadqiqotchilar nanotexnologiyalarda o'z kuchlarini sinashlari mumkin bo'lar edi.

Massachusetts texnologiya instituti professori Martin Kalpepper aynan shu haqida qayg'urib, deyarli qo'lbola 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.

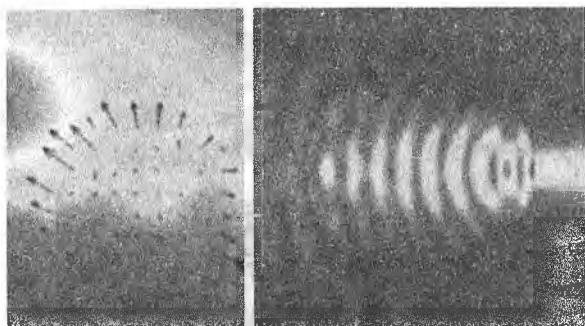
Tuzilishni soddalashtirish ixtirochiga diametri bir millimetrdan kichik bo'lgan, dunyodagi eng kichik nanomanipulyator yaratish imkonini berdi.

Lekin, atomlar va nanostrukturalar bilan ishlash uchun mexanik nanomanipulatorlar eng yaxshi qurol emas. Eslab ko'ramiz, kvant dunyosida to'liqlar ham zarrachalardek ta'sirchandır va darhol fikrimizga yorug'lik nurlari yordamida ishlovchi manipulator g'oyasi keladi.

Tarixan atomlarni optik usulda boshqarish rus olimlariga tegishlidir. "Yorug'lik yordamida mikroboshqarish" birinchi marta 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.

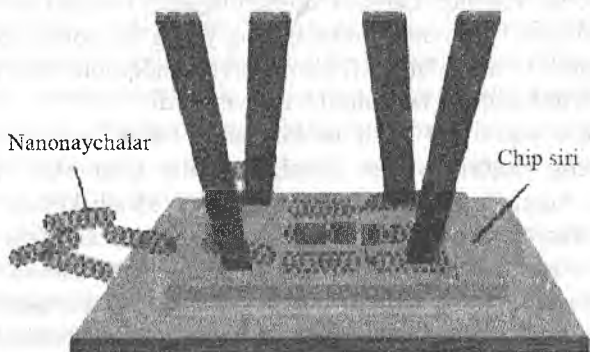
Lazer nuri oqimi bir jinsli bo'lmaganda zarracha oqimning eng yorqinligi eng yuqori bo'lgan qismiga so'rilib kirar ekan. Bu xuddi sharcha chuqur joyga dumalab tushganga o'xshab ketadi. Bunday bo'lishiga sabab fotonlar oqimi yo'nalishi o'zgarganda zarrani harakatlantiruvchi kuch paydo bo'ladi. Nur fokusini siljitib "ushlab olingan" nanoobyektni siljitish va hatto turli tuzilmalar yig'ish mumkin.

Lazer nurlari mexanik "panja"dan ko'ra ancha mayin bo'lgani uchun hujayra DNK molekullari, xromosomalar va h.k. larni ushlab uchun biologlar tomonidan keng qo'llaniladi.



5.42-rasm. Optik nanomanipulyator.

Oxirgi paytlarda yanada ajoyib optik asboblari yaratildi. Maxsus tanlangan 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 nanoobyektni tutib olgach, uni nur bo'ylab siljitishi yoki oqim o'qi atrofida aylantirishi mumkin. Samara tasvirlarini qayta ishlovchi tizimlar institutida Viktor Sayfer boshchiligidagi guruh maxsus optik – difraktsion elementli linzalar yordamida spiral simon eshilgan lazer nurlaridan iborat *Bessel dastalaridan* foydalandilar. Faqat bitta shunday element yordamida diametri 5–10 mikronli mikroorganizmlar hamda polistiroil zarralarini ushlab, siljitish 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 nanoobyektlarni manipulyatsiyalaydigan 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 foydalanib bo'lmaydi? Birorta mikrobnini 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 ishtirok etdi. Ular uzunligi besh mikron, diametri 800 nm bo'lgan arqonchaga o'xshaydi. Bakteriyalarning kremniy chipini qoplab turuvchi glitserin – suv eritmasiga joylashtirdilar. Oltindan qilingan elektrodga 1 MHz chastotali o'zgaruvchan kuchlanish berildi. Natijada bakteriyalar elektrik maydonning kuch chiziqlari bo'ylab, ikki tomondan elektrodga tekkan holda tizilish qoldi. Mikroorganizmlar o'ziga xos nano'otkazgichga aylanib, uncha katta bo'lmagan tok o'tkazishar edi. O'tayotgan tok yordamida tadqiqotchilar ular turgan joyni aniqlay oldilar. Keyin eritmadan ozgina tok o'tkazib tadqiqotchilar bakteriyalarni elektrodga bo'ylab ko'chirishdi. Xeyms bakterialarni kvant nuqtalar, nanonaychalar, nanozarrachalar kabi nanoqismlarni ko'chirish va yig'ishda ishlatishni taklif qilmoqda. Nanomashina qismlariga oqsil belgilar qo'yish mo'ljallanmoqda. Bu belgilar mikroorganizmlardagi 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 qi-yinchiligi 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 eritmadagi ionlari elektr toki ta'sirida zaryadlangan elektrodlarga o'tirib qoladi. O'tayotgan tok qiymatini o'zgartirib oksidlar o'sishini boshqarish va turli shakl hamda tuzilishli 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'imlardan 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 elektrokimyoviy energetika qurilmalari tayyorlanadi.

Bir elektrodga birin - ketin ikki xil metall oksidlarini o'tkazib magnetik yozish uchun yoki elektroxrom qurilma (tok ta'sirida rangini o'zgartiradi) uchun ishlatiladigan bimetall nanokompozitorlar olinadi. Undan tashqari, nanooksidlarni 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'lmagan 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 tadqiqotchilari (AQSH) yorug'likka sezgir tranzistorlar matritsasi bilan qoplangan 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.

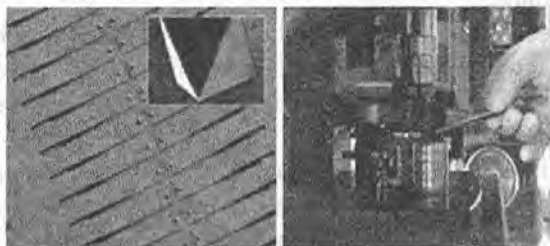
Ushbu usullar bilan hosil qilingan elementlarning minimal o'lchamlari 10 nm ni tashkil qiladi, bu juda zich yozuvni amallaydi, lekin, ishlab chiqarish tezligi va ishonchliligi ancha past. Shunga qaramasdan yumshoq litografiyani katta yutuqlar kutmoqda.

Chizish va muxrlash

Yer sharida eng kichik avtoruchkalar chiqaruvchi Nano Ink kompaniyasi nanotuzilmalarni sirtida 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'lchashlar sifatini yomonlashtiradi. Zond uchida to'planagan suv tomchilari zond uchidan sirtga va sirtidan zond uchiga tomon harakatlanib turar ekan. Bu xossadan suv bilan birga "siyoh" molekullarini ham jo'natishda foydalanishga qaror qilindi. Asbobdagi namlikni o'zgartirib suv tomchilari o'lchami va chiziqlar qalinligini sozlash mumkin. Tajribada chizilgan chiziqlar eni bir necha o'n molekula

o'lchamini, qalinligi 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 moddani 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 "nanorasom" stanoklari injenerlar ishlanmasi ketidan yangi-yangi nanochipalar ishlab chiqarishga qo'shilishlari mumkin. Shunday qilib, bitta fabrika juda ko'p xil turdagi mikrosxemalar ishlab chiqarishi mumkin.

Biosintez

Nanotuzilmalar yaratishning porloq kelajakli asboblaridan biri – biologik nanomashinalardir. Nyu-York universiteti olimi Ned Simen DNK molekularidan bitta – yagona polimer ishlab chiqaruvchi "fabrika" yaratdi. Qurilma o'lchami bori-yo'g'i $100 \times 30 \times 2 \text{ nm}$ ni tashkil qiladi. U ikkita DNK molekulari zanjirining ma'lum ko'rinishda birikishidan hosil bo'lgan Ned Simen kashf qilgan ikkita nanomashinalardan iborat.



5.45-rasm. DNK nanomashinasi sxemasi va AKM dan olingan tasviri.

Olimlar bu nanomashinani xuddi shu DNK bo‘laklari solingan eritmada ishlatib ko‘rdilar. Nanomashina darxol DNK bo‘laklarini biriktirib, o‘ziga o‘xshagan polimer yasashni boshladi. 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 DNK da kodlangan ketma-ketlik bo‘yicha yangi materiallarni sintez qilishdan iborat bo‘ladi. Oxir oqibat biz DNK mashinalari yordamida qisqa vaqtda ko‘p miqdorda polimerlar va yangi materiallar qilishni o‘rganib olamiz”.

5-bobning asosiy xulosalari

– Tabiatni bilishda uning to‘g‘risida informatsiya beruvchi asboblarda juda katta xizmat qiladi.

– Optik mikroskop okulyar va obyektiv deb nomlanuvchi ikkita linzalar tizimidan iborat. Obyektiv obyektga birinchi kattalashgan tasvirini hosil qiladi, keyin bu tasvir okular yordamida yana bir marta kattalashtiriladi. Mikroskoplar yordamida ming martagacha kattalashtirilgan tasvirlar olish mumkin.

– Optik mikroskopning kashf etilishi va arzonlashuvi juda ko‘p fanlarning gurrak rivojlanishiga olib keldi. Mikroorganizmlar oshkor bo‘ldi. Organizm tuzilishi va ishlashi to‘liqroq o‘rganildi. Hujayra nazariyasi yaratildi. Unga, asosan, Yerdagi barcha tirik organizmlar hujayralardan tuzilgan va o‘sha hujayralardan rivojlanadi.

