

83584

Komil MUQIMOV

MITTI BUNYODKORLAR yoxud NANOTEKNOLOGIYALAR NIMA?



62
M-95

UO'K: 62(072)
KBK: 65.9(50)'5

K.Muqimov

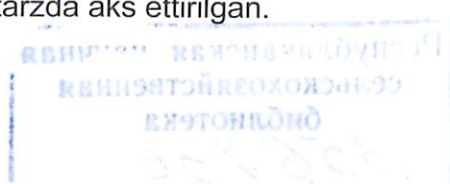
«Mitti bunyodkorlar yoxud nanotexnologiyalar nima?»/Ilmiy-ommabop. Muqimov K. - Toshkent: «Kamalak» nashriyoti, 2017-yil, 144 bet.

Komil Muqimovning «Mitti bunyodkorlar yoxud nanotexnologiyalar nima?» nomli kitobi XXI asr texnologiyalaridan biri bo'lgan nanotexnologiyalarga bag'ishlanadi.

«Nano» – yunoncha so'z bo'lib, «mitti» ma'nosini anglatadi. Shuning uchun ham kitob «Mitti bunyodkorlar yoxud nanotexnologiyalar nima?» deb nomlangan.

Muallif fanlararo ilmiy yo'nalish hisoblangan nanotexnologiyalar haqida sodda, ko'pchilik uchun tushunarli va jonli tilda hikoya qiladi.

Kitobda matematik formulalar qo'llanmasdan nanotexnologiyalar tarixi va ularning vositalari, nanobiotexnologiyalar, nanotibbiyot, nanoelektronika, kvant kompyuterlari va boshqa bir qancha murakkab masalalar ommabop tarzda aks ettirilgan.



ISBN 978-9943-4013-8-9

© K.Muqimov
© «Kamalak», 2017y

Hozirgi davr – intellektual mulk davri. Biz xomashyo, xizmatlar va mahsulotni eksport qilishdan, intellektual mulkni, yani tafakkur mahsulotini eksport qilishga o'tishimiz lozim.

Islom Karimov

*Har nechuk ilmdan eshitsang bir so'z,
Uni tinmay o'rgan kecha-yu kunduz.*

*Ilmdan bir shu'la dilga tushgan on
Shunda bilursankim, ilm bepoyon.*

(Abulqosim Firdavsiy. «Shohnoma»)

NANOTEKNOLOGIYALAR NIMA?

Insoniyat navbatdagi texnologik inqilob bo'sag'asida turibdi. Oxirgi yillarda fan va texnikaning rivoji shunday muhim marraga kelib yetdiki, undan o'tish insonning yashash shart-sharoitlarini tubdan o'zgartishga qodir. Bu nanotexnologiyalarni xalq xo'jaligining barcha sohalariga tadbiq qilina boshlangani bilan bog'liqdir. Dunyodagi ko'zga ko'ringan ekspertlarning fikricha, kompyuterlarning yaratilishi axborot manipulyatsiyasida qanday inqilob qilgan bo'lsa, nanotexnologiyalarining materiya bilan manipulyatsiya qilishi ham insoniyat hayotida ana shunday inqilobni amalga oshiradi va XXI asr fan-texnikasiga zamin bo'ladi.

Kelajakda nanoelektronika kremniy mikrosxemalarini siqib chiqaradi va kompyuterlarning umumiy ko'rsatkichlarini minglab marta oshiradi. Arzon, yengil va mustahkam nanomateriallar mashinasozlik va qurilishda ishlatiladigan metallarning o'rnini egallaydi.

Nanotexnologiyalar yordamida avtomobil sanoati ekologik xavfsiz avtomobillarni ishlab chiqaradi, ularning ichki yonuv dvigatellaridagi benzin o'rnida yuqori samarali vodorod yonilg'isi ishlatiladi. Nanomateriallar asosida tayyorlangan, foydali ish koeffitsienti juda

yuqori bo'lgan quyosh batareyalari energetikadan yonuvchi yoqilg'ilarni siqib chiqaradi. Qolaversa, nanotexnologiyalar xalq xo'jaligining istalgan sohasida arzon va sifatli mahsulotlarni yetkazib berish imkonini beradi. Ular yordamida vaqtni tejashimiz, kam xarajat qilib, ko'p moddiy boylik va noz-ne'matlarga ega bo'lishimiz mumkin.

Kelajakda nanotexnologiyalar ko'pdan-ko'p kasalliklarni, shu jumladan bugungi kunda «davosi yo'q» deb hisoblangan saraton (rak), SPID, parkinson kabi kasalliklarni yengadi va odamzot umrini keskin uzaytiradi.

Qisqa qilib aytganda, nanotexnologiyalar kelajak-da iqtisodga, turmush tarzi va ijtimoiy hayotga katta ta'sir ko'rsatadi.

Insoniyat oldida turgan bunday istiqbol dunyoda nanotexnologiyalar va nanomateriallar sohasidagi ilmiy-tekshirish ishlari hajmi va natijalari tez sur'atlar bilan kengayib, o'sib borishiga omil bo'lmoqda. Bu sohada erishilgan yangi yutuqlar bilan tanishganingizda, bir-ikki yil avval xomxayol bo'lib tuyulgan loyihalar bugun real amal-ga oshayotganini bilib hayratlanasiz. Nanotexnologiyalar sohasidagi ilmiy izlanishlar, erishilgan yutuqlari uchun berilgan Nobel mukofoti sovrindorlarining soni, hozirgi kunda o'n nafardan oshdi. Dunyoda, ayniqsa, rivojlangan davlatlarda nanotexnologiyalar sohasidagi ilmiy ishlanmalarni sanoatda tatbiq etishga doir ishlar jadal sur'atlarda olib borilmoqda.

Nanotexnologiyalar HP, NEC va IBM kabi yirik kompaniyalar uchun eng muhim ustuvor yo'nalishga aylandi. Bu kompaniyalar nanotexnologiyalar sohasida ilmiy izlanishlar va nanoqurilmalarni ishlab chiqarishga tatbiq qilish uchun juda katta miqdorda mablag' ajratishmoqda. Nanotexnologiyalar yordamida tayyorlangan mahsulotlar dunyo bozorini egallamoqda. Ekspertlarning fikriga ko'ra, bu mahsulotlar bozorining hajmi 10-15 yil davomida har yili

40% ga oshib boradi. Nanotexnologik mahsulotlarning dunyo bozoridagi narxi 2015-yilgacha 1 trln. AQSh dollardan oshib ketishi taxmin qilingan edi (1-rangli rasm). Xullas, kim nanotexnologiyalarga ega bo'lsa, u dunyoga ega bo'ladi!

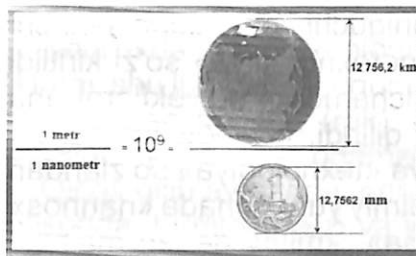
Xo'sh, nanotexnologiyalar nima o'zi? 1974-yili yaponiyalik fizik Nario Taniguchi tomonidan birinchi bo'lib ilmiy iste'molga «nanotexnologiya» so'zi kiritildi va bir mikrondan kichik o'lchamdagi ob'ektlarni ana shu nom bilan atash taklif qilindi. «Nanotexnologiya» so'zi ikki atama – «nano» va «texnologiya» so'zlaridan tashkil topgan. «Nano» qadimiy yunonchada «nannos» bo'lib, o'zbek tilida «pakana», «mitti» degan ma'noni anglatadi. «Nano» – biror narsaning milliarddan bir qismi, deb qabul qilingan. Masalan, nanosekund (ns) – sekundning milliarddan bir qismi, deb tushunamiz. Xuddi shunday, bir nanometr (qisqacha – nm) – metrning milliarddan bir qismidir (yoki, $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$). Ko'pchilik mikrometr yoki mikron va mikroelektronika so'zlari bilan yaxshi tanish. Mikrometr metrning milliondan bir ulushi bo'lsa (10^{-6}m), nanometr esa mikrometrdan ming marta kichik kattalikdir.

Nanometrni ko'z oldiga keltirishimiz uchun quyidagi solishtirishlarni keltiramiz: o'nta vodorod atomi (diametri 0,1 nm) bir chiziq bo'yicha ketma-ket joylashtirilsa, bu masofa 1 nanometrni tashkil qiladi. Ko'pchilik atomlarning diametrlari 0,1 dan 0,3 nm oralig'ida. Masalan, oltin atomining diametri 0,28 nm ga teng bo'lsa, metan (CH_4) kabi kichik molekularning chiziqli o'lchamlari yarim nm atrofida, DNK (dezoksiribonuklein kislota) spiraling qalinligi 2 nm, eritrotsitlar diametri 7000 nm va odam sochining qalinligi 80 000 nm atrofida. Yana bir solishtirish: Odam barmog'ining diametri Yer shari diametridan qancha kichik bo'lsa, nanometr metrdan shuncha kichik bo'ladi.

1-rasmda nanometrning qanday darajada kichik

ekanligini tasavvur qilish uchun Yer shari va Rossiya kopeykasi solishtirilgan.

Nanotexnologiyalar ish ko'radigan ob'yektlarning o'lchamlari shartli ravishda, 1 dan 100 nm oralig'ida deb hisoblanadi



1-rasm. Yer shari
va kopeyka

Endi «texnologiya» atamasiga kelsak, qadimiy yunonchada «tehne» – «san'at», «mohirlik»; «logos» esa «fan» demakdir. Ensiklopedik lug'atlardan birida «texnologiya»ga quyidagi ta'rif berilgan:

Texnologiya – ilk xomashyo (holati va shakli)ni qayta ishlash, tayyorlash, o'zgartish natijasida tayyor mahsulotni olish usullari majmuasidir.

Texnologiyalar bir-biridan ilk xomashyoning tabiati bilan farq qiladi. Masalan, axborot texnologiyalari va mashinasozlik texnologiyalarining «ilk xomashyosi» – axborot va metall konstruksiyalaridir. Bu «xomashyolar» orasidagi keskin farq, ularni qayta ishlash va o'zgartish usullari – axborot va mashinasozlik texnologiyalarini bir-biridan tubdan farq qilishiga olib keladi.

Texnologiyalar haqida so'z borganda «yuqori texnologiyalar» iborasini ham yoddan chiqarmasligimiz kerak. Buning mohiyati nimada? Bilamizki, nisbatan yaqinda paydo bo'lgan, biroq hozircha keng tarqalmagan samarali texnologiyalar yuqori texnologiyalar deb yuritiladi. Masalan, mikroelektronika sohasida paydo bo'lgan, hayratlanarli kichik o'lchamlar (mikrometr) bilan bog'liq texnologiyalar yuqori texnologiyalar («high-

tech») deb ataladi. Bundan 30 ming yil muqaddam toshni tarashlab, tekislash ham yuqori texnologiya deb hisoblangan.