– “Reley prinsipi” 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'liq 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 vakuumlarda 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'lchash asboblari nanotarozi, spektrometrlar, nanoindektorlar, zondli laboratoriyalar va h.k. lar kiradi.

- Har qanday nanoobyektni yaratishdan oldin uni aniq modellashtirish zarur. Nanotuzilmalarni modellashtiruvchi dasturlarni uchta guruhga bo'lish mumkin.

1) *vizualashtiruvchi* modellashtirish (nanotuzilmalarni ko'rsatadi, lekin hech narsa hisoblamaydi);

2) *hisoblovchi* modellashtirish (matematik modellashtirish usullari va kvant fizika qonunlaridan foydalanib turli nanotuzilmalar loyihalashtiradi);

3) *injener* modellashtirish (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'liqdir.

- 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 mashxurdir.

- Nanofabrikaning ishlashi asosini fabrikatorlar tashkil qiladi. Fabrikatorlar boshqaruvchi qurilmalar bo'lib, atomlarni kombinatsiyalaydi va ular o'rtasida kimyoviy bog' hosil qiladi. Ma'nosi jihatdan fabrikator

– bu kompyuter va xomshyo liniyasi bilan bog‘langan nanomanipulyatorlardir. Harakatlanuvchi nanorobot – assemblerdan 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 laboratoriyalar haqida nimalarni 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'rishimiz 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 chidamliligini 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 yeyishmi? Shuni tan olish kerakki, rassom astoydil harakat qilgan – butun rasm yuqori darajada daxshatli ko'rinishga ega. Shuni aytish joizki, shundoqqina 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 safsatalar 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 injenerlarga va zamonaviy ilmga ma'qul kelgan narsalarga ham ishonmaydilar.

Bunday nayrangli reklamalarda ishonuvchanlar beozor ikrali buterbrod tarkibida necha million zararli baliq geni borligi haqida tushunchaga ham ega emaslar.

Ommaning genetika erishgan natijalari haqidagi xabardorlik darajasi jamoat fikrini so'rovidan ma'lum: ba'zi ma'lumotlarga ko'ra so'rov qilinganlarning 2/3 qismining fikricha, genetik modifikatsiyalangan pomidorlar xavfli, chunki uning tarkibida gen bor, tabiiy holatdagi 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 Amerikalik va Rossiyalik 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'lmagan) yangi navli makajo'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

chek 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'simlik 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'shimchalari va kombikormlarini 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 mikroblar fermentlari yordamida olingan spirt benzenga 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'simliklar va hayvonlardan, o'simliklarni himoyalovchi biologik vositalardan, bakterial o'g'itlardan, o'simliklar 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, DNK 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 hujayralar*idir. Ikki yarim milliard yil davomida ular Yer yuzasida yagona tirik jonivorlar sifatida mavjud bo'lgan, faqatgina bir milliard yil avval "неопротерозой революция"si sodir bo'lganda, Yer yuzasida *eukariotlar* paydo bo'ldilar va keng tarqaldi.

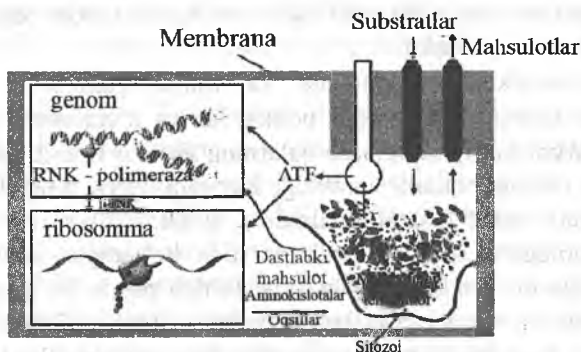
Fanga ma'lum barcha mavjudotlar haqidagi irsiy ma'lumotlar xromosoma tarkibiga kiruvchi DNK molekulasiga yozilgan. Organizmlarni ularda mavjud bo'lgan va hujayra sitoplazmasini xromosomadan ajratuvchi yadrolar soniga qarab ikki guruhga ajratiladi.

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);
- DNK replikatsiyasi mexanizmi (ularning yangi nusxalarini ishlab chiqish);
- ribosomalar (oqsilni sintezlash);
- sitozol (moddalar almashinuvini boshqarish);
- membrana (tashqi muhit bilan o'zaro ta'siri va ATF sintezi).

ATF – adenoziñfosfor kislotasi (tarkibida adenoziñ mavjud nukleotidlar va bir, ikki yoki uch qoldiqli fosfor kislotasi). U barcha organizmlarda mavjud va moddalar, energiya almashinuvida katta rol o‘ynaydi. 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‘lmagan kimyoviy birikmalar) elektrokimyoviy o‘zgarishlar natijasida birikmaning kerakli hujayrasi sinteziga sarflanadi. Membrananing fotosintezlanuvchi organizmlarida xlorofill molekulasini ishtirokida yorug‘lik ta’siri ostida paydo bo‘luvchi elektrik potensial farqining to‘planishi ta’minlanadi.

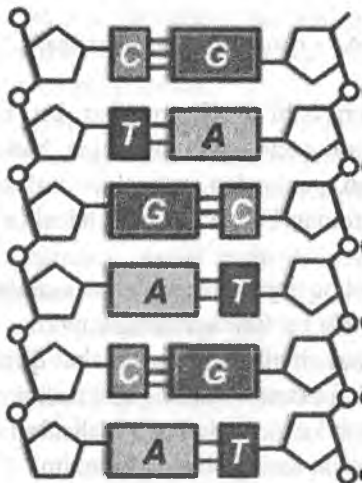
Hujayraning asosiy sistemachalaridan biri – *sitozoid*dir. U hujayraning ichki yarim suyuq muhitini ifodalaydi. Bu barcha metabolik o‘zgarishlarning o‘ziga xos “doshqozon”idir. Hujayradagi moddalar almashinuvi mexanizmi uning o‘shishi va rivojlanishiga yo‘naltirilgan. Buning uchun energiya va oqsillarni 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 moddalar almashinuvi – *metabolizmning* ikki asosiy qismidir.

Irsiy ma'lumot DNKning qo'sh spiralidagi nukleotidlar juftligida kodlashtirilgandir. **Gen** – RNK molekulasi yoki ma'lum bir oqsilning xossasini kodlashtiruvchi va organizmning biror bir alomatiga mos keluvchi DNK maydonidir. Genlarning to'liq to'plamiga – **genom** deb aytiladi.

Bakteriyalar genomi **xromosoma** deb ataluvchi DNK makromolekulasida bir chiziq bo'lib joylashgan minglab genlarni o'z ichiga oladi. Ko'plab berk bo'lmagan xromosomalarga ega eukariotli hujayralardan prokariot hujayralarining farqi - ular faqatgina bitta halqasimon xromosomaga ega.

Prokariotlar jinsiz yo'l **DNK replikasiyasidan** so'ng hujayralarning bo'linishi yordamida ko'payadi. **Replikatsiya** - qayta sintezlangan DNKning bitta tolasi va bitta urg'ochi toladan tarmoqlangan hujayra DNKsi olinadigan jarayondir (bunda DNK o'z nusxasini yaratib ko'payadi).

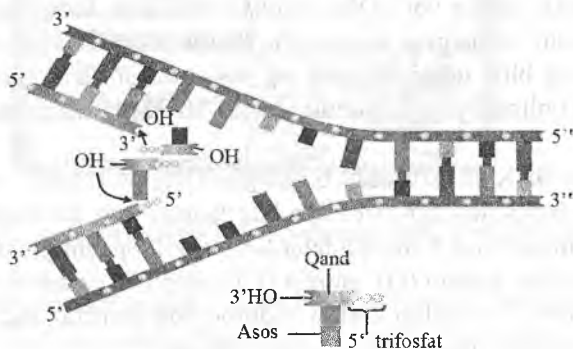
1953-yili DNK strukturasi o'rgangan Djejms Uotson va Frensis Krik DNK molekulasi bir-biri bilan bog'langan to'rt ko'rinish(nukleotid)dagi minglab kichik molekulalardan tashkil topganligini isbotladilar. Nukleotidlar: guanin (G), sitozin (C), timin (T) va adenin (A) dan iborat. Nukleotidlar juftligi o'zaro vodorod bog'lanishga ega - adenin timin bilan, guanin esa sitozin bilan bog'langan.



6.2 - rasm. DNK molekulasida nukleotidlarning bog'lanish sxemasi.

Shu tarzda DNK spiralingning ikki tolasi birikadi: bitta toladagi timin ro'parasida doimo faqat adenin turadi.

Bunday joylanish DNK replikatsiyasi mexanizmini tushuntirishga imkon berdi: qo'sh spiralingning o'rami ikkita har birida ikkinchi tolaning sintezi boshlanadigan, *replikativ vilkalarni* hosil qilib yechiladi. Ushbu jarayonda DNKning maxsus oqsili - *polimeraz* ishtirok etadi. U urg'ochi DNK tolasi bo'ylab o'tganda nukleotidlarni ketma-ket hisoblab, ularning asosida ikkinchi tolni quradi(6.3-rasm).



6.3 - rasm. DNK replikatsiyasi.

Shunday qilib, urg'ochi DNKning har bir boshlang'ich tolasi uning "sobiq" sherigining aniq nusxasini oladi. Nukleotid tolalari ATF, fermentlar asoslaridan, pentozdan va boshqa molekular birikmalardan hosil bo'luvchi, sitozoldan keluvchi o'tmishdoshlari yordamida qurib bitkaziladi.

Ma'lumotning faol oqsilga aylanishi *ribosomada* sodir bo'ladi. Biz bu jarayon bilan birinchi bo'limda tanishganmiz.

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, antibiotiklar 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-yillarida penitsillin antibiotigini keng masshtabda ishlab chiqarishdan boshlangan edi.