Aslida nanotexnologiyalarga ilmiy adabiyotda juda ko'p ta'riflar berilgan. Shunga qaramay, quyidagi ta'riflar bilan chegaralanamiz:

1. O'lchamlari 100 nm dan kichik komponentlarni o'z ichiga olgan, tamoman yangi sifatlarga ega bo'lgan va ularni katta masshtabli, to'laqonli ishlaydigan sistemaga aylantirishga imkon beruvchi ob'yektlarni nazorat ostida yaratish, modifikatsiyalash usullari va uslublari majmuasi **nanotexnologiyalar** deyiladi.

2. «**Nanotexnologiyalar**» – bu 1-100 nm oralig'ida alohida atom va molekularlar bilan manipulyatsiya qilishga asoslangan texnologiyalar va usullar majmuasidir.

3. «**Nanotexnologiyalar**» – atomlar va molekularlar bilan manipulyatsiya qilish orqali oldindan belgilangan atom strukturasi ega bo'lgan mahsulotlarni ishlab chiqarish usullari majmuasidir.

Nanotexnologiyalar fanning ilg'or yutuqlari asosida yuzaga kelgani tufayli u yuqori texnologiyalar qatoriga kiritiladi.

Shu o'rinda ilmiy va ommabop adabiyotlarda keng foydalaniladigan terminlarga to'xtalib o'tish maqsadga muvofiqdir:

Nanozarracha – atrofidagi muhit bilan aniq ifodalangan chegarasi mavjud bo'lgan, uch o'lchamning hammasida 1 dan 100 nm ega bo'lgan yakka joylashgan ob'yekt.

Nanofan – nanometr o'lchamdagi moddiy ob'yektlar yoki ularga qaraganda yuqoriroq bo'lgan, ammo nanoo'lchamli elementlar asosida ma'lum tartibda joylashgan tizimlarning xossalari o'rganish, tushuntirib berish va oldindan ayta bilishga asoslangan bilimlar tizimidir.

Nanomaterial – hech bo'lmaganda bir yo'nalishda geometrik o'lchami 100 nm dan oshmagan tuzilma elementlarini o'z ichiga olgan va sifat jihatidan yangi

xususiyatlar, funksional hamda ekspluatatsion ko'rsatkichlarga ega bo'lgan materiallardir.

Nanosistema texnikasi – to'liq yoki qisman nanomateriallar va nanotexnologiyalar asosida yaratilgan funksional tuzilish va qurilmalardir.

Nanosistema texnikasining ko'rsatkichlari, xuddi shu maqsadda an'anaviy texnologiyalar yordamida yaratilgan tuzilish va qurilmalar ko'rsatkichlaridan yuqori sifati bilan jiddiy farq qiladi.

Nanosanoat – nanotexnologiyalar, nanomateriallar va nanosistema texnikasi asosida mahsulot yaratish bo'yicha faoliyat ko'rsatish turidir.

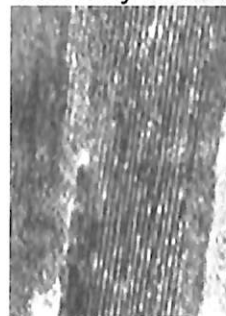
Nanotexnologiyalar tarixi

«Nanotexnologiyalar» termini yangi bo'lsa ham, nanometr o'lchamidagi qurilma va strukturalar hayot bilan bir vaqtda paydo bo'lgan. Insoniyat nanoolchamli materiallarning afzalliklaridan qachondan buyon foydalanayotgani ma'lum emas. Qadimda odamlar jismlarning juda mayda bo'laklari xususiyatlari jismning o'zi xususiyatlariga nisbatan boshqacha bo'lishini bilishgan. Eramizning IV asrida qadimiy Rim shishasozlari yasagan shishalarining tarkibiga metall nanozarralari kiritilgan. Hozirgi kunda Britaniya muzeyida Edonlar qiroli Likurgning o'limini tasvirlovchi «Likurg qadahi» saqlanmoqda (2-rangli rasm). Olimlar bunday shishalarda o'lchami 50 nm atrofida bo'lgan 1% oltin va kumush, 0,5% marganets nanozarralari borligini aniqladilar. Agar bu qadah tashqaridan yoritilgan, yashilsimon rangga, yorug'lik manbasi ichkarida bo'lganda esa, to'q qizil rangga kiradi.

Qadahning bunday ajoyib va g'aroyib ranglar bilan tovlanishining sababi shishadagi metall nanozarralarining optik xususiyatlaridan ekanligi aniqlandi. Qadah ichkaridan yoritilganda, metallar-

ning nanozarralari yorug'lik spektrining ko'k va yashil qismini yutadi va qizil qismini ko'proq o'tkazadi, tashqaridan yoritilganda esa, ko'k va yashil nurlar qadahdan qaytadi. Hozirgi kunga qadar saqlanib qolgan o'rta asr ibodatxonalaridagi shisha vitrajlarining turli-tuman rangda jilvalanishi sababi ham shisha tarkibida metall nanozarralarining mavjudligidadir.

Eramizdan 300 yil muqaddam qadim hind ustalari tomonidan yaratilgan oliy nav po'lat Yevropada damashq (shom) po'lati nomi bilan mashhur bo'lgan. Shom po'lati va undan tayyorlangan qurollar Damashq shahri orqali Yevropaga tarqalganligi uchun unga shunday nom berilgan bo'lishi mumkin.



2-rasm. Damashq po'lati sirtining nanostrukturasi

Bu po'latdan yasalgan qurollar juda katta elastikligi (egiluvchanligi) bilan birga mustahkam va o'tkir bo'lib, po'lat sovut (kolchuga)ni ham kesa olgan.

Bunday afsonaviy qurollardan biri damashq xanjari 1095–1270-yillarda islom sivilizatsiyasini G'arbiy Yevropa ritsarlarining tajovuzkor «salib» yurishlaridan himoya qilishda muhim rol o'ynagan. Xanjarning bunday ajoyib xususiyatlari sirini Drezden universiteti olimlari ochishga erishdilar. Ular XVII asrda Hindistonda yasalgan haqiqiy shom xanjarini elektron mikroskop ostida tekshirib, uning ichida yaqindagina kashf etilgan uglerod nanonaylari (nanonay bilan keyinroq tanishasiz) bilan birga sementit (po'latni mustahkamlovchi – temir karbidi) nanotolalari borligini aniqladilar.

Bu nima? Qadim shishasoz va temirchilar ongli ravishda moddaning strukturasi yaxshi bilib, shunday ajoyib narsalarni bunyod qilganlarmi yoki munavvar intuitsiya ularning yo'lini yoritganmi? Balki, ular o'zlari bilmasdan turib, nanoob'yektlar bilan manipulyatsiya qilgandirlar?

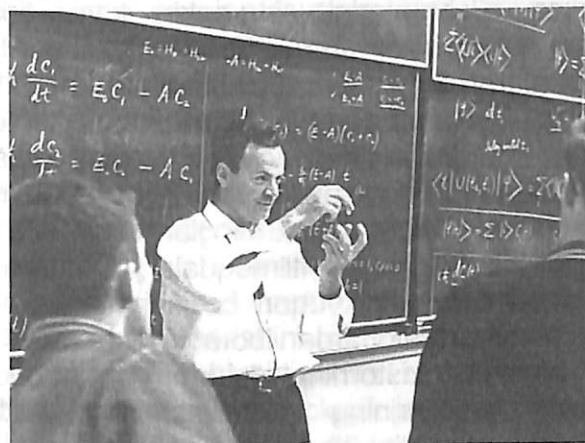
Nobel mukofoti laureati, yirik fizik Richard Feynman (3-rasm) nanotexnologiyalarning asoschisi, deb hisoblanadi.

U 1959-yil dekabr oyida Kaliforniya texnologiya institutida Amerika fiziklar jamiyatining yig'ilishida qilgan «Pastda hali ko'p joy bor (There's plenty of room at the bottom), yangi fizika dunyosiga taklif» nomli ma'ruzasida bashorat qilib, qator g'oyalarni oldinga surdi. Shulardan biri nanoo'lchamli qurilmalarni yig'ish va ular bilan ishlash mumkinligi to'g'risidagi g'oya edi.

Tabiatda mavjud barcha narsalarning xususiyatlari elementlar davriy jadvalidan o'rin olgan atomlarning turiga, ularning o'zaro joylashish tartibiga (yoki strukturasi) bog'liq bo'ladi. Shunday ekan, biz oldindan belgilangan xususiyatga ega bo'lgan ob'yektlarni atomlardan yig'ishimiz mumkin. Bunga tabiatda hech qanday to'siq yo'q.

Hozirgi kunda, bu g'oya skanlovchi elektron mikroskoplarda amalga oshirildi. (Bu haqda keyinchalik to'xtalamiz). Richard Feynmaning ta'kidlashicha, yer yuzasida hayot paydo bo'lganidan buyon biologik sistemalar uzluksiz ishlab turgan nanoqurilmalarni sintez qiladi. Biz bunday nanoqurilmalarni yaratishda tabiatdan juda ko'p yangi g'oyalarni olishimiz mumkin. Masalan, bizning tanamiz ham nanoob'yektlar bilan ajoyib ravishda ishlay oladigan qurilmalar – hujayralardan tuzilgan. Hujayralar butun hayotimiz davomida nanoob'yektlar bilan ishlaydi: turli atomlardan molekulalar va murakkab moddalarni to'plab,

ularni funksional vazifalariga mos ravishda o'z yadrosi, sitoplazmasi va membranasiga joylashtiradi. Bu jarayon DNK molekulasida «yozilgan» axborot asosida amalga oshadi. Agar biz odamning har bir hujayrasida uzluksiz amalga oshayotgan nanotexnologik jarayonlarini o'rganib, uni sun'iy ravishda qaytara olsak, insoniyat oldida misli ko'rilmagan imkoniyatlar ochilar edi.



3-rasm. R.Feynman ma'ruza paytida

Richard Feynman nanotexnologik inqilobning kompyuterlarni takomillashtirishdagi o'rni haqida to'xtaladi. Uning fikricha, agar elektr zanjirlarida ulovchi simlarning diametri 10 dan 100 atom kattaligida bo'lsa (yoki 1 dan 10 nm), har qanday sxemaning o'lchami bir necha yuz nanometr dan ortiq bo'lmas edi. Bunda kompyuterda ishlatiladigan elementlarning soni millionlab marta oshadi va o'z navbatida, EHM ko'rsatkichlarida o'ta muhim sifat o'zgarishi yuzaga keladi. Kompyuterlar mulohaza yuritish, tahlil qilish, o'z faoliyatiga baho berish va yangi hisoblash usullarini topish va boshqa imkoniyatlarga ega bo'lar edi.