6.2. Biotexnologik ishlab chiqarishning umumiy sxemasi

Istalgan biotexnologik jarayonning markaziy bo'g'ini - shtammdir. Shtamm - tasniflanadigan fiziologik-biokimyoviy alomatlariga ega bo'lgan bir turdagi mikroorganizmlar majmuidir.

Biotexnologik ishlab chiqarish yoki maksimal miqdordagi biomasani (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 almashinuvi 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 intilmoqdalar.

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, mutageniz va seleksiya usullaridan birgalikda foydalaniladi. Misol uchun, shu yo'l bilan olingan *Bacillus subtilis* bakteriyalarning yuqori unumdor shtammlari bir tonna ozuqaviy aralashmadan 75 kg gacha B₂ vitaminini ajratib olishga qodir.

Genetika va molekular biologiya sohasidagi yutuqlar o'tgan asrning 70-yillaridan boshlab biotexnologlarga mutant shtammlarini ko'rkona tanlashdan, rekombinantli DNK texnologiyasi (zamonaviy genli injneriyaning asosi) dan foydalanib, 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 manbai bo'lib xizmat qiladi. Mikroorganizmlar organik birikmalarning keng spektri- metan (CH₄), metanol (CH₃OH) va uglekislot (H₂SO₃) 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 *sterilizatsiya*dir. Sterilizatsiya termik, radiatsion, filtratsion yoki kimyoviy usullar orqali amalga oshiriladi.

2. Fermenterga kiritish uchun sof shtammlarni olish

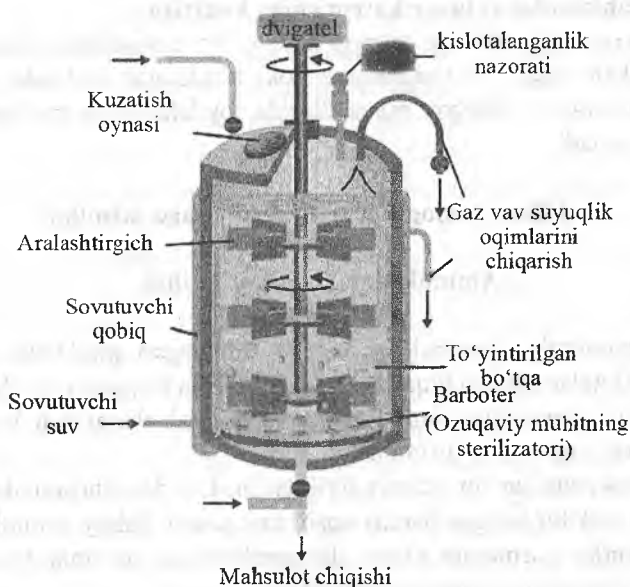
Fermentatsiya jarayonini boshlashdan avval yuqori mahsuldor sof mikroorganizmlarni olish lozim. Sof mikroorganizmlarni ularning mahsuldorligini, yashash qobiliyatini ta'minlovchi sharoitda va uncha katta bo'lmagan hajmda saqlash lozim (odatda, bunga past temperaturalarda erishiladi).

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 xomashyoning 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 mexanik tarzda aralashadigan berk silindrdan iborat. U orqali havo, (ba'zida kislorod 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 kislorod 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 foydalaniladi.

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 tizimiy birliklardir. Ulardan ribosomalar organizmga kerak bo'ladigan 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'lmaz aminokislotalar deb ataladi. Bunday kislotalarning organizmga yetishmasligi moddalar almashinuvi buzilishiga, 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'lmaz aminokislotalar tanqisdir. Bug'doy va guruch oqsilida lizin va treonin, makkajo'xori oqsilida esa - lizin va triptofan tanqisdir.

Sanoat aminokislotalarni kuchli yem-xashaklarga qo'shish qishloq xo'jalik hayvonlari yem-xashagini oqsil darajasiga muvozanatlashtirishga imkon beradi. Bir tonna omuxta yemga tanqis bo'lgan aminokislotalardan 2-4 kg qo'shilganda omuxta yemning umumiy sarfi 15-20% ga kamayadi, sut va go'sht mahsuldorligi 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'shimcha glutamin kislotasini 1956-yil Yaponiyada keng masshtabda biotexnologik ishlab chiqarishda foydalanilgan.

Lizinning sanoatdagi produtsenti bo'lib *Corinebacterium glutamicum* turdagi bakteriyalar shtammi hisoblanadi. Lizin almashtirilmaydigan aminokislotalar qatoriga qo'shiladi.

Produtsentlarning istiqbolli shtammlarini o'zgartirilgan genetik dasturga va boshqarish xossalariga ega bo'lgan mutantlar seleksiyasi doimo yaxshilab bormoqda.

Vitaminlarni hosil qilish

Vitaminlar - katalitik va boshqarish funksiyalarini bajaruvchi turli xil kimyoviy tabiatli almashtirib bo'lmaz 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, kauçuk, 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 *itakon 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'laridan hosil bo'luvchi penitsillindir. Uni 1928-yili bakteriolog A. Fleming kashf qilgan. "Mikroblar quoli" 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'lgani 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 mavjud 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. Fermentlardan to'qimachilik, ko'nehilik, 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.

Mikrobl immunobiologik preparatlarni – vaktsina, immunli zardob, diagnostikumlarni hosil qilish

Vaktsina - 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 soʻz *vacca* - mol soʻzidan kelib chiqadi. Qadimda insonni suvchechak kasalidan himoya qilish uchun suvchechak kasaliga muhtalo boʻlgan molning koʻpigi emlangan. Hozirgi kunda patogen mikroblardan olinuvchi va organizmga kirganda spetsifik antijismlar hosil boʻlishiga sabab boʻluvchi barcha moddalarni vak-sina deb ataymiz. Vaksinalardan foydalanish organizmning kasalliklar-ga moyilligini bartaraf etadi va uning himoyalaniish kuchini kuchaytiradi.

Antijismlar – organizmga bakteriya, virus, oqsil toksinlari va boshqa infeksiyon vakillar kirganda ularga javoban hosil boʻluvchi oqsillar-dir. Antijismlar mikroblar koʻpayishiga toʻsqinlik qiladi va ulardan chiquvchi zaharni yoʻq qiladi.

Immun zardoblar – belgilangan turdagi mikroblar uchun tayyor antijismlarni oʻzida mujassamlashtiradi. Vaksinalardan farqli oʻlaroq, ulardan nafaqat profilaktika uchun, balki davolash uchun ham ishlatiladi, chunki antijismlarni zararlangan organizmga kiritilganda mikroblar va ularning zarari bartaraf etiladi.

Zardob uchun kerak boʻladigan antijismni hosil qilish uchun otga ataylab infeksiya yuqtiriladi. 10–12 kundan soʻng uning organizmi kerakli miqdorda antijismlarni ishlab chiqarishni boshlaganda, hayvon qonidan zardob olinadi.

Ot qonidan olingan zardob preparatlarida zarur antijismlardan boshqa inson uchun begona oqsillar boʻladi. Shuning uchun uni bemor organizmiga yuborilganda allergik reaksiyalar sodir boʻlishi mumkin. Asoratlar darajasini kamaytirish uchun zardob qoʻshimcha qayta ishlanadi.

Hozirgi kunda katta miqdordagi zichlikka ega antijismli immun zardoblaridan olinuvchi gammaglobulindan keng foydalanilmoqda.

Diagnostik zardoblar (diagnostikumlar) - belgilangan turdagi oʻlik bakteriyalar suspenziyasidir. Misol uchun, ich terlama diagnostikumi - bu ich terlama oʻlik bakteriyalarining suspenziyasidir. Diagnostikum-lardan diagnostikalash maqsadida qon zardobidagi immunoglobulinlar-ni 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 xossalari o'zida mujassamlashtirgan hujayra-gibridomlar hosil bo'ladi. Ulardan genetik bir xil bo'lgan tez bo'linuvchi (saron hujayralari kabi) va belgilangan turdagi antijismlarni ishlab chiquvchi (limfotsitlar kabi) hujayralarning to'liq populatsiyasini hosil qilish mumkin. Bunday klon belgilangan turdagi antijismlarning istalgan miqdorda olinishiga imkon beradi.

6.4. Genli injeneriyaning asosiy mexanizmlari Rekombinantli DNK texnologiyasi

Genli injeneriyaning 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 almashinuvi faqatgina bir turdagi 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 turlararo 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 imkonini vujudga kelishi uchun qilinadi. Genlarni har xil turlararo o'tishi *gorizontal* o'tish deb ataladi.

Turli xil organizmlar DNKi bo'laklaridan yig'ilgan DNK 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 Amerikalik olimlar guruhi tomonidan yaratilgan.

Biroq bunday turdagi "genli operatsiya" 4,5 milliard yil avval bosh "gen injeneri" - Tabiat tomonidan muvafaqqiyatli 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 mexanizmlari 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'lmasdi.

Biroq, prokariotlar oddiy bo'linish yo'li bilan ko'payadi, bunda har bir qiz hujayra ota-ona DNKning aniq nusxasini "meros" qilib oladi. Darwin ifodalaganidek evolutsiya harakatlantirgichi taraqqiyot harakatlantiruvchisi bo'lib hisoblanuvchi genetik o'zgaruvchanlikning eng oshkora sababi bu *mutatsiyadir*.

Mutatsiya - hujayraning genetik kodini yangi alomatlarining hosil bo'lishiga olib keluvchi sakrshsimon o'zgarishidir. Agar o'zgartirilgan zot avlodlari oddiyiga nisbatan ba'zi bir afzalliklarga 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 DNKning zararlangan joylarini bartaraf etuvchi samarador tizimlar aniqlangan. Agar bunday mexanizm mavjud bo'lmaganda organizm tur sifatida qayta tug'ilib, o'sha zahotiy oq nobud bo'lardi.

DNKni qayta tiklashning asosiy mexanizmi - zararlangan joylarni olib tashlash vazifasini bajaruvchi *restriksiyadir*. Ushbu jarayonni DNK tolasini parchalovchi *endonukleaz* fermentlari amalga oshiradi. Bunday usul molekulaning faqatgina bitta zanjiri zararlangan bo'lsa-gina yordam beradi. U holda zararlangan joy olib tashlanadi, bo'shliq esa matritsa-shablon sifatida DNKning 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 qurolga 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 ehtiyot 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 DNKni 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 tushuntiradi. Genetikaning rivojlanishi davomida olimlar prokariotlar uchun turli zotlararo genlarning o'tishining gorizontali 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 gorizontali usulida ko'rish mumkin.

Prokariotlarda genlarni gorizontali usulda ko'chirish - bu nafaqat genli injeneriyaning natijasi yoki tajriba dalili, balki keng tarqalgan tabiat hodisasidir.

Lateral ko'chirishning uchta asosiy mexanizmi o'rnatilgan - transformatsiya, kon'yugatsiya va transduksiya.

Transformatsiya – bu ba'zi bir bakteriyalarda genetik materiallarni ayirboshlashning me'yoriy fiziologik funksiyasidir.

Kon'yugatsiya - turlararo genetik ma'lumotlarni ayirboshlash uchun eng kam cheklashlarga egadir, biroq mikroorganizmlararo zich fizik aloqada bo'lishni talab qiladi.

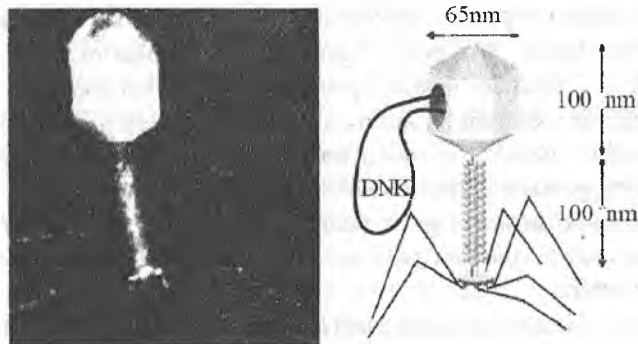
Transduksiya (lot. Transductio-ko'chirish)-ba'zi bir viruslar (bak-

teriofaglar) yordamida genetik materialni bir hujayradan boshqasiga ko'chirishdir. Bu retsipient hujayralarning meros xossalari o'zgarishiga olib keladi. Transduksiya hodisasi 1952-yili Amerikalik olimlar D. Lederberg va N. Sinder tomonidan kashf qilingan.

Viruslar (lot. virus - zahar) - 1892-yili rus botanik olim D.I. Ivanovskiy tamakining mozaikalik kasalligini (bargdagi dog'lar) o'rganish jarayonida aniqlagan. Inson va hayvonlarda viruslar keltirib chiqaruvchi eng xavfli kasalliklar 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 ishlolmaydi.

Viruslar juda oddiy tuzilishga ega. Ular sharsimon, geksagonal yoki tayoqchasimon ko'rinishdagi 45–100 nm diametrlilik o'zakdan, 10–40 nm qalinlikdagi va uzunligi 100–200 nm li novdadan tashkil topgan. 1 mm³ suvda milliardga yaqin faglar joylashishi mumkin (6.5-rasm).

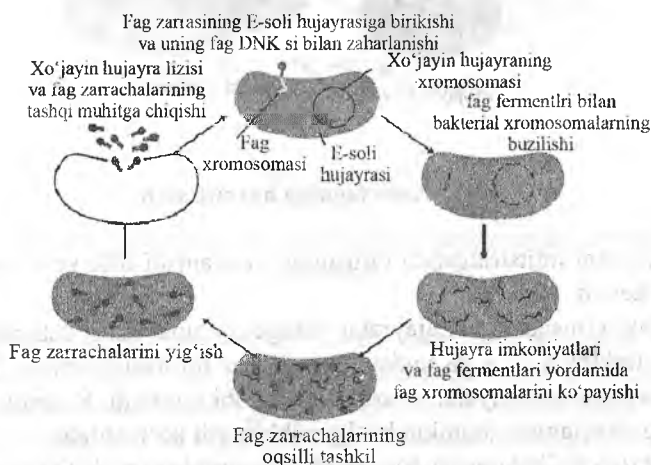


6.5 - rasm. Bakteriofag T4 ning tuzilish sxemasi va elektron-mikroskopik fotosurati.

Virus o'zagi DNK yoki RNK ga ega. Uni himoyalovchi oqsilli qatlam (*kapsid*) o'rab olgan. Novda kovak nay ko'rinishiga ega va u mushaklar kabi qisqaruvchi oqsillar qatlami bilan o'ralgan. Ko'plab

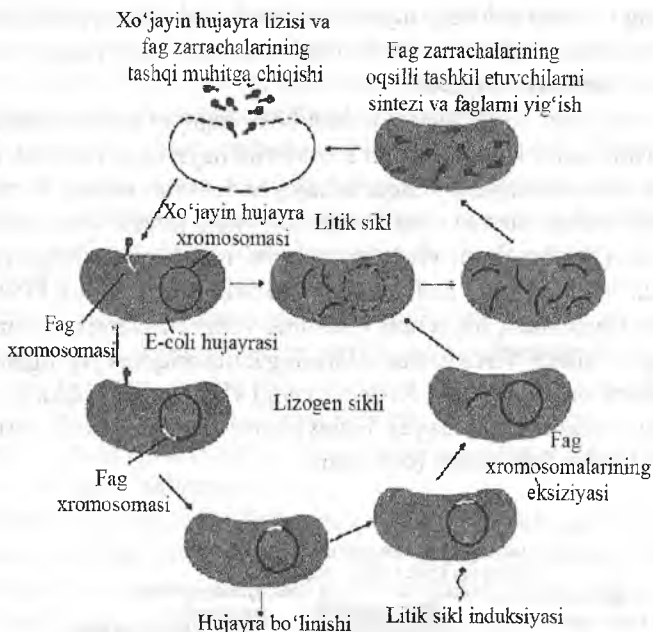
viruslarning novdasi uchidagi tayanch plastinkadan chiquvchi ingichka uzun novdachalar - "oyoqcha"lar mavjud, ular bosh hujayraga mahkam yopishish uchun xizmat qiladi.

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 foydalanib, 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 DNKsiga o'rnatilib, uning ichida berk yuqumsiz holatda qolishi mumkin (6.7-rasm).



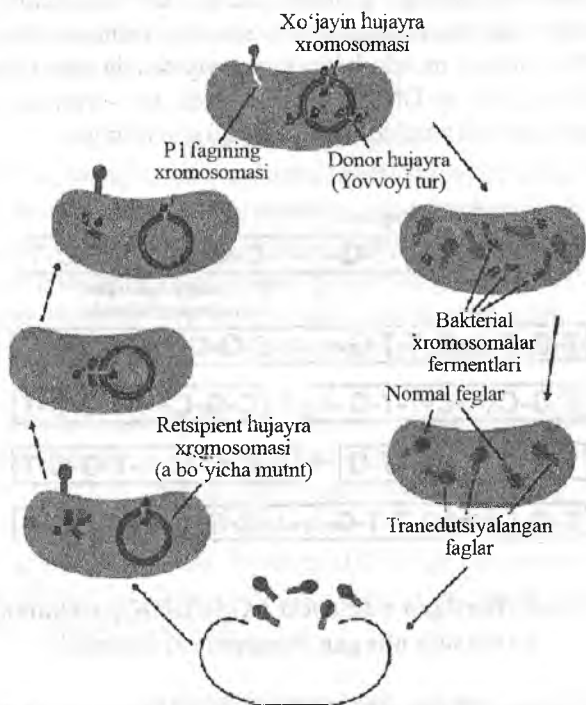
6.7 - rasm. Xolis fagning hayotiy sikli.

U hujayrani infitsirlaganda virusning rivojlanishi litik yoki lizogen yo'lidan ketadi

Bunday virusga ega hujayralar lizogenli hujayralar deb ataladi, ularning tarkibida 2, 3 va undan ko'p faglar bo'lishi mumkin. Lizogeniya so'ngra bakteriyalar avlodiga uzatilishi mumkin. Rasmda xolis virusning rivojlanishi mumkin bo'lgan ikki yo'li ko'rsatilgan.

Transduksiya xolis fagning ko'payish jarayonida virusli DNK zarrasi tasodifan bakterial xromosoma fragmentini ushlab olsagina ro'y beradi.

Bunday virus boshqa bakteriyani shikastlaganda bakterial DNK uchastkasi virus kabi hujayraga kirib oladi. Transduksirlangan DNK va xromosoma uchastkasi orasida ayirboshlash ro'y berishi mumkin, natijada donor-hujayraga tegishli genetik ma'lumotlarning ozroq qismini tashuvchi rekombinantlar paydo bo'ladi.



6.8 - rasm. *E.coli* tolalari orasidagi transduksiyaning umumiy sxemasi.

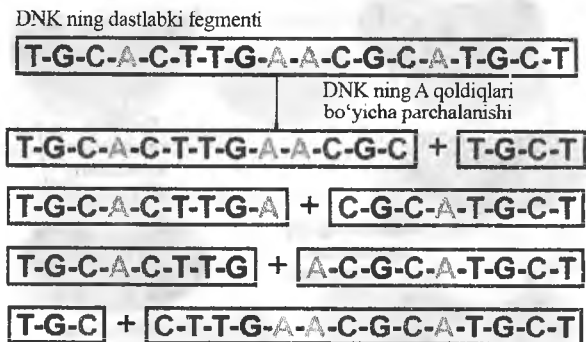
Shunday qilib, biz bakteriyalararo genetik ma'lumotlarni ayir-boshlashning tabiiy "gorizontal" jarayonini, ya'ni genlarning bir organizmdan boshqasiga mobil genetik vositachilar yordamida ko'chishini ko'rib chiqdik. Ko'rib chiqilgan mexanizm transduksiya deb nom oldi, uning mohiyatini tushunish esa genli injeneriya yaratilishiga olib keldi.