Pasayib boruvchi (yoki «yuqoridan pastga») va ko'tarilib boruvchi (yoki «pastdan yuqoriga») texnologiyalar

Kichik strukturalarni shakllantirishning (masalan, mikroelektron qurilmalarni ishlab chiqarishda) keng tarqalgan usul – pasayib boruvchi yoki yuqoridan pastga texnologiyasi hisoblanadi. Bunda jarayon makroskopik ob'jekt yoki strukturaga ishlov berish va ularning o'lchamlarini asta-sekin kamaytirishdan boshlanadi. **Yuqoridan pastga** texnologiyasi yordamida nanoqurilmalarni tayyorlash uslublaridan keng tarqalgani – litografiya usuli hisoblanadi. Bu usul zamonaviy integral sxemalarni ishlab chiqarish jarayonlarining asosi hisoblanadi. Yangi elektron asbob – qurilmalarni ishlab chiquvchi olimlar va texnologlar kichik o'lchamlar dunyosiga kirib borishga intilmoqdalar. Elektron qurilmalarning samaradorligi yuqori bo'lishi uchun bunday tizim millionlab tranzistorlardan iborat bo'lishi zarur. 1947-yili kashf etilgan tranzistorning o'lchami 1 sm atrofida edi. Fotolitografiya usullarining takomillashtirilishi natijasida tranzistorlarning kattaligi 90-100 nm ga yetdi.

Fotolitografiyaning asosi geometrik optika bo'lganligi tufayli, bu usul yordamida ikki parallel to'g'ri chiziqni bir-biridan ajratish uchun yorug'lik to'lqin uzunligi yetarli darajada kichik bo'lishi shart.

Shuning uchun ham fotolitografiya yo'li bilan tayyorlanayotgan mikrosxemalar elementlarining o'lchamlarini kichraytirish uchun kichik to'lqin uzunligiga ega bo'lgan uzoq ultrabinafsha (UB) nurlaridan foydalaniladi. Yaqin kelajakda juda kichik to'lqin uzunligiga ega UB nurlari (11-13 nm) dan foydalanish mo'ljallanmoqda.

Shuni ta'kidlash joizki, bu yangi usulda an'anaviy optik elementlar (masalan, linzalar) dan foydalanib bo'lmaydi va bu maqsadda maxsus ko'zgulardan foydalanish zarur bo'ladi. Albatta, bu yangi texnologiya

juda murakkab va qimmatga tushadi. Masalan, 90-yillarning o'rtalaridayoq o'sha davr uchun yuqori hisoblangan texnologiyalarga asoslangan yarim o'tkazgich qurilmalarini ishlab chiqaruvchi zavodning narxi 1 milliard AQSh dollaridan oshgan edi.

Litografiya yordamida mikrosxemadagi elementlarni nanoo'lcham darajasiga keltirish uchun elektron nur litografiyasi ham qo'llaniladi. Bu usulda yorug'lik nurlari o'rnida elektron nuridan foydalaniladi. Ammo, bu usul ham qator texnik qiyinchiliklardan xoli emas.

Odatda, «yuqoridan pastga» texnologiyasi yordamida materiallarning o'lchamlari kichraytirilganda, ularning xossalari va xarakteristikalari o'zgarib qoladi, deb hisoblanadi. Amalda esa qurilmalarning qismlari bo'lib xizmat qiluvchi materiallarning o'lchamlari kichrayganda ishlab chiqarish sharoitlarining o'zgarishi bilan bir qatorda, ularning fundamental xossalari va funksional xarakteristikalari o'zgarishini ham hisobga olishga to'g'ri keladi. Albatta, nanoob'yektlar bilan ishlash makro, mikro-ob'yektlar bilan ishlash texnologik jarayonlaridan tubdan farq qiladi. Masalan, odatdagi zamonaviy tranzistorlar o'n milliard (10^{10}) dan bir trillion (10^{12}) gacha atomlardan iborat bo'lsa, nanotranzistor atigi mingta (10^3) atomni o'z ichiga oladi. Yaqin kelajakda tranzistorlarda atomlar soni yana kamayib, 100 atom atrofida bo'lishi kutilmoqda. Bunda atomlarning «individual»ligini hisobga olish shart. Demak, nanotexnolog – loyihachi nanotranzistorlarni eski mezonlar asosida ishlab chiqsa, kutilgan natijani bermasligi aniq. Tranzistorlarning tarkibiy qismlari past o'lchamli bo'lsa, loyihalashda klassik fizika qonunlari ishlamasligi va bu yerda kvant fizikasi qonunlaridan foydalanish zarurligini ham hisobga olish kerak. Aks holda, nanotranzistorlar yuklatilgan funksiyalarni bajarishga o'z bo'ladi.

Nanostrukturalarni yaratish konsepsiyalaridan yana biri «pastdan yuqoriga» deb nom olgan ko'tarilib

boruvchi texnologiyalardir. Molekulyar texnologiyalar deb yuritiluvchi bu texnologiya alohida atomlar va molekullarni yig'ish, birlashtirish va tartiblangan strukturalar qurishdan iborat.

Tabiatda «pastdan yuqoriga» texnologiyasi o'z-o'zidan amalga oshadi. O'z-o'zini shakllantirish (samo-organizatsiya) prinsipi tabiatda kuzatiladigan eng ajablanarli va sirli hodisalardan biridir.

Yerda birinchi tirik mavjudotlar qanday paydo bo'lgan? Hozirgi zamon fani Yerda hayot «o'z-o'zini shakllantirish» prinsipi yordamida vujudga kelganini uqtiradi. Ilmiy tajribalar tiriklik asosi hisoblangan oqsillar tarkibidagi eng sodda aminokislotalar Yerning ilk atmosferasi va gidrosferasida yashinlar ta'sirida paydo bo'lgan bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. Dezoksiribonuklein kislota (DNK) (17-rangli rasm) va ribonuklein kislotalarning (RNK) nukleotidlaridan biri adenin sinil kislotasidan ultrabinafsha (UB) nurlar ta'sirida hosil bo'ladi. Sovugan vulqon lavasi bilan aminokislotalarning aralashmasidan oqsillarning mikrosferasi topilgan. Nanokapsulaga o'xshash bu mikrosferalar hayotning eng dastlabki yadrosi bo'lishi mumkin.

Shu o'rinda go'zallik va sevgi xudosi hisoblangan Afrodita (qadimiy Rim afsonalarida esa Venera deb atalgan)ning tug'ilishi haqidagi qadimiy yunon afsonasini eslash joiz. Afrodita dengiz sirtida otasi Uranning bir tomchi qoni aralashgan oppoq ko'pikdan paydo bo'lib, Kipr orolining qirg'og'iga chiqqan. Hozirgi zamon fani nuqtai nazaridan qaralsa, bu afsonada haqiqat uchquni yo'q emas. Chunki dengiz ko'pigi – bu modda nanozarralarining suspenziyasidir. Bunday «nanoreaktorlar» dengiz va okeanlarning yupqa sirtidagi ko'piklarda «yashaydi». Faol nanozarralar «o'z-o'zini shakllantirish» natijasida dengiz sirtida hayotning ilk hujayralarini sintez qilgan bo'lsa, ajab

emas. M. V. Lomonosov nomidagi Moskva davlat universiteti biofiziklarining fikriga ko'ra, qadimiy okeanning yupqa qatlamida milliard yillar davomida evolyutsiya natijasida tirik mavjudotlarning prototipi hisoblangan protohujayralar hosil bo'lgan.

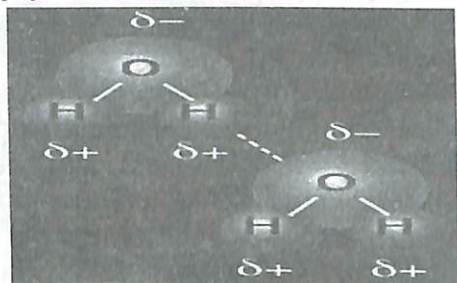
Oqsil kabi biologik molekullar (o'lchamlari 4 nm dan 50 nm gacha) barcha hujayralarning tarkibiy qismi bo'lib, tirik mavjudot va o'simliklar dunyosining asosidir (3-rangli rasm). Ular o'lchamlari 1 nm atrofida bo'lgan 20 turdagi aminokislotalarning har xil ketma-ketlikda yig'ilgan birikmalaridan iborat. Bu birikmalar yuzlab aminokislotalardan iborat bir-biri bilan mustahkam peptid deb ataluvchi kimyoviy bog'lanishga ega va ular uzun polipeptid zanjirni hosil qiladi. Shunday qilib, oqsil – polipeptid nanozanjiridan iborat nanozarradir. Bu nanozanjir qayrilishlar va o'ralishlar natijasida diametri 4 nm dan 50 nm gacha bo'lgan joyni egallaydi. Oqsil molekulasida tarkibidagi aminokislotalarning ketma-ket joylashish tartibi dezoksiribonuklein kislota (DNK) (17-rangli rasm) «yozilgan» bo'lib, uning nusxasi axborot ribonuklein kislota (i-RNK) tomonidan «ko'chirib» olinadi. Ribosoma molekullari RNK da saqlangan axborot asosida oqsilni sintez qiladi (4-rangli rasm). Bu jarayonda oqsilning tarkibiy qismi hisoblangan aminokislotalar bir-biriga qo'shiladigan joyga transport (t-RNK) molekulasida tomonidan yetkaziladi. O'z o'rnini egallagan har bir aminokislota undan oldingisi bilan osongina bog'lanadi. O'z navbatida, oqsillar bir-birlarini «tanib» o'zaro birlashadi va hujayralarni hosil qiladi. Bir molekulaning ikkinchi molekulani «tanib» o'ziga tortishi va u bilan bog'lanish qobiliyati, ko'pincha «molekulyar tanib olish» deb yuritiladi. «Molekulyar tanib olish»dan qurilish strategiyasi sifatida foydalanish mumkin.

Tabiatda uzluksiz ravishda sodir bo'layotgan tabiiy «nanotexnologiyalar» dan yana biriga to'xtalaylik.

Hammaga ayonki, ikkita vodorod va bitta kislrod

atomi suv molekulasini tashkil qiladi. Suv molekulari strukturasi zaryad taqsimoti shundayki, ular bir-birlari bilan vodorod bog'lanishi orqali birikadi. Shu tarzda suv molekularidan vodorod bog'lanishi yordamida kuchsiz o'zaro ta'sirdagi klasterlar paydo bo'ladi. Shunday qilib, suv molekulari uch molekulari (trimer), to'rt molekulari (tetramer) va besh molekulari (pentamer) klasterlarni hosil qiladi. Demak, bu klasterlar ham «molekulyar tanib olish» prinsipi asosida paydo bo'ladi, desak, xato qilmaymiz (4-rasm).

Keltirilgan misollardan ko'rinib turibdiki, molekularlar tashqaridan aralashuvsiz bir-birini «topib olishi» va noorganik, organik moddalar hamda oliy biologik organizm hujayralarini hosil qilishi mumkin ekan.



4-rasm.

Ikkita suv molekulasining molekulyar bog'lanishi.
 δ^+ va δ^- – musbat va manfiy zaryadlar

Barcha tirik tizimlarda tabiiy ravishda amalga oshayotgan «o'z-o'zini shakllantirish» va «o'z-o'zidan yig'ilish» jarayonlari nanofan va nanotexnologiyalarda o'zining analogiga ega. Bu yerda ham tabiatdagidek, amalda qo'llanish uchun muhim bo'lgan qurilmalarda ishlatiladigan nanosistemalarni kichik molekularlardan oldindan belgilangan kattalik va shaklga ega bo'lgan, turg'un hamda o'lchami yetarli darajada katta molekulyar komplekslar yoki agregatlarni shakllantirish «o'z-o'zidan yig'ilish» prinsipi yordamida amalga oshiriladi.

«Pastdan yuqoriga» prinsipi oldida turgan o'ta muhim masalalardan biri – molekularlarning o'z-o'zidan birlashishlari natijasida yangi materiallar va qurilmalarni olish uchun, ularni ma'lum tartibda guruh bo'lib to'planishga sharoit yaratish usulini topishdan iboratdir. Bu muammo bilan kimyo fani bo'limlaridan biri – supramolekulyar kimyo shug'ullanadi. Ushbu fan molekularlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlarini o'rganadi. Bu kuchlar, sust bo'lishiga qaramay, molekularlarni ma'lum tartibda joylashtirib, yangi moddalar va materiallarni hosil qilish imkoniga ega.

Zamonaviy nanotexnologlar foydali nanostrukturalarning «o'z-o'zidan yig'ilishi»ni ta'minlash maqsadida yetarli shart-sharoitlarni yaratishlari zarur. Masalan, kristallarni olishda harorat, inish (osajdenie) tezligi, takdon (podlojka)ga kelib tushadigan bir necha turdagi atomlar oqimlari zichligining bir-biriga nisbati kabi parametrlar to'g'ri tanlab olinsa, kristall o'z-o'zidan nuqsonsiz o'sadi.

«O'z-o'zini shakllantirish» yoki «o'z-o'zidan yig'ilish» prinsiplaridan har xil texnologik jarayonlarda foydalanilmoqda. Masalan, yaqinda IBM korporatsiyasi tarkibiy qismlari o'z-o'zidan yig'iladigan ilk integral chiplarni ishlab chiqarishni boshladi. Seagate kompaniyasi esa, o'z-o'zidan tartiblanadigan magnit zarralarini o'ta yuqori zichlikda yozilgan axborotni saqlovchi muhitni yaratishda qo'llamoqda.

Shunday qilib, nanosistemalarning ko'pchilik qismi «pastdan yuqoriga» prinsipi asosida amalga oshiriladi, shu sababli bu texnologiya ishlab chiqarishda juda muhim rol o'ynaydi.

Xulosa qilib aytganda, hozirgi kunda «yuqoridan pastga» texnologiyasi juda murakkab, qimmat va juda sekin amalga oshiriladigan texnologiyadir. «Pastdan yuqoriga» texnologiyasi esa juda katta imkoniyatlarga ega bo'lsa-da, hali sanoat darajasida keng tatbiq qilish uchun yetarli rivojlanmagan.

O'lcham effektlari

Makroskopik jismning o'lchamlari katta qiymatdan, masalan, santimetrdan, uzluksiz ravishda kichraytirilib borilganda avvaliga uning xossalari o'zgarishlar sezilmaydi. Biroq kichraytirish davom ettirilaverilsa, mod-da xususiyatlari sekin-asta o'zgarib boshlaydi. O'lcham-lari ma'lum bir kritik qiymatdan kamayganda esa jismlarning fizikaviy va kimyoviy xususiyatlari keskin o'zgaradi.

Jism yoki materialning tarkibiy tuzilish elementlari – zarrachalar, kristallitlar, kristallaviy donalar va boshqalarning o'lchamlari ma'lum bir kritik qiymatdan kamayganda ularning fizika-kimyoviy xususiyatlarini keskin o'zgarishi bilan bog'liq hodisalar majmuasi o'lcham effekti deb yuritiladi. O'lcham effekti ko'p jihatdan materialning termodinamik va kinetik xossalari, uning xarakteristik o'lchamlari va shakliga bog'liqligidan iboratdir. Tarkibiy tuzilish elementlari va uzunlik o'lchamiga ega fizik kattalik (masalan, magnit domenlari, elektronlarning erkin yugurish yo'li, debroyl to'lqini)larning o'lchamlari bir-biriga yaqin bo'lganda o'lcham effekti namoyon bo'ladi. Masalan, kristallarda bu effekt kristallaviy donalarning o'rtacha o'lchami 100 nm dan oshmaganda paydo bo'ladi va 10 nm dan kamayganda esa, juda aniq va ravshan kuzatiladi.

Jismning fizikaviy-kimyoviy xususiyatlari zarrachalar o'lchamiga bog'liqligini quyidagicha tushuntirish mumkin: Atomlardan tashkil topgan zarracha-klastr (nanozarra) larning radiusi kamayishi bilan, ularning sirtida joylashgan atomlarning ulushi hajmdagiga qaraganda oshib boradi. Kristall sirtidagi atomlar o'ziga xos sharoitda joylashadi. Ular asosan kristall ichidagi atomlar bilan o'zaro ta'sirga ega, chunki tashqaridan ularni zichligi juda kichik bo'lgan havo atomlari qurshab olgan. Atomlarni kristall panjarada saqlab turuvchi kuchlar ularni ichkariga tortib turadi. Kristallning temperaturasi oshishi bilan sirtida

va unga yaqin joylashgan atomlarning issiqlik energiyasi ham oshadi. Bu energiyaning miqdori atomlarni kristall panjarada ushlab turuvchi bog'lanish energiyasidan yuqori bo'lganda sirtidagi atomlar oldingi tartibni yo'qotadi va natijada kristall sirtida suyuqlik qatlami hosil bo'ladi. (Shunga o'xshash muz kristalli sirtida paydo bo'lgan suv qatlami muzni sirg'anchiq qiladi). Temperatura yanada oshishi bilan bunday qatlamlar soni ko'payib boradi. Hosil bo'lgan suyuqlik qatlamlarining qalinligi kristall qalinligining 1/10 qismiga yetganda kristall panjarasi to'la yemiriladi va kristall suyuqlikka aylanadi. Shuning uchun ham kristallarning o'lchami kamaygan sari erish temperaturasi pasayib boradi. Masalan, qalay nanozarralari diametri 8 nanometrgacha kamayganda uning erish temperaturasi 230°C dan 130°C gacha kamayadi. Nanozarra holatidagi oltin o'lchamining kamayishi uning erish temperaturasini 1064°C dan 564°C gacha kamaytiradi.

Endi kvant o'lcham effektlari haqida to'xtalaylik. Bu hodisani tushunish uchun fizikaga murojaat qilaylik.

Ta'biyki, yakka joylashgan atom qobig'idagi elektronlar o'z-o'zidan atomni tark etib, chiqib keta olmaydi. Kvant fizikasidan bilamizki, atomdagi elektronlar hamma tomondan chegaralanganligi tufayli, ularning energiyasi istalgan qiymatni qabul qila olmaydi va diskret qiymatlarga ega bo'ladi.

Atomlar bir-biriga yaqinlashib kristall panjarani hosil qilganida ularning tashqi qobig'idagi (valent) elektronlar ajralib chiqadi va kristall ichida ideal gaz molekulalariga o'xshash tartibsiz harakatda bo'ladi. Bu holda «erkin» elektronlarning atom tarkibida bo'lgandagi energiyalarining diskret sathlari yaqinlashib, zonalarni paydo qiladi. Shunday qilib, zonalar bir-biriga juda yaqin joylashgan elektronlar energetik sathlarining yig'indisidan iborat. Har qaysi zonada elektronlar energiyalarining qiymatlari uzluksiz ravishda o'zgaradi. Bunday zonalarning orasida taqiqlangan

zonalar joylashgan. Ruxsat etilgan va taqiqlangan energetik zonalarining bunday ketma-ket joylashishiga elektronlarning energetik spektri deb yuritiladi.

Endi, ko'z oldimizga uch o'lchamli, tomonlari 1 sm bo'lgan metallardan yasalgan kubni (3D-o'lchamli) keltiraylik (5a-rasm). Kubning bir tomonini qirqib va yo'nib 10 nm gacha kichraytiramiz. U holda kub qalinligi 10 nm, uzunligi va kengligi 1 sm dan bo'lgan yupqa qatlam hosil bo'ladi. Bunday qatlam ikki o'lcham(2D-o'lchamli)ga ega, chunki kubning uchinchi tomonining qalinligi 10 nm (nanoo'lchamli) hamda uni boshqa tomonlariga nisbatan nol deb hisoblashimiz mumkin (5b-rasm).

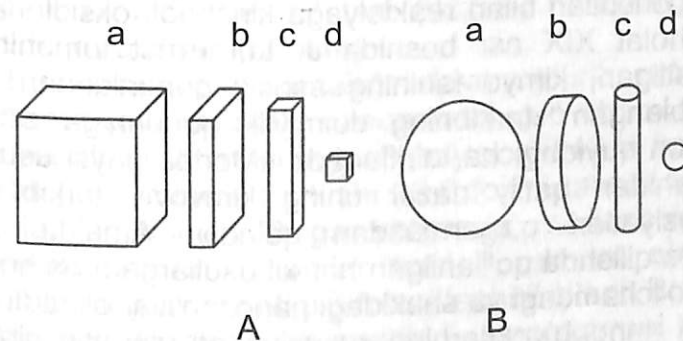
Biz hosil qilgan qatlamda elektronlarning harakati bir tomondan chegaralangan va ularning bu yo'nalishdagi energiyasi diskret qiymatlarni qabul qiladi. Elektronlar harakati yupqa qatlamning qolgan ikkala tomoni bo'yicha chegaralanmaganligi uchun ularning energiyasi avvalgidek uzluksiz bo'ladi. Ma'lum bir yo'nalishda elektronlarning energiyasi diskret qiymatlarga ega bo'lsa, shu yo'nalishda jismning xossalari kvant xarakter kasb etadi. Shuning uchun ham bunday yupqa qatlam «kvant o'rasi» deb yuritiladi (5b-rasm).

Mulohazamizni davom ettiraylik. Agar kubning ikkinchi tomonini ham kichraytirib, nanoo'lcham darajasiga keltirsak, elektronlar faqat bir tomonlama harakat qila oladilar. Qolgan ikki yo'nalishda esa elektronlarning harakati chegaralangan tufayli, energiyasi diskret qiymatlarga ega bo'ladi. Bunday nanostruktura (1D-o'lchamli) «kvant simi», «kvant sterjeni» yoki «kvant ipi» deb ataladi (5c-rasm). Nihoyat, agar kubning uchala tomoni ham nanoo'lchamda (0D-o'lchamli) bo'lsa, hamma yo'nalishlarda elektronlarning harakati chegaralangan va energiyasi diskret bo'ladi. Bunday nanotuzilma «kvant nuqtasi» deyiladi (5d-rasm). «Kvant nuqtasi» energiyasining diskretligi yakka joylashgan atomning diskret spektriga o'xshaydi. Shuning uchun ba'zan

«kvant nuqtasi»ni «sun'iy atom» deb ham yuritishadi. Nanomateriallardagi elektronlarning energetik spektrlaridagi bunday farqlar ularning mexanik, fizikaviy va kimyoviy xossalari xilma-xilligiga olib keladi.