Genli injeneriyaning mohiyati - organizm genotipiga alohida genlar yoki ularning guruhlari kiritiladi yoki olib tashlanadi. Buning uchun boshqa tur genlariga ega rekombinantli DNK ni olish usulidan foydalaniladi.

Ushbu jarayon bir nechta bosqichdan iborat:

1. DNK zanjiridan u yoki bu genni ajratib olish uchun **restriksiya** - DNKni fragmentlarga ajratishdan foydalaniladi. Ular DNKni 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 - rasmda DNKni A (adenin) qoldiqlarida parchalanish sxemasi tasvirlangan.



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 DNKni 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 foydalaniladi. Ushbu elementlar o'zining DNKsiga u yoki bu genlarni biriktirib oladi, so'ngra bosh hujayradagi uzilib ketgan genlar bilan xromosomaga o'r nashib oladi. Umumiy holatda bu jarayon tabiatda ham o'z o'rniga ega transduksiyanı eslatadi.

Shunday qilib, DNK molekularining sun'iy konstruksiyalashning umumiy qonuniyatlari 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 bita). 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 muddasidan 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 olingan bo'y o'stiruvchi gormonlar ishlab chiqarilmoqda. Shunday bakteriyalar birinchi marta 1979-yilda olingan 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 organizmga har xil virus kasalliklar bilan kurashishda yordam beradi. Turli intereferonlar asosida tayyorlangan dorilar immunomodulator – immun tizimni me'yorlovchilar va kuchaytiruvchilar sifatida, shu jumladan, virusli gepatit, skleroz, osteosarkoma kabi kasalliklarni 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 qobiliyati 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 olingan. 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.

Transgen o'simliklar

Minglab yillar davomida odamlar yangi xossali o'simliklarning ta-sodifiy 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 ancha tezroq yaratish imkoniyatini beradi. Bundan tashqari, genotur xossalarini 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 DNK tuzilishi haqida faqat umumiy tasavvurlar berar edi. Ularda genlar – jismdagi ajratib bo'ladigan eng kichik obyektlar - orasidagi masofa 7–10 kilobaza edi.

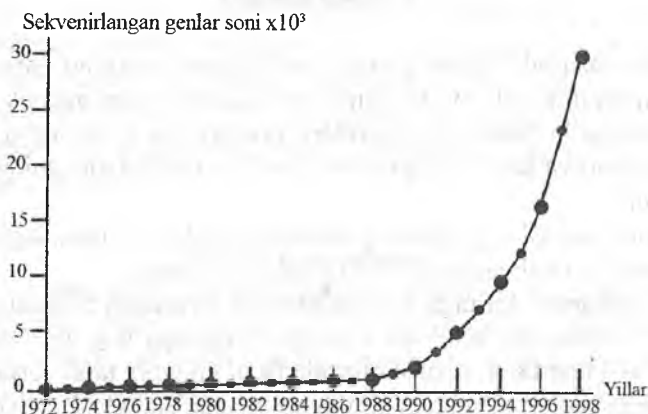
Kilobaza – 1000 juft asos (nukleotidlar)ga teng bo'lgan DNK molekulasiining uzunli o'lchov birligi.

Genomlarni ochib o'rganish sekvenirlash degan murakkab jarayondan iborat (ing. Sequence – “ketma-ketlik”).

U DNKlarni restriktaz usulida kesish mexanizmiga asoslangan. Boshqacha aytganda, avval DNK 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 amal-
lashda yana boshqa ancha baquvvat usullar ishlab chiqilgan. 1988-yilda
mashhur qo‘shaloq DNK spiralini birinchi ochuvchilardan biri J.Uot-
son hammaga fan inson DNKsi kimyoviy asoslarini ochishga juda ya-
qin qoldi deganda, uning so‘zlarini ishonchsizlik bilan qabul qilingan
edi. U vaqtga kelib inson genomida 3 milliard juft nukleotidlar borligi
ma’lum edi. Bu kattalik tasavvur qilib bo‘lmas darajada kattadek tuyul-
gan edi, chunki bitta yagona genni ochish yillab og‘ir ishni talab etar-
di. 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 suratlari bilan rivojlanishi tufayli 12yil ichi-
da 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 imkoni vujudga kelishi mumkin.

Fanning mana shunday tez sur'atlar bilan rivojlanishiga birinchi 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'lgan genlar miqdori haqida qiziqarli ma'lumotlar olindi. Hammadan ko'p genlar inson miyasi shakllanishiga va uning faoliyati faolligini ta'minlab turishga, eng kam qismi eritrotsitlarni yaratishga sarflanar ekan.

Genlarning eng ko'p 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 Eschericha coligu – 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 genomi odamnikidan 3 marta kaltaroq (250Mb). Lekin, odam va tovuqda 60% umumiy genlar aniqlangan. Fugu turidagi baliqning genomi 91Mb, lekin ularning faqat 12% odamniki bilan bir xil.

Bunday mutanosibliklar sababi inson DNKsi faqatgina genlardangina iborat emas degan fikrga olib keladi. Gen – ma'lum bir oqsil 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 genomi to'lasini 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.

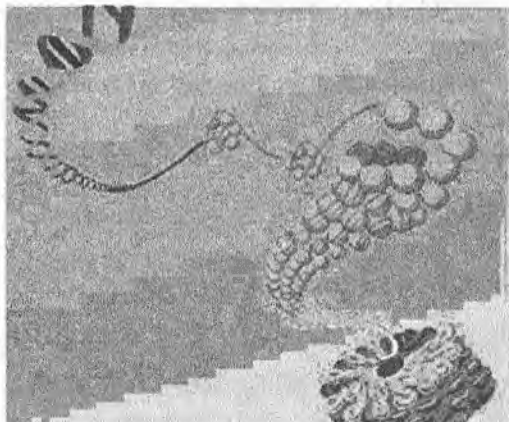
Protoviruslar

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 vaqtda "uyg'onishi" va o'limga olib keluvchi epidemiyalar paydo qilishi mumkin. Xususan, OITS hamma vaqt ichimizda yashagan, keyinchalik mutatsiya tufayli avval bo'lmaagan patogen xossalar qabul qilgan degan taxmin bor. Bunga o'xshash o'zgarishlar bo'g'ma, terlama, gripp va chuma viruslari bilan ham bo'lgan bo'lishi mumkin.

DNKni xromosomalarga taxlash

Genomlarning molekular asosini DNK molekulasini tashkil qiladi. Bu insonda o'zaro uzun iplar singari bog'langan 3 mlrd juft nukleotidlardan iborat bitta DNK molekulasini uzunligi 2 metrga yetadi. DNK xromosomalarda bo'ladi. Insonning har bir hujayrasi 23 juft xromosomaga ega. Agar katta yoshdagi odam tanasi 50 trln (5×10^{13}) hujayradan iborat bo'lsa, hamma DNK molekulasini 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 DNK asosidagi biomolekular xotirada, ya'ni zamonaviy til bilan aytganda, "fleshka"da 250 mlrd Gb axborotni saqlash mumkin bo'lar. Bunday katta hajmga qancha narsa yozish mumkin? Misol uchun, Yerdagi 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 nukleotidlar 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'lgan 3 mingga yaqin kasallik tavsiflangan. O'rganilgan nasliy kasalliklarning soni yil sayin ortib bormoqda. Bu ma'lumotlar bizning organizmimiz rivojlanishi 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'lgan xususiy stvolli hujayralarini kiritish – genoterapiya yordamida ko'plab og'ir kasalliklar – immunodefitsit, 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. Nanotibbiyot

Biotexnologiyalar bilan tibbiyot sohasida sifat jihatdan yangi yo'nalish molekulyar nanotibbiyot 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 narsalar va usullar yaratildi.

Hozirgi paytda shunga o'xshash loyihalar fantast yozuvchilarning tasavvurlarigina emas, balki, zamonaviy tibbiyotning mavjud usullaridir. Nanotibbiyotdagi yangi kashfiyotlar haqida ma'lumotlar tez-tez paydo bo'layotir, bu sohada ishlab chiqarilayotgan loyihalar shunchalik ko'p turli-tumanki, ularni bu bobda to'la tavsiflash imkoni yo'q. Lekin, ayrimlari bilan tanishib chiqamiz.

Chipdagi laboratoriya

Har birimiz tahlil uchun qon topshirganmiz 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'shilib qoladi. DNK molekulasini 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 qurol 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 DNKni 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 turdagi 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 foydalaniladi. Ammo, planar mikrosxemadan farqli ravishda, bu chipdagi laboratoriyalar uch o'lchamli bo'lmog'i darkor. Chunki, mikrosxemada tok yassi o'tkazgichdan o'ta olsa, laboratoriyada suyuqlik – bukilgan shlangdan o'ta olmaydi. Shuning uchun chipdagi laboratoriyalar ishlab chiqarish-

da planar, MEMS va NEMS texnologiyalarning birgalikdagi usullari qo'llaniladi.