Shunday qilib, kvant o'lcham effektlari jism yoki materiallarning elektron xususiyatlarida namoyon bo'ladi. Bu hodisa zaryad tashuvchilar harakati bir, ikki va uch tomondan chegaralanganda ular energiyasining kvantlanishi natijasida yuzaga keladi. Fizik kattaliklar – solishtirma elektr va issiqlik o'tkazuvchanliklar elektronlarning kristalldagi harakatigibog'liq. Elektronning bir to'qnashishdan ikkinchi to'qnashishgacha bosib o'tgan masofasi uning erkin yugurish yo'li deb yuritiladi. Agar nanozarraning diametri elektronlarning erkin yugurish yo'lidan kichik bo'lsa, elektron atomlar bilan to'qnashmasdan, hech qanday qarshilikka uchramasdan o'tadi. Elektronning bunday harakati ballistik rejimdagi harakat, deb yuritiladi. Bu holda maktabdan hammamizga tanish Om qonuni o'z kuchini yo'qotadi.

Bu effektlardan elektronika, optika va hisoblash texnikasi qurilmalarini ishlab chiqishda qo'llaniladi.



5-rasm. Yuqoridan pastga texnologiyasi: A va B – to'g'ri burchakli va dumaloq nanostrukturalar ketma-ketligi; a – makroskopik kub; b – kvant o'rasi; c – kvant simi(sterjni); d – kvant nuqtasi

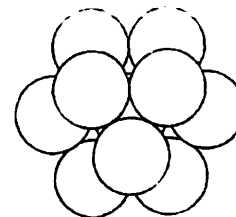
Nanoob'yektlarning kvant o'lcham effektlari bilan bog'liq bo'lgan yangi xususiyatlaridan nanotexnologiyalarda foydalaniladi.

Ma'lumki, jismning sirti va hajmining xususiyatlari bir-biridan katta farq qiladi. Mashhur fizik Wolfgang Pauli «Sirtni shayton yaratgan» degan iborasi haq ekanligiga ko'p olimlar ishonch hosil qildilar. Oldin uqtirganimizdek, nanoob'yektlarning sirtida joylashgan atomlarning ulushi hajmdagi atomlar ulushidan katta. Shuning uchun ham nanozarralarning diametri qancha kichik bo'lsa, ularning kimyoviy aktivligi (faolligi) shuncha yuqori bo'ladi va bu holat ularning xossalarini odatdagi makroskopik jismlarnikidan farq qilishiga olib keladi.

Modda nanoo'lcham darajasiga o'tganda uning fizikaviy va kimyoviy xossalari keskin o'zgarishini oltin misolida ko'rib chiqaylik. Oltin nanoo'lcham darajasiga o'tganda, uning erish temperaturasi oldingi holatga qaraganda besh yuz oltmish to'rt gradus selsiygacha kamayadi va diametrining kichrayishiga qarab sariq rangdan amalda istalgan rangga – qizil, to'q qizil, ko'k, yashil, havorang va boshqa ranglarga o'zgaradi hamda u o'zining asl metallik xususiyatlarini yo'qotib, atrof-muhit komponentlari bilan reaksiyaga kirishadi, oksidlanadi. Bu holat XIX asr boshida J. Lui Prust tomonidan o'rnatilgan, kimyo fanining asosiy qonunlaridan biri hisoblangan «tarkibning doimiylik qonuni»ga ziddir. Qonun quyidagicha ta'riflanadi: «Modda qaysi usulda olinishidan qat'iy nazar uning kimyoviy tarkibi va xususiyatlari o'zgarmasdan qoladi». Amalda esa sintez qilishda qo'llanilgan har xil usullarga mos holda turli o'lchamdagi va shakldagi nanozarralar olinadi. Bu holat nanoob'yektlarning xususiyatlari ularning sintez qilinish usullariga bog'liqligini ko'rsatadi.

Yana oltin misolida nanotexnologiyalarning ba'zi bir o'ziga xos prinsiplar xususiyatlariga to'xtalaylik. Ko'pchilik olimlarga ma'lumki, agar kimyoviy birikmalar

10, 100 yoki 1000 ta atomdan tashkil topgan bo'lsa, ularning xususiyatlari bir-biridan va birinchi navbatda, yakka joylashgan atomlardan farq qiladi. Albatta, bu birikmalar makroskopik jismdan tubdan farq qiladi.



**6-rasm. 13 ta
oltin atomidan
iborat nanozarra
(klaster)**

Fikran, atomlardan oltin nanozarrasini yig'aylik. Buning uchun oltin atomini olib, uning hamma tomonlariga boshqa oltin atomlarini zich qilib joylashtiraylik. Bu holda, markaziy oltin atomi atrofida 12 ta oltin atomidan iborat qatlam jips joylashadi.

Tomonlari uch atomdan iborat kub hosil bo'ladi. Oltin atomining diametri 0,288 nm ga tengligini hisobga olsak, biz hosil qilgan 13 ta oltin atomlaridan iborat kub shaklidagi oltin nanozarrasining diametri 0,86 nm ga teng. Chunki kubning har qaysi tomonida uchtdan oltin atomlari joylashgan ($0,28 \times 3 = 0,86$). Kubni tashkil qilgan 13 atomdan 12 tasi (92,3%) nanozarraning sirtida joylashgan (6-rasm).

Bu operatsiya (muomala)ni davom ettirib, uchinchi qatlamni joylashtirsak, nanozarraning o'lchami 2 nm ga yetadi va atomlarning umumiy soni 147 ta bo'ladi. Sirtidagi atomlarning ulushi 62,6 foizni tashkil qiladi. Qatlamlar soni 100 ga yetganda, nanozarraning diametri 29 nm, atomlar soni 3 mln va sirtidagi atomlarning ulushi atigi 3 foizni tashkil qiladi. Bunday nanozarra klaster, deb yuritiladi. Nanozarrani yangi qatlamlar bilan qoplaganimizda, atomlar soni qator qiymatlarga ega bo'lgan klasterlarni hosil qilamiz. Bu sonlar: 1, 13, 55, 147, 309, 561, ... struktura sehrli sonlari deb yuritiladi. Bu sehrli sonlar klaster struk-

turasiga bog'liq bo'ladi. Shunday qilib, nanozarraning o'lchami qancha kichik bo'lsa, sirtida joylashgan atomlarning ulushi shuncha katta bo'ladi.

Nanozorra tarkibidagi atomlarning energiyasi yakka joylashgan atomlarning energiyasiga nisbatan kam bo'ladi. Atomlardan nanozorra paydo bo'lganda energiya ajralib chiqadi. Nanozarradagi atomlar orasida o'zaro ta'sir kuchlari paydo bo'ladi. Sirtidagi atomlar faqat ichkaridagi atomlar bilan bog'langan bo'lib, tashqarida koordinatsion o'rin (valentlik) bo'sh bo'lib, tashqi muhitning komponentlari bilan bog'lanish imkoniyatiga ega. Shuning uchun ham nanozarralar yuqori kimyoviy aktivlikka ega. Nanozarralarning bu xususiyatidan kimyoviy reaksiyalarni tezlatishda katalizator sifatida foydalanilmoqda. Yaqin kelajakda, platina va palladiy kabi qimmatbaho katalizatorlar o'rnini nanozarralar egallashiga shubha yo'q.

Kimyogarlar eritmada yakka atomlarni olishni o'rgandilar. Yakka joylashgan atom katta energiya va juda katta reaksiya qobiliyatiga ega. Bunday atomlarni turg'unlashtirish (stabillashtirish) zarur. Buning uchun esa ularga «to'n» kiydiriladi. «To'n» rolini organik molekullar – ligandlar o'ynaydi. Ligandlar metall atomlari bilan reaksiyaga kirishib, ularning energiyasini kamaytiradi. Natijada bu atomlar boshqa metall atomlari bilan birlashmaydi. Bundan tashqari kimyogarlar bir-biri bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'langan ikki, uch va undan ko'proq metall atomlari va ularni o'rab turgan ligandlardan iborat birikmalarni olishga ham erishdilar. Bunday nanozarralar klasterlar deb ham yuritiladi.

Nanotexnologiyalar vositalari

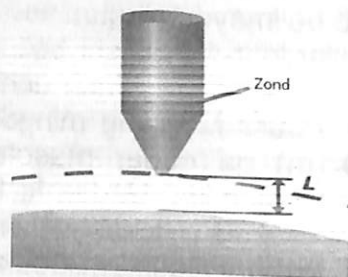
Nanostrukturalarni ilmiy tadqiq qilish, yangi nanomahsulotlarni ishlab chiqish, nanotexnologik jarayonlarni va ularning natijalarini nazorat qilish

kabi ishlarni jiddiy eksperimental asbob va maxsus uskunalarsiz amalga oshirib bo'lmaydi, albatta.

O'lchamlari metrning milliarddan bir ulushi bo'lgan mitti ob'yektlarni o'lchash va ular bilan ishlash uchun qanday asbob va vositalar zarur? Metrning mingdan bir ulushi – millimetr (10^{-3} m) ga qadar masofani oddiy chizg'ich orqali o'lchash mumkin. Undan kichik o'lchamdagi ob'yektlarni ko'rish va o'lchash uchun esa ularni kattalashtirish lozim. Optik mikroskop orqali diametri 0,25 mikron (yoki 250 nm) bo'lgan predmetlarni ko'rish mumkin. Mikroskoplarni uzluksiz ravishda takomillashtirish elektron mikroskopni kashf qilishga olib keldi. Elektron mikroskop orqali o'lchami nanometr ga teng ob'yektlarni, masalan, nanozarralarni kuzatish mumkin. Zamonaviy elektron mikroskoplar qattiq jismlarning kristall panjarasidagi atomlarni ko'rish imkonini bersada, undagi aralashmalar va boshqa nuqsonlar (defekt) ko'rinmaydi. Nanofan va nanotexnologiyalar uchun ob'yektlarning atom va molekullarini ko'rish, hamda ularni o'lchash o'ta muhim hisoblanadi.

Bugungi kunda atomlarni ko'rishning o'zi yetarli emas. Atomlar materiallarning sirtida qanday joylashgan? Ularni «sezish» va joyidan qo'zg'atish mumkinmi? Atom va molekullar bilan manipulyatsiya qilish mumkinmi? Bu savollarga javob berishga harakat qilaylik.

Ko'zi ojiz odam hassasi bilan paypaslab past va balandlikni payqaydi, qanday to'siqqa uchraganini yaxshi sezadi. Zarur bo'lganda, to'sqinlik qilayotgan narsani hassasi bilan siljitib, o'ziga yo'l ochishi ham mumkin. Atomlarni «paypaslash»da olimlar va texnologlar skanlovchi zondli mikroskop (SPM – Scanning Probe Microscopy)dan foydalanadilar. Bu mikroskopning ishlash prinsipi bilan tanishaylik (7-rasm).



**7-rasm. Skanlovchi zondli
mikroskopning ishlash
sxemasi**
(L – zondning uchi bilan
o'rganiladigan ob'yekt
orasidagi masofa)

Skanlovchi zondli mikroskopning asosiy qismlaridan biri uning zondi sanaladi. Zond – mikroskopik o'lchamdagi juda sezgir igna shaklidagi shchup (paypaslagich) bo'lib, o'rganilayotgan materialning sirti bo'ylab uyoq-buyoqqa borib keladi (skanlaydi) va sirdagi atom o'lchamidagi g'adir-budirlarni qayd qiladi.

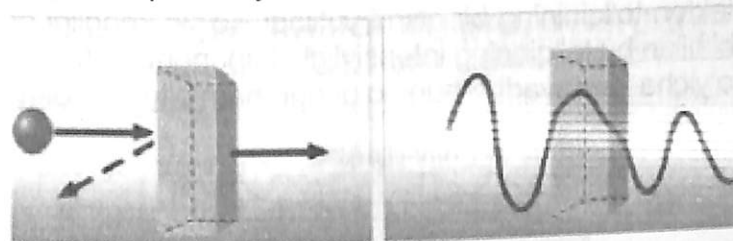
Shunday qilib, skanlovchi zondli mikroskop orqali istalgan material sirtining topologiyasi yoki relyefini o'rganish mumkin.

Sirtni skanlash yetarli darajada oddiy fizik prinsipga asoslangan. Shchupning o'tkir uchi (ignasi) sirtida joylashgan atomlarni «sezadi». Sirt va igna bir-biriga qancha yaqin kelsa, «sezish» shuncha kuchli bo'ladi. Ular juda yaqinlashganda igna uchidagi atomlar bilan sirtida joylashgan atomlar o'rtasida atomlararo kuchlar paydo bo'ladi. Bu kuchlar shchupning holatini o'zgartiradi va bu o'zgarish juda sezgir detektorlar tomonidan qayd qilinadi.

Shchupning holatini o'zgarishi (masalan, egilishi)ga qarab, sirtning relyefi o'rganiladi. Qisqasi, SPM ning zondi ko'zi ojiz odamning hassasidek sirtni ko'r-ko'rona «paypaslaydi».

Hozirgi kunda, skanlovchi zondli mikroskoplar orasida eng muhimlari skanlovchi tunnel mikroskopi (STM – Scanning Tunneling Microscopy) va atom-kuch mikroskop (AFM – Atomic Force Microscopy)

lari hisoblanadi. Skanlovchi tunnel mikroskop 1981-yili, IBM korporatsiyasining Syurix bo'limi xodimlari



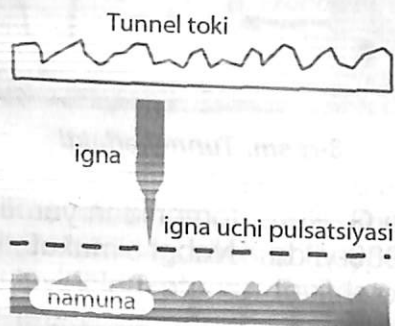
8-rasm. Tunnel effekti

G. Binin va G. Rorer tomonidan yaratildi. Kashfiyot mualliflari 1986-yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar. Bu kashfiyot nanotexnologiyalarning eksperimental rivojlanishi erasini ochib berdi va nanometr o'lchamdagi ob'ektlarni keng tekshirish imkonini yaratdi.

Skanlovchi tunnel mikroskop kvantomexanik effekt hisoblangan tunnel effektiga asoslangan (8-rasm).

Bu effekt klassik fizikada o'z analogiga ega emas. Klassik fizikaning qonunlariga ko'ra, har qanday jismning energiyasi biror to'siq (barer)ning poentsial energiyasidan past bo'lsa, undan o'ta olmaydi. Masalan, tosh juda baland devor (to'siq) tomonga yetarli darajada yuqoriga otilmasa, u devordan oshib o'ta olmaydi. Agar, jism o'rnida elektron bo'lsa, uning energiyasi to'siq (masalan, potentsiallar farqi)ning potentsial energiyasidan kam bo'lsa ham, ma'lum bir ehtimollikda, to'siqning orqa tomoniga (teshik yoki tunneldan o'tgandek) o'ta oladi. Elektron zarracha deb qaralganda, bu hodisani tushunish qiyin. Kvant fizikasiga asosan, elektron bir vaqtning o'zida ham zarracha (korpuskula) ham to'lqin xususiyatlariga ega. Xuddi shu tariqada, har qanday to'lqinni ham zarracha deb qarashimiz mumkin. Yorug'lik to'lqini uchun bunday kvazizarracha ko'pchilik uchun tanish bo'lgan – «foton»dir. Bu hodisa korpuskulyar – to'lqin dualizmi deb

yuritiladi. Elektron to'liqin deb qaralganda, uning to'siqdan o'ta olishini tushunish oson (8-rasm). To'siqdan o'tganda elektron to'liqinining bir qismi yutiladi. To'siq kengligi oshishi bilan bu to'liqinning intensivligi eksponentsial funktsiya bo'yicha kamavadi. Shuning uchun ham o'tgan elektron-



9-rasm. Skanlovchi tunnel mikroskopning ishlash prinsipi

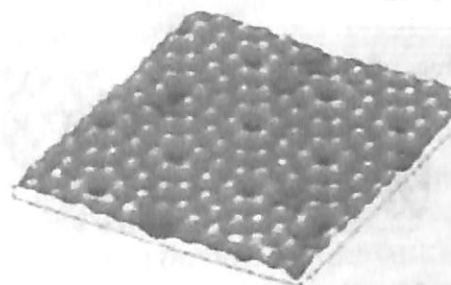
larning soni to'siqning kengligiga bog'liq bo'ladi. To'siqdan o'tgan elektronlar tunnel tokini hosil qiladi. Shuni ta'kidlash zarurki, bu mikroskop tunnel effektiga asoslanganligi tufayli elektr tokini o'tkazuvchi ob'ektlardagina qo'llanishi mumkin.

Skanlovchi tunnel mikroskopda zond sifatida uchi juda ingichka igna ishlatiladi (9-rasm). Ignaning uchi kuchlanish manbaining musbat qutbiga ulanadi va o'rganiladigan sirtga bir nanometrgacha (10 angstrom) yaqinlashtiriladi. Bunda sirt atomlariga tegishli elektronlar musbat zaryadlangan ignaning uchiga qarab «sakraydilar» va kuchsiz tunnel tokini hosil qiladilar.

Bu mikroskopda skanlovchi zondli mikroskopdagidek, shchup ignasining holati emas, balki tunnel toki qayd qilinadi. Bu tok igna uchi bilan sirt orasidagi masofaning o'zgarishi bilan katta tezlikda (eksponentsial bo'yicha) o'zgaradi. Masalan, bu masofa 15 dan 8

angstromga kamayganda tunnel toki minglab marta oshadi.

Igna sirt bo'ylab harakat qilganda, sirtning g'adirbudirligiga mos ravishda igna bilan sirt orasidagi masofa o'zgarib boradi.



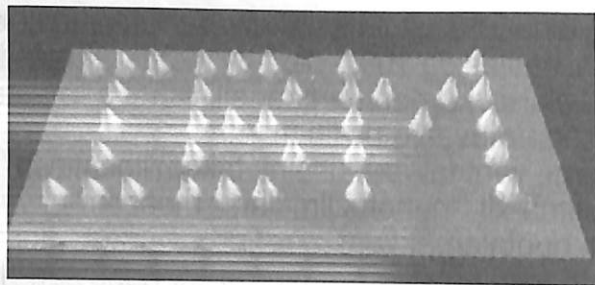
10-rasm. Kremniy sirtining skanlovchi tunnel mikroskopda olingan tasviri

Masofaning o'zgarishi esa, tunnel tokining o'zgarishiga olib keladi. Shunday qilib, qayd qilingan tunnel tokining o'zgarishiga qarab, metall takdoni sirtining relyefini (yoki bu sirtida atomlarning qay tarzda joylashganini) katta aniqlikda o'rganish imkoniga ega bo'lamiz.

10-rasmda kremniy monokristali sirtining skanlovchi tunnel mikroskopda olingan tasviri ko'rsatilgan.

Skanlovchi tunnel mikroskop metall takdoni sirtining relyefini va unda joylashgan atomlar va molekullarni ko'rish bilan birga, atomlar bilan manipulyatsiya qilib, ularni bir yerdan ikkinchi yerga siljitish va xohlagan ketma-ketlikda joylashtirish imkoniga ham egadir (11-rasm).

Agar biz siljitmoqchi bo'lgan atom metall takdoni sirtidagi boshqa atomlar bilan kovalent bog'lanish orqali birkirilgan bo'lsa, igna uchidagi elektr maydonining kuchi bu bog'lanishni uzishga yetarli bo'ladi. Natijada bunday atom ignaning uchiga o'tadi. Keyin esa, STM ning ignasi sirtning boshqa kerakli yeriga olib boriladi va igna bilan sirt orasidagi kuchlanishning



12-rasm.

Nikel plastinasi sirtiga 35 ta ksenon atomlaridan yig'ilgan IBM abbreviaturasi

Elektr tokini o'tkazmaydigan materiallar bilan manipulyatsiya qilish uchun skanlovchi zond mikroskoplarining yana bir turi hisoblangan atom-kuch mikroskop (AFM – Atomic Force Microscopy) dan foydalaniladi.

Bu tipdagi birinchi mikroskop 1986-yilda IBM kompaniyasining Syurix bo'limida G. Binning, X. Gerber, va S. Kvaytlar tomonidan yaratildi. Bu mikroskop nano-ob'yektlar bilan ishlashda qo'shimcha imkoniyatlarni yaratdi.

Atom – kuch mikroskopining STM dan farqi faqat tunnel tokining o'rnida sirt bilan igna orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari qayd qilinadi. Agar igna zond o'rganiladigan sirtga bir necha angstrom masofaga yaqinlashtirilsa, igna uchidagi atomlar bilan sirtga joylashgan atomlar orasida Van - der - Waals deb ataluvchi o'zaro tortilish kuchi paydo bo'ladi. Bu kuch ta'sirida igna va sirt bir-biriga yaqinlasha boshlaydi. Bu yaqinlashish sirt va igna uchidagi atomlar qo'big'ida joylashgan manfiy zaryadli elektronlar orasida paydo bo'lgan elektrostatik itarish kuchlari tomonidan to'xtatiladi. Shunday qilib, ignaning sirtga yaqinlashishi va uzoqlashishiga qarab, sirtning relyefi yoki g'adir-budurligi qayd qilinadi. Bu mikroskop

yordamida faqat sirtning topografiyasinigina emas, balki zond va material sirtining o'zaro elektrostatik va magnit ta'sirlari hamda sirtning magnit va elektron strukturalarini o'rganish mumkin. Bu usul yordamida sirtning potentsiali va elektr sig'implari taqsimotini ham aniqlash mumkin.