Virus va bakteriyalarga qarshi nanotexnologiyalar

Kitobning boshlang'ich qismlarida kumush nanozarrachalari-ning 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 kurashishda 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 molekulari zarur hujayralarga to'g'ridan-to'g'ri yetkazilishi juda muhim modda molekularining 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 yetkazish 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; uchinchi - 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 eritmasi kiritilsa, modda nanozarrachalari ko'payib, o'sib teri tizimlari hujayralarida 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, organizmga 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 foydalanish

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 moddaga qo'shib qo'yiladigan markerlar deb ataluvchi har xil bo'yovchi moddalar ishlatilar edi. Rangsiz hujayralar fonida bo'yalgan hujayralar optik mikroskopda yaxshi ko'rinib, ularning joylashishi haqida nisbatan aniq xulosalar qilish imkonini beradi. Lekin, organik bo'yoqlar zararli bo'lishi mumkin yoki ularni aniqlash uchun o'ziga mos chastotali yorug'lik bilan nurlantirish zarur, chunki, har xil bo'yoqlar har xil chastotali nurlarni akslantiradi, binobarin, muayyan tadqiqot uchun o'shanca 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'tkazgichli kristallar bo'lib, ular makroo'lchamli moddalardan o'zlarining noyob kimyoviy va fizik xossalari bilan farq qiladi. Olimlar tomondan 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 tomondan zaharli moddalarni organizmga kirib olishiga to'siqlik qiladigan maxsus bioinert qoplamaga ega. Yana bunday nano belgilar har xil guruhlarini bitta umumiy manbadan yoritilish mumkinligi bilan ham qulay.

Kvant nuqtalari diagnostika maqsadlarida keng qo'llaniladi. Ularni 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 hujayralarining 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 joylarga o'tirmaydi) shish yaxshi ko'rinadigan 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 joylarga 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 jarayonlarni 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.

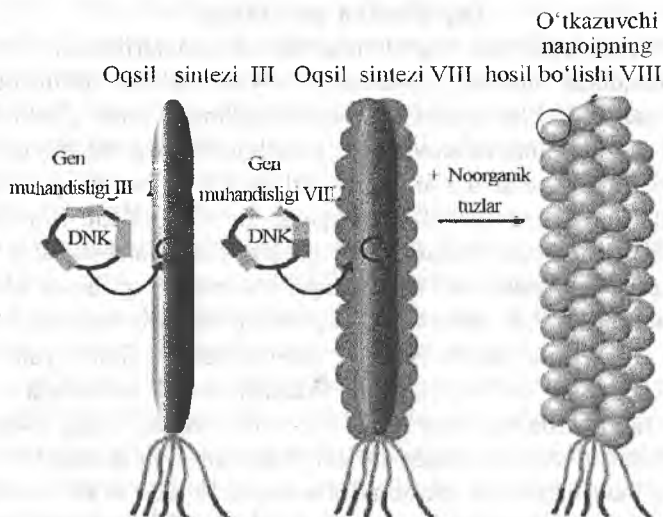
Oqsillardan qurilmalar

Nanotexnologlar tirik organizmlar oqsillaridan qurilmalar yasamoqda, muhandislar ularning qo'llanishini o'ylamoqdalar. 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" kremniy, metall va boshqa sintetik polimer tagliklarda qayta joylashib olishadi. Endi taglikdagi S-qatlamga 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 sifatida foydalanmoqda.

Boshqa olimlar oqsil va noorganik birikmalardan tabiatda mutloq mavjud bo'lmagan tuzilmalar yasashga qaror qildilar. Ammo, oqsil molekularining 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 yoʻldan bordilar – viruslarni har xil oqsillarni aminokislotalar tasodifiy ketma - ketliklaridan sintez qilishga majbur qildilar. Keyin olimlar uskunalarini oddiygina yuvib tashladilar va idishlarda faqat tagliklardagi 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. Gibrid oqsillar yordamida kvant nuqtalarni yigʻish uy temperaturalarida sodir boʻladi va ancha arzoniga tushadi. Bunday oqsillar nanomashinalarni yaratishda ham qoʻllanilishi mumkin.

Mikroreologiyalar instituti (MTI) tadqiqotchilari bakteriofaglar metallarni uzun iplarga toʻplanishini aniqladilar (6.12-rasm).



6.12 - rasm. Turli oqsillarni kodlovchi DNK boʻlaklari shu oqsillarni oʻz sirtida sintezlovchi bakteriofag DNKsi ichiga kiritiladi. Virus metall bilan qoplangan uzun iplar hosil qilib koʻpayadi. Bu metall iplar nanoelektronika va nanosistemalarda ishlatilishi mumkin.

Bu holatda sirtqi oqsillar ruh sulfidi yoki kadmiy sulfidi bilan birikib, uzun (600 nm), diametri 20 nm elektrik oʻtkazuvchan nanoiplar hosil

qilishi mumkin. Olingan 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.

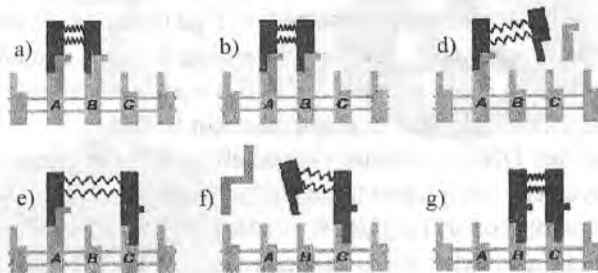
DNK molekulalaridan yasalgan “qo'l bola moddalar”

Nanotuzilmalar yasashda qurilish materiali sifatida faqat oqsillar emas, balki DNK molekulalari ham xizmat qilishi mumkin. Nyu-York instituti kimyo professori Nedrian Simen DNK molekulasidan ikki va uch o'lchamli tuzilmalar hosil qilishga erishdi. DNK molekulasini 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 molekulasiga 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 DNKning elastik qismi joylashgan.



6.13 - rasm. “Qadamlovchi” nanorobotning ishlash qonunyati

- a) Ikki DNK – “oyoq” (qizil rang) “yo‘l”(kul rang) DNKsining komplementar qismlariga langarlar (ko‘k va sariq rang) yordamida birlashtirilgan (A va B);
- b) DNKning erkin zanjiri o‘ng langarga birikadi;
- d) Erkin zanjir o‘ng langarni olib tashlab o‘ng “oyoqni” B bog‘dan bo‘shatadi;
- e) C juftlikni langar zanjiri erkin turgan o‘ng “oyoqni” bog‘laydi;
- f) Ikkinchi erkin DNK zanjiri (och ko‘k rang) chap “oyoqdan” langarni oladi va uni “yo‘l” dan bo‘shatadi;
- g) Boshqa langar zanjiri(kul rang) uni B juftlikning langar zanjiriga birlashtirib oladi.

Robot o‘ziga xos yo‘l bo‘ylab yana bitta asosiy DNK molekulasiga - “qadamlaydi”. “Oyoq”lar “yo‘ldagi” komplementar qismlarga DNKning “langar” erkin zanjirlari yordamida bog‘lanadi. Shunday qilib, robotning o‘ng va so‘l “oyoq”lari nukleotidlarning ajoyib ketma-ketligiga ega. Shuning uchun har biriga, o‘ziga komplementar bo‘lgan DNK yo‘ldagi qism – o‘ziga xos “langar” mos keladi. Langarga yopishib qolgan “oyoq”ni “yo‘ldan” ajratish uchun yana bitta erkin DNK zanjiri kerak. “langar” “oyoq”qa ham, “yo‘l”ga ham birikmaydigan qismga ega. Bu qism keyinchalik “langar”ni “oyoq” tortib oladigan erkin DNKga birikadi. Langardan erkin bo‘lgan “oyoq”lar “yo‘l”dagi navbatdagi komplementar juftlar bilan birikadi va shu tarzda robotni oldinga yurgizadi. Mana shunday jarayonlar takrorlanishi robotni harakatlantiradi. Robot DNK zanjirlarini uvishib qolishiga qarshilik qiluvchi “denaturatsion bufer” deb ataluvchi maxsus suyuqlik ichida qadamlaydi (yuradi). Robot uzoq vaqt yurishi uchun suyuqlik ichida, langarni ajratuvchi millionlab langarlar va erkin DNKlar mavjud. Harkatni boshlashi uchun robotni “yo‘l”ga joylanadi va langar eritmasiga qo‘shib qo‘yiladi. Tadqiqotchilarning keyingi qadamlari “robotga aravacha” qo‘shib qo‘yish, ya’ni u har xil moddalarni, masalan, temir atomlarini ko‘chirib o‘tkazishi mumkin bo‘ladi.

Harakatchan DNK – robotlar murakkabroq bo‘lgan nanotizimlarni: nanokompyuterlar, aniq nanoo‘zgartirgichlar (manipulyator) va boshqa murakkab nanorobotlarni yig‘ishda yordam berishi mumkin.

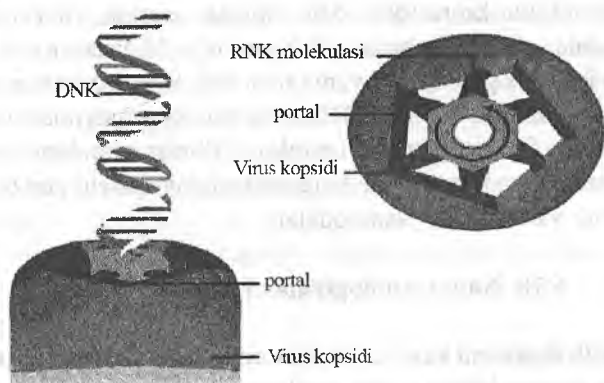
Nanomanipulyatorlar bilan jihozlangan DNK robotlar nanotexnologiyalarning asosiy vazifasi ayrim-ayrim atom va molekullarni ko‘chirish, joylashtirish ishlarini bajarishi mumkin.

Yuqorida aytliganidek, bular hammasi nanotexnologiyalardagi biomimetikaning dastlabki namunalari xolos. Tabiat yaratgan nanomashinalar bulardan ham mukammalroq va soddaroq ekanligini e'tiborga olgan holda, olimlar tabiat taklif etayotgan narsalarni o'rganishi zarur.

RNK - mashinalar

Olimlarning ma'lumotlariga ko'ra, nanomashinalar o'z-o'zini tashkillovchi RNK – tizimlar yordamida ham yasalishi mumkin ekan. Mutaxassislar RNK molekulalaridan o'lchamlari 100 nm dan bir necha mikrongacha bo'lgan bir necha xil o'z-o'zidan yig'iluvchi "matritsa"lar yasashni o'zlashtirdi. Bunday matritsalar tarkibiy tuzilishini avvaldan belgilab qo'yish ham mumkin ekan. O'z-o'zini yig'ish nanometr o'lchamlarida borsa ham, natijaviy "mahsulot" ba'zi tajribalarda mikronlar o'lchamida bo'ladi. Tajribalar ko'rsatadiki, RNK molekulalarining o'z-o'zini yig'ishi yordamida uch o'lchamli matritsalar tuzilishini boshqarishimiz mumkin. Kelajakda RNK molekulalaridan murakkab nanomashinalar yasaladi.

Virus – bakteriofag phi-29 bunday RNK molekula qurilmalarini o'zining viral motori uchun ishlatar ekan. Bu holda motorning ishlash jarayoni avtomobilning ichki yonish motorinikiga o'xshash. Yonish kamerasi rolini virus kapsidi (tanasi) ichida RNK molekulalari va rotor egalagan birikma – portal bajaradi. RNK monomerleri porshenga o'xshab markaziy olti yoqli rotorni navbatma-navbat itarib, uni aylanishga majbur qiladi. Rotor markazida DNK molekulasi turadi(6.14-rasm)



6.14- rasm. Virial motor ishlashi.

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 asosida 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 DNKni ega - hujayra *E coli* ga siqib chiqarib, shu usulda infeksiyalanadi, hujayraning biokimyoviy mashinasi yangi fag zarrachalarini hosil qiladi va oqibatda hujayra nobud bo‘ladi.

“Boshlanishi uchun bizni tadqiqotlarimiz 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 *transgumanizm* yoki *immortalizm* degan yangi falsafiy oqim asosini tashkil

etadi. Bugungi kunda ommaviyroq 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 qutuldiradigan 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 ishonishni xohlaydi, o'lmas bo'lishlik mumkin bo'lmasa, hech bo'lmaganda uning o'rnini bosadigan o'rinbosar topish mumkin bo'lishi kerak. Shuning uchun qanday bir g'ayri oddiy shaklda bo'lmasin, hech bo'lmaganda o'limga moyil ko'plab shaxslardan tuzilgan 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 ishonchni texnika taraqqiyoti bilan almashtirib qo'ydilar, o'zlariga Payg'ambar sifatida nomdor olimlarni tanladilar. Agar din o'ziga ishonganlarga jannat va'da qilsa, immotalistlar 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 vaqtlar 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 Nyuton-ni butun olam tortishish qonuni ochilishiga turtki 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) fo-rumda "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 nanorobotla-rining majmuasi loyihasi bo'lib, ular inson tanida yashash va faoliyat ko'rsatish imkoniyatiga ega bo'lgan, qonning har xil vazifalarini, jum-ladan, 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 Vatt energi-ya talab qiladi. Tizim qon tashuvchi tomirlar tuzilishiga to'la mos kela-di va tabiiy qon tomirlarni to'la almashtirishi mumkin. Boshqacha ayt-ganda, nanorobotlar qon o'tkazish tizimi hosil qiladi va unda faoliyat ko'rsatadi. Ular almazoiddan yoki shunga o'xshash biomos keluvchi moddadan olinadi va energiyani glyukozadan va kisloroddan olishadi. Mana shu robotlashgan qon oddiy odamga qanday afzallik beradi? Im-koniyatlari 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, odatda, 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'xshashi - klottotsitlar – qon oqishini to'xtatishni 1 sekundda bajarsa, buning uchun oddiy trombogenezga 5–17 minut talab qilinadi. Bundan tashqari, sun'iy trombotsitlar zichligi tabiiylarnikidan 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 bilanangina 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 *mikrofaqotsitlar* yoki sun'iy immun hujayralari deb atadi.

Mikrofaqotsit qanday ishlaydi? Qurilma bajarayotgan jarayonlarning har bir davrida zararli bakteriya nanorobot sirtiga maxsus yopishtir-

ruvchi uyalar yordamida huddi pashsha yopishqoq tasmaga yopishgandek yopishib qoladi. Keyin teleskopik nanomanipulyator – tutqichlar maxsus uyalardan mikrofaqotsitlar sirtiga chiqadi va bakteriyalarni robot ichida bo‘lgan “o‘ldiruvchi” hajmga olib keladi. Mexanik ravishda maydalangandan keyin bakteriyaning organik qoldiqlari maxsus porshen bilan “digestal” (ing. Digest – yanchish, maydalash) hajmga siqib chiqariladi va u yerda ular fermentlar majmuasi yordamida yana maydalanadi. 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. Jarayon 30 sekund davom etadi.

Muallif tomonidan “maydala va chiqarib tashla” deb atalgan bunday algoritm amalda tabiiy fagotsitlar foydalanadigan hazmlash va fagotsitoz jarayonlariga o‘xshash. Lekin, sun‘iy fagotsitoz jarayoni tezroq va tozaroq bo‘ladi, sun‘iy mikrofaqotsitlar mahsulotida inson uchun zararli bo‘lgan moddalar yo‘q. Bundan farqli ravishda tabiiy makrofaqotda 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 turdagi 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 ishlash

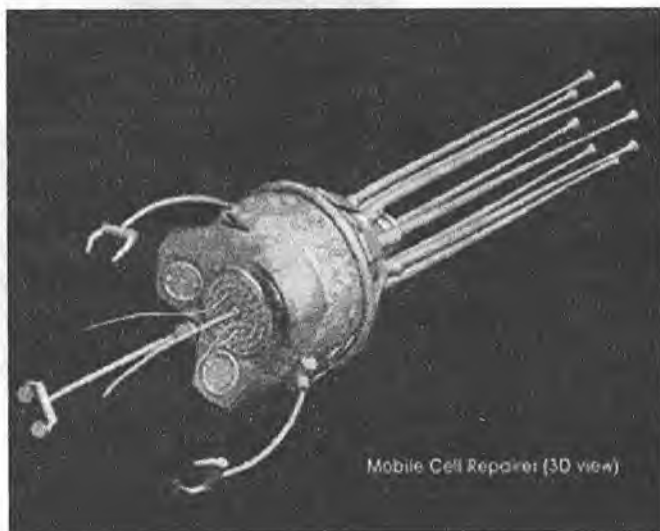
uchun har xil teleskopik nanomanipulyatorlar bilan ta'minlangan bo'lishi kerak;

- Beshinchidan, nanorobotlar bir-biri bilan aloqa qilib turishi uchun uzatuvchi, qabul qiluvchi qurilmalarga ega bo'lishi kerak;

- Oltinchidan, generator va energiya manbalarisiz ish bitmaydi;

- Yettinchidan, 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, DNKni tahlil qilish va muvofiqlashtirish, bakteriya va viruslarni yo'qotish va boshqalar kabi vazifalarni bajarishga qo.



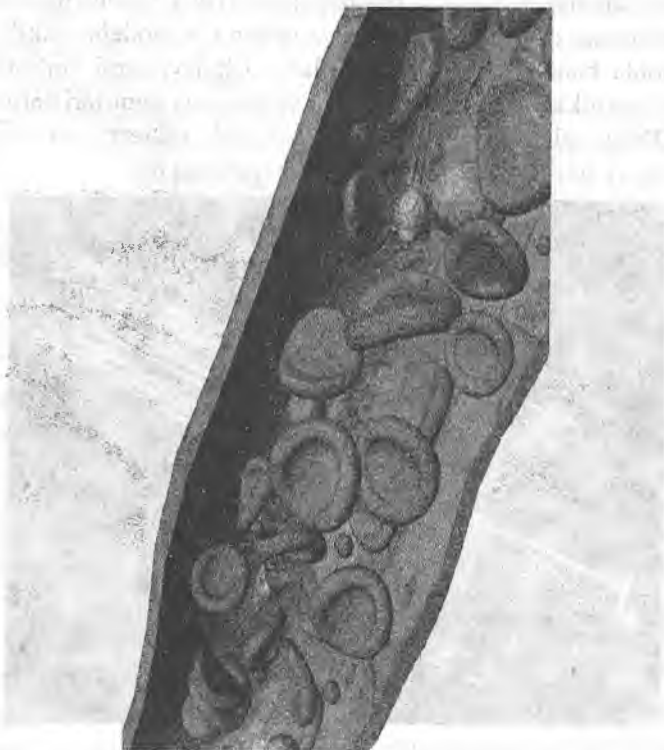
6.15 - rasm. Tibbiy nanorobot loyixasi.

6.15-rasmlarda almazoiddan 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‘rinishida 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 harakatlanyotgan 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.

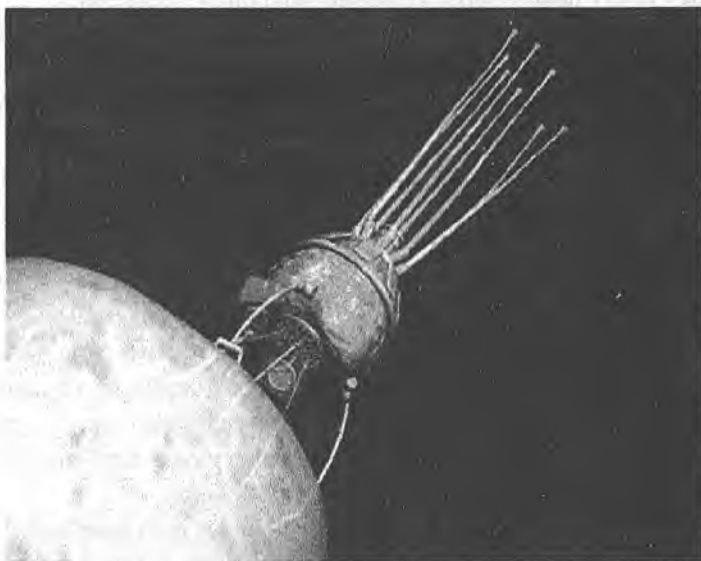
Nanorobotlarning o‘zaro aloqa va yo‘nalishini shakllantirish uchun kommunotsit turdagi kuchaytirish stansiyasi sifatida ishlaydigan nanorobotlardan foydalanish qulay.