AFM ning zondi atomlarni mexanik ravishda siljitib, umumiy o'lchami 100 nm va ishlash sohasining kattaligi 60 nm ga ega MOP (metall - oksid - poluprovodnik (yarimo'tkazgich) – tranzistorlar olindi. Bu hol AFM yordamida yangi tipdagi nanolitografiyani ishlab chiqishga imkon yaratadi.

STM va AFM lar yordamida nanosxemalar va nanoasboblarni yig'ishni mexanik sintez yoki mexanosintez, deb yuritish mumkin. Ayni paytda mexanosintez usullari o'z rivojining ilk pog'onasida desak, xato qilmaymiz.

Bu usullarni sanoatda ishlab chiqarish darajasiga yetkazish uchun hali juda ko'p muammolarni yechishga to'g'ri keladi.

Hozirgi kunda bu mikroskoplardan tashqari yaqin maydonli optik mikroskop, magnit – kuch mikroskopi va boshqa turli mikroskoplardan keng foydalanilmoqda.

Skanlovchi zondli mikroskoplaridan tashqari xilma-xil nanomanipulyatorlar ishlab chiqilmoqda. Nanotexnologiyalar va nanobiotexnologiyalar sohalarida uglerod nanonayidan tayyorlangan nanomanipulyatorlar, nanoigna, nanopintset (shu jumladan, optik nanopintset), nanoshprits, nanoskalpellar, hamda nanotarozilar mavjud yoki yaqin orada foydalanish uchun tayyor bo'ladi.

Nanomateriallar

Oldin uqtirilganidek, kundan kunga nanomateriallar an'anaviy materiallarni iste'moldan siqib chiqarmoqda. Yuqori texnologiya – nanotexnologiya yordamida

barpo etilayotgan nanomateriallar hozirgi kunda keng ishlatilayotgan materiallardan arzon, yengil va mustahkamdir. Ular o'zlarining fizikaviy, kimyoviy va mexanik xususiyatlari jihatidan odatdagi materiallardan g'oyat ustun turadi.

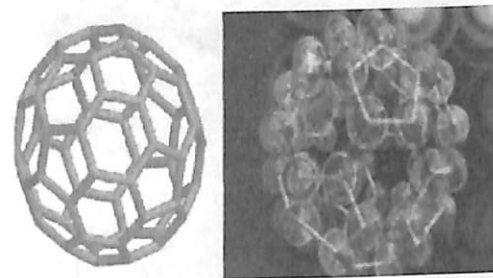
Oldin nanomateriallarni ta'riflagan edik. Endi eslaylik: «Agar barcha ob'yektlar, moddalar yoki ularning kompozitsiyalari tarkibiy elementlarining o'lchami 1-100 nanometr orasida bo'lsa, bunday materiallar nanomateriallar deb yuritiladi».

Hozirgi kunda nanomateriallar quyidagicha tasniflanadi: nanozarralar va nanokukunlar; nanokovakli qattiq jismlar; nanonay va nanotolar; nanodispers materiallar; nanokristall materiallar; nanostrukturlangan sirtlar va yupqa qatlamlar.

Ma'lumki, uglerod bog'lanishlarining noyob va xilma-xil tabiati uglerod atomiga juda ajoyib va g'aroyib birikmalarni hosil qilishiga imkon beradi. Sayyoramizdagi hayotning asosi ham uglerod atomlarining murakkab organik molekulalarni hosil qilish qobiliyati bilan bog'liq.

Uglerod birikmalaridan biri grafitni bilmagan kishi bo'lmasa kerak. Oddiy qalamlarning sterjeni (toshqalami) grafitdan qilingan. Grafit yupqa qatlamlardan iborat bo'lib, bir dasta qog'ozni eslatadi. Qatlamlardagi har qaysi uglerod atomi o'ziga eng yaqin uchta uglerod atomlari bilan kuchli kovalent bog'lanishga ega va ular to'g'ri oltiburchakning uchlarida joylashgan. Atomlarning bu tarzda joylashuvi geksagonal strukturani hosil qiladi. Atomlar orasidagi masofa 0,14 nm ni tashkil qiladi. Qatlamlar orasida esa, ancha sust hisoblangan molekulyar Van-der-Vaals kuchlari mavjud. Bu o'zaro ta'sir kuchlari qatlamlarni bir-biridan 0,33 nm masofada ushlab turadi. Qatlamlararo kuchlar sust bo'lgani uchun ham qalamda yozganimizda grafit qatlamlari bir-biriga nisbatan siljiydi va osongina ajraladi va o'zidan iz qoldiradi.

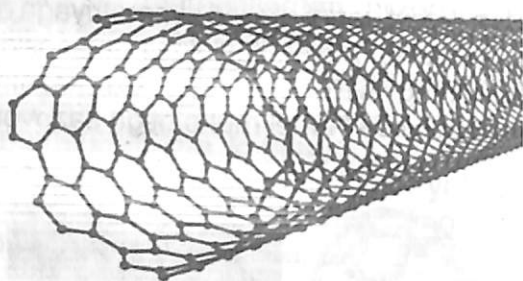
1985-yili R. Kerl, G. Kroto va R. Smolli 60 ta uglerod atomlaridan iborat yangi, yuqori simmetriyaga ega bo'lgan birikmani – fulleren molekulasini tajriba asosida topishga erishdilar. Uning simvoli – C_{60} . Bu kashfiyot uchun mualliflar 1996 yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar.



13-rasm. Fulleren molekulasini strukturasi

Fulleren uglerodning, hozirgi kunda ma'lum bo'lgan, sakkizdan ortiq allotropik formalaridan biridir. Fulleren diametri 1 nm atrofidagi sfera shaklida bo'lib, karkas tuzilmaga ega (13- rasm).

Grafitning bir qatlamini o'rab, sharcha hosil qilsak, u fullerenga o'xshaydi. Hisoblab ko'rish mumkinki, yopiq sferik sirtni hosil qilish uchun oltiburchaklardan tashqari beshburchaklar ham bo'lishi zarur. Shuning uchun ham, fullerenning sirti 12 ta beshburchakli va 20 ta oltiburchakli «yamoq»lardan iborat bo'lib, futbol to'piga juda o'xshaydi. Fulleren molekulasini nanoklasster, nanozarra, deb ham yuritiladi. AQSh arxitektori Bak-minster Fuller loyihalashtirgan binolarning qubbasini sfera shaklida bo'lib, xuddi fullerenga o'xshash besh va olti burchakli elementlardan iborat. Shuning uchun ham yangi kashf etilgan uglerod birikmasiga «fulleren» nomi berildi.



14-rasm. Uglerod nanonayi

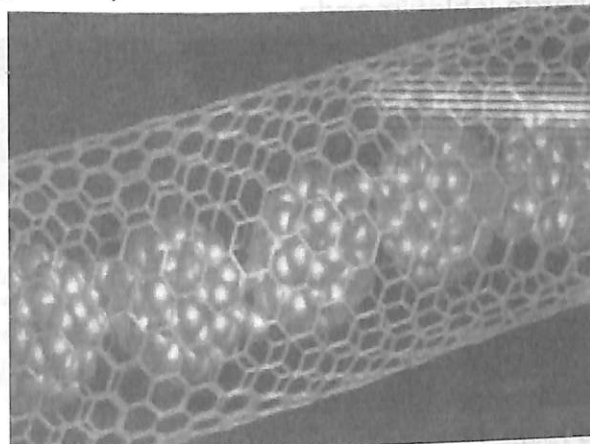
Shuni qayd qilish joizki, 1992-yili tabiiy mineral – shungit tarkibida tabiiy fulleren topildi.

Olimlar fullerenning boshqa, simmetriyasi yuqori bo'lmagan turlarini ham sintez qilishga erishdilar. Bu birikmalarda 36 dan 540 gacha uglerod atomlari joylashgan.

Hozirgi kunda fullereni o'ta muhim yo'nalishlar – nanoelektronika, tibbiyot, va texnikaning juda ko'p sohalari (masalan, sun'iy olmos sintez qilish, yangi elektron asboblari, kvant kompyuterlari elementlari, to'qimalarni radiatsiyadan saqlash va h.z.)da qo'llash mo'ljallanmoqda.

Dunyoda nanomateriallarga bo'lgan qiziqishlar fulleren va fullerenga o'xshash uglerod birikmalarining kashf qilinishi tufayli keskin oshdi. Yapon olimi Sumio Iijima 1991-yili fulleren nanozarralarini sintez qilish jarayonida silindrsimon shakldagi uglerodning yana bir allotropik formalaridan birini topdi. Bu tuzilmaga nanonay nomi berildi. (14-rasm) Agar grafitning qatlamlaridan biri naysimon qilib o'ralsa, nanonay hosil bo'ladi. Uglerod atomlari nanonayning devorida to'g'ri oltiburchakning uchlarida joylashgan. Uning diametri 0,4 nm dan bir necha nm gacha, uzunligi esa 40 mikrometrgacha yetadi.

Faqat bir qatlamli emas, balki bir necha qatlamli va spiral tuzilmaga ega nanonaylar ham sintez qilingan (5-rangli rasm).

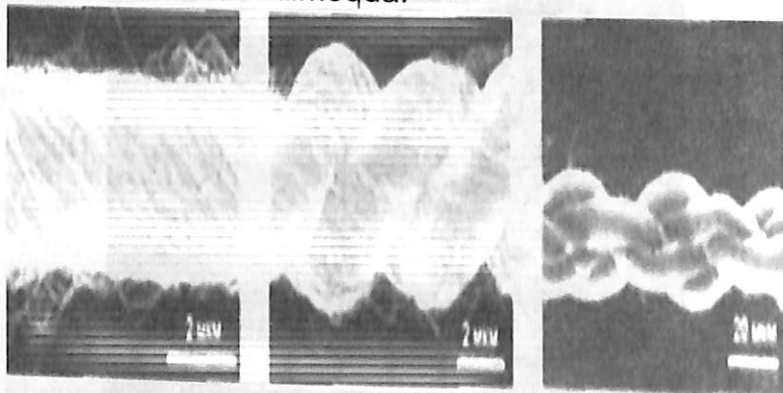


15-rasm. Nanonay ichida kimyoviy birikmalar

Nanonayning kovak ichiga boshqa jismlar atomlari va kichik molekulalarini joylashtirish mumkin (15-rasm). Tabiat va insonga zarar keltiruvchi moddalar nanonay ichida yuzlab yillar xavfsiz saqlanishi mumkin.