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 DNKni 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 odamdagi 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 umrboqiyiligini (umidsiz kasalliklar haqida gapirmasa ham bo'ladi) ta'minlash mumkin.

Nanorobotlarning nazoratdan chiqib ketishi, to'xtovsiz o'z-o'zini replikasiya qilishi muammolariga kelsak, robotlar organizmdan tashqarida yasali, 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.

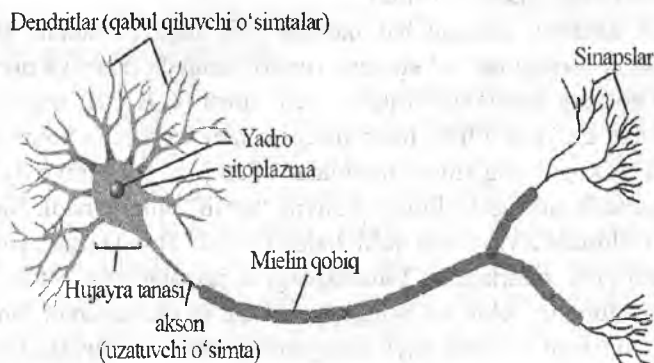
Ikkinchi loyixa - ong, fikrlashni kompyuterga o'tkazish

O'fmlarning yuqoridagidek nanorobotlar yasashi va ular yordamida umrboqiylikka erishishi – munozarali masala. Hozircha buning uchun yetarli darajadagi texnologiya va mutaxassislar yo'q.

Lekin, transgumanistlar faqatgina nanorobotlar bilangina alahsirayotgani yo'q. Ongni tashuvchi neyroelektronlar ham yasash mumkin. 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 ongni inson miyasidan dasturlovchi apparat majmuasiga 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 elektrokimyoviy moddaning neyronlararo oʻtishi sifatida amalga oshirilgan. Neyronlar tanamizning boshqa hujayralaridan farq qiluvchi noodatiy tuzilishga ega. Neyronning *tanasi* butun neyronning eng katta massasini tashkil etadi. Unda oʻzida irsiy axborot saqlanadigan hujayra yadrosi mavjud. Neyron tanasidan qisqichsimon oʻsimtalar – *dendritlar* tarqalgan, eng uzuni *akson* deb ataladi (6.18-rasm).



6.18 - rasm. Neyron sxemasi.

Nerv hujayralari va ular oʻsimtalari *mielin qobigʻi* deb ataluvchi neyronlarni elektrizolatsiya qiluvchi himoya qobigʻi bilan qoplangan. Akson boshqa neyronlar dendritlari bilan *sinapslar* deb ataluvchi asab signallarini kuchaytiruvchi va toʻgʻrilovchi oʻziga xos maxsus birikmalar orqali bogʻlanadi.

Shunday qilib, bizning miyamiz doimiy ravishda (hatto uxlayotganimizda ham) axborotlarni qayta ishlovchi oʻziga xos “hisoblovchi toʻr” dan iborat.

Miya tuzilishi qancha murakkab boʻlsa, unda neyronlar oʻsimtalari orasida bogʻlanishlar qancha koʻp boʻlsa, shuncha murakkab masalalarni yecha oladi, yaʼni bilimlar qancha koʻp boʻlsa, aloqalar ham shuncha koʻp boʻladi. Yangi aloqalar faqat yangi axborotlarni oʻzlashtirish, yangi masalalarni yechishda shakllanadi. Har kuni bir xil ogʻirlikdagi shtangani koʻtarishda yangi mushaklar paydo boʻlmaganidek, 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 spirti (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 kislorod va suvni "tortib" olib, yonadi. Natijada hujayra kislorodsiz va suvsiz qolib halok bo'ladi. Bunda jigar, yurak va buyrak ko'proq zararlanadi. Tanamizdagi hujayralar vaqt o'tishi bilan tiklanishi mumkin, lekin miya hujayralari qat'iy tiklanmaydi. Shuning uchun asab tizimi va bosh miya alkogolning zaharli ta'siridan himoyasiz. Miya fiziologiyasi haqidagi zamonaviy 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, fikrlashi, hissiyoti va sezgilari ham bo'lgani uchun, insonning umrboqiyiligini 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 sekinroq ishlovchi yo'g'on asboblardir. Ular 200 Hz chastota bilan ishlashadi, ularda signallar 150 m/s tezlik bilan tarqaladi. Yosh o'tishi bilan yangi neyronlar o'stirish o'rniga 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. Kompyuterning 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 qarasa, bu son ishonib bo'lmaydigandek, aslida bu bir necha serverlar xotirasi xolos. Mana shunday axborot olinsa, miyaning virtual neyron to'ring 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 loyihaga ko'ra, miyaga o'ta nozik tekshiruvchi elektrodlarni (masalan: nanonaychalarni) 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/).

Bunday parchalab tekshirishdagi asosiy kamchilik - tajriba obyektini 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, kelajak 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‘yobga 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‘minlashimiz 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 seza oladigan va shunday xabarlardan himoyalangan shaklda bo‘lishi kerak.

Biologik va elektron qurilmalarini birlashtirish sohasini *neuroelektrik interfeys* deyiladi. Bu soha olimlari kompyuterlarni asab sistemalari bilan bog‘laydigan qurilmalar yasash ustida ishlaymoqdalar.

AQSHlik olimlar kalamushlar miyasining harakatlantiruvchi markazini 48 o‘tkazgich yordamida kompyuter bilan bog‘lab, komp-

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 instinkti 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 radiosignallar 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 siljitish, harakatga keltirish, telepatiya – fikrni masofaga uzatish va h.k.

Bunday tajribalar rivoji insoniyatga ko'plab istiqbollarni ochib bermoqda. Bulardan 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", djoyistik, 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 jamiyati 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 mavjudotlar, 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 tabiati asosan aniqlandi. Bu esa o'limning boshlang'ich davrida va muzlatishdan hujayralarning shikastlanishi nazariy jihatdan kelajak fani davolay olmaydigan darajada katta emasligi haqida 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'lmaganda, 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'lasini 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'lmagani 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" abadiylikini qanday oqibatlarga olib kelishini bashorat qilish mumkin bo'lmagan 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 bioobyektlar olish;

- biotexnologiya asosini hujayralardagi jarayonlar tashkil etadi. Hujayralar ikki xil bo'ladi: prokariot (bakteriyalar) va eukariot (zamburug'lar, o'simlik va jonzotlar);

- odatdagi prokariot hujayra quyidagilardan iborat:

* genom (RNK va oqsillarni yig'ishga ko'rsatma);

* DNKning replikasiya mexanizmi (uning yangi nusxalarini ishlab chiqarish);

* ribosoma (oqsilni sintez qilish);

* sitazol (modda almashinuvini boshqarish);

* membrana (tashqi muhit bilan o'zaro ta'sirlashish va ATFni sintez qilish).

- hujayralar metabolizmi - hujayrani tashqi muhit bilan doimiy modda almashinuvini hisobiga mavjud. Tashqi muhitdan hujayraga substratlar (uglerodli birikmlar) kelib tushadi, ulardan mahsulotlar (oqsillar,

fermentlar, vitaminlar, garmonlar, antibiotiklar va b.) ajralib chiqadi. Biotexnologiyalar zaruriy mahsulotlarning o'ta sintezini ta'minlaydi.

Biotexnologik jarayonning umumiy 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 gorizont tal ko'chirish) yotadi. Bunday gorizont tal ko'chirishni tabiatda ham, mikroorganizmlarda ham kuzatish mumkin;

- gen injeneriyasining rivoji oqibatida transduksiya – genetik materialning prokariot viruslari (bakteriofaglar) yordamida ko'chirish mexanizmi 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 qo'big'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 loyihalaridan bo'lgan "inson genomi" loyihasini amalga oshirilishi natijasida inson genomi qariyb 3 mlrd juft nukleotidlardan iborat ekanligi, shundan 29181 genom vazifalari aniqlandi;

- genomni oshkorlash, sekvenirlash – DNKni restriktaz 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. Chip-lardagi laboratoriyalar 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 umrboqiylikka erishish yo'llarini ham ochib bermoqda. Bu esa texnik tarraqiyot yordamida erishiladigan shaxsiy umrboqiylik g'oyasi uchun kurashayotgan yangi falsafiy oqim – transgumanizmning ommalashishiga olib keldi.

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 oqimlarining 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.*

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Суздаев И.П. Физико – химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов–М.: Ком. книга 2006 г.
- 2.Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, 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

www.nanonewsnet.ru

www.nanobot.ru

www.microbot.ru

www.neuroelectronics.ru

www.cbio.ru

www.robotclub.ru

www.aicomunity.org

www.mno.ru/books/laz.php

www.mno.ru/books/eoc/eoc.php

www.prognosis.org.ua

Ingliz tilida:

www.nanonewsnet.com

www.rfreitas.com

www.kurzweilai.net

www.e-drexler.com

www.foresight.org

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 xossalariga misollar.....	140
3.7 “Aqlli” 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 “Aqlli 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

5.3. Mexanosintez va nanofabrika.....	248
---------------------------------------	-----

6-BOB. BIOTEKNOLOGIYA VA NANOTIBBIYOT

6.1. Biotexnologiyaning asosiy tushunchalari.....	274
6.2. Biotexnologik ishlab chiqarishning umumiy 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
Foydalanilgan adabiyotlar.....	331
Foydalanilgan 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'rinaova**

Sahifalovchi: **Z. Shukurxo'jayev**

Musahhih: **B.Tuyog'ov**

Nashriyot litsenziyasi AI № 190, 10.05.2011-y

Bosishga 10.09.2014-yilda ruxsat etildi.

Qog'oz bichimi 60×84 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