Hozirgi kunda nanonayning ichida yoqilg'i uchun mo'ljallangan vodorodni saqlash ustida olib boriladigan ishlar ijobiy natija bermoqda. Tibbiyotda nanonaydan konteyner sifatida foydalanish ham mumkin. Uning kovak ichiga zarur dorilarni joylab, organizmning istalgan qismiga yetkazish mumkin. Nanonay odam sochidan 80 000 marta yuqori bo'lishiga qaramay, yuqori sifatli po'latdan 50-60 marta mustahkam va zichligi esa olti barobar kam. Nanonaydan tayyorlangan tolalar (16-rasm) 100 GPa (gegapaskal)gacha bosimga bardosh bera oladi, bu ko'rsatkich esa odatdagi uglerod tolalariga nisbatan yuzlab marta yuqoridir. Shuning uchun

ham nanonaylarni o'q o'tmaydigan jilet (bronejilet) va kaska, avtomobillar bamperlari, hamda seysmobardosh binolarni qurish uchun tayyorlanadigan materiallarda ishlatilmoqda.



16-rasm. Uglerod nanonaylaridan olingan har xil o'ralgan iplar

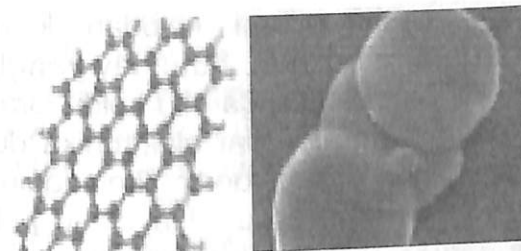
Nanonaylar faqat mustahkamgina emas, balki elastik va uzilmasdan egilish xususiyatiga ega. Nanonay burilganda uning elektr xususiyatlari o'tkazgichdan yarim o'tkazgichga qadar o'zgaradi. Nanonaylarning bu ajablanarli xususiyatlari ularni ishlab chiqarishning juda ko'p sohalarida keng qo'llash imkonini beradi. Masalan, nanonaylardan yuqori haroratga bardoshli sun'iy mushaklarni olish yo'lga qo'yilmoqda. Bu mushaklar bir xil hajmdagi tabiiy biologik mushaklardan o'nlab marta kuchli bo'ladi.

AQSh aeronavtika va kosmosni tekshirish Milliy boshqarmasi (NASA) yaqin kelajakda nanonaylardan yasalgan tros yordamida kosmik lift qurishni mo'ljallamoqda. Chunki, hozirgi kunda 1 kg yukni raketa orqali orbitaga chiqarish uchun 30-40 ming AQSh dollari sarf qilinsa, kosmik lift orqali esa bu xarajat 1000 dollardan oshmaydi. Liftning qurilishi uchun 10 mlrd. AQSh dollari atrofida mablag' sarflanadi.

Elektron qurilmalarni miniaturalashtirish pastki chegarasi – funksional qurilma elementi sifatida

molekulalar va kvant nuqtalari (nanozarralar)dan foydalanishdan iboratdir.

Molekulyar elektronikada qo'llash uchun eng istiqbolli material nanonaydir. Demak, nanonaylar kelajakda integral sxemalarning yangi avlodini yaratishning asosi bo'la oladi.



17-rasm. Grafen

Hozirgi kunda nanonaylar asosida 18 nm kattalikdagi nanotranzistorlar ishlab chiqilgan (21-rasm).

Yana grafitga qaytaylik. Grafit qatlamlari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari sust bo'lsa, qatlamlarni bir-biridan ajratish mumkinmikan? U holda biz bir atom qalinligidagi qatlamga ega bo'lgan bo'lardik!

2004-yili Manchester universiteti (Buyuk Britaniya) olimlari Andrey Geym va Konstantin Novoselovlar grafitdan shunday alohida atom qatlamni ajratishga muvaffaq bo'ldilar (17-rasm). Bu kashfiyot uchun ular 2010-yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'lishdi. Grafen deb nomlangan bu birikma asalarining mumkatagiga o'xshaydi va bunda uglerod atomlari to'g'ri oltiburchaklarning uchlarida joylashgan (geksagonal tuzilma). Grafen hozirgi kunda eng yupqa, mustahkam va elastik nanomaterial hisoblanadi. Elektr tokini mis kabi yaxshi o'tkazadi. Issiqlikni o'tkazish qobiliyati bo'yicha grafendan yaxshi material yo'q. Bu material uglerod atomlarining juda zich joylashganlariga qaramay shaffofdir. Mikroskopik

ob'yektlarning massasini katta aniqlikda o'lchash uchun grafendan nanotarozi yasash mumkin.

Grafening qalinligi o'ta yupqa bo'lsa-da, uzunligi 10 mikrometrdan ortiq material sintez qilindi. Kelajakda uzunligi bir necha sm bo'lgan matolar olinishi kutilmoqda.

Grafening kashf etilishi ko'pdan ko'p ajoyib xususiyatlarga ega bo'lgan, butunlay yangi ikki o'lchamli materiallarni yaratishga olib keldi. Grafen asosidagi tayyorlangan materiallar elektronika dunyosida inqilobiy o'zgarishlar qilishga qodir. Yaqindagina olimlar grafen asosida uy haroratida ishlaydigan juda kichik tranzistorni barpo etdilar. Bu kremniy tranzistoriga nisbatan yuzlab marta tez ishlaydi (6-rangli rasm).

Fulleren, nanonay va grafenlarning kashf etilishi bilan nanofan va nanotexnologiyalarning keng ko'lamda rivojlanishi uchun yangi imkoniyatlar ochildi. Nanotexnologiyalarning istiqboli ko'p jihatdan bu materiallarga bog'liqdir.

Zamonaviy materialshunoslikda nanostrukturlangan materiallar yetakchi o'rinni egallaydi. Ma'lumki, hayotda keng ishlatilayotgan polimerlar yuqori molekulyar birlashmalar bo'lib, ularning gigant molekulari davriy ravishda joylashgan juda ko'p elementar bo'laklardan tashkil topgan. Ular o'nlab mingdan bir necha millionga teng miqdordagi molekulyar massaga ega. Keyingi yillarda, polimerlar haqidagi fanning eng qiziqarli va istiqbolli yo'nalishlardan biri polimer nanokompozitlarni sintez qilish prinsiplarini ishlab chiqish bo'lib turibdi. Ikki va undan ortiq fazadan iborat materiallar kompozitsion materiallar, deb yuritiladi.

Odatda, bu materiallar polimer matritsasi va unga kiritilgan to'ldiruvchi (kuchaytiruvchi) elementlardan tashkil topadi. Polimer nanokompozitlarda to'ldiruvchi

va kuchaytiruvchi elementlar sifatida nanonaylar, nanogillar, nanozarralar, nanotolalar, nanoiplar va boshqa nanoo'lchamli ob'yektlar ishlatilmoqda.

Nanokompozitlarning asosiy xususiyatlari – egiluvchanligi, elastikligi, qattiqligi, yeyilishga chidamligi, yorug'likni sindirish ko'rsatkichi odatda qo'llanilayotgan kompozitsion materiallarga nisbatan yuqoriligidadir. Polimer nanokompozit materiallarning xalq xo'jaligida, ayniqsa, avtomobil qurilishi, elektron texnikasi va qadoqlash uchun materiallar tayyorlashda qo'llanish hajmi yildan yilga oshib bormoqda.

Umuman, kelajakda nanomateriallar o'zlarining yuqori sifati va arzonligi tufayli amalda qo'llanilayotgan materiallarni o'rinni butunlay egallashga qodir. Mutaxassislarning xulosasiga ko'ra, 2015-yilda dunyo bozorida nanomateriallarning hajmi 850 milliard AQSh dollariga yaqinlashishi, jumladan, nanoelektronika mahsulotlari 300 milliarddan ortiq bo'lishi mo'ljallangan edi (1-rangli rasm).

Nanotexnologiyalar energetikada

Inson hayotining sifati uch «E»ga bog'liqligi ko'p qayd qilinadi. Bular energetika, ekologiya va ekonomika (iqtisodiyot)dir.

Fulleren molekulasini kashf qilganlardan biri, Nobel mukofoti laureati Richard Smolli insoniyat oldida turgan global muammolar ro'yxatini tuzib, energetikani birinchi o'ringa qo'ydi. Energetika masalasining ijobiy yechim topilishi boshqa global muammolarning hal bo'lishini yengillashtiradi. Energetik muammoning yechimi – arzon, ekologik toza, yuqori samaradorlikka ega bo'lgan va hammabop yangi energiya manbalarini topishdan iborat. Qolaversa, energiyani saqlash va bir yerdan ikkinchi yerga jo'natish masalasi ham muhimdir. Bu masalalarni ijobiy hal qilishda nanotexnologiyalar hal qiluvchi rol o'ynaydi.

Hozirgi kunda sayyoramizning 7 milliard aho-

lisidan 2 milliard kishi elektr energiyasidan foydalanishdan mahrum. Renewable Energy Agency va British Petroleum neft kompaniyasi ekspertlarining fikricha, energiyaning qayta tiklanmaydigan turlari (uglevodorod) zaxirasi chegaralangan va neft – 40 yil, tabiiy gaz – 60 yil, ko'mir – 220 yil va yadro yoqilg'isi esa 40 yildan so'ng tugashi kutilmoqda. Ko'mir zaxirasi katta bo'lishiga qaramay, neft va gaz tugagach, faqat uning o'zini ishlatish ham ko'pga bormaydi hamda ko'mirni yer ostidan qazib olish yildan-yilga qimmatlashib bormoqda. Ikkinchi tomondan, bu organik yoqilg'ilarni yoqish atrof-muhitning ifloslanishiga olib keladi. Atom elektrosantsiyalari (AES)dan foydalanishga kelsak, bu yerda ham yetarli qiyinchiliklar mavjud. AES-larning xavfsizligi to'la ta'minlanmaganligi bilan bir qatorda, radioaktiv chiqindilar tabiatga katta zarar yetkazmoqda.

Nanotexnologiyalar muqobil energiyani olishdagi hal qiluvchi roldan tashqari an'anaviy energiyani olish, saqlash va uzatishda muhim rol o'ynaydi. Masalan, hozirgi kunda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining 10 % dan ko'prog'i elektr tokini o'tkazuvchi simlarni isitishga sarf bo'layotgani natijasida iste'molchilarga yetib bormayapti. Nanotexnologiya yordamida bu yo'qotilayotgan energiyaning miqdorini keskin kamaytirish mumkin. Masalan, mis simlarining tarkibiga 40 % uglerod nanonaylari kiritilsa, uning qarshiligi 2 barobar kamayadi va ajralib chiqadigan issiqlik miqdori ham shunchalik kamayadi. Bundan tashqari, nanonaylar kiritilgan materiallardan yasalgan transformatorlar, elektr dvigatellari, generatorlar va boshqa elektr asboblari hamda qurilmalarining issiqlik ajratishi va ularning harorati jiddiy ravishda kamayadi. Bu esa energiyani tejash bilan bir qatorda ularning xizmat muddatini uzaytiradi.

Polimerlar matritsasiga kremniy va allyuminiy oksidlaridan iborat nanozarralar to'ldiruvchi sifatida kiritilsa, yuqori molekulyar izolyatorlarning dielektrik xarakteristikalari yaxshilanadi va sezilarli miqdorda elektr energiyasi tejiladi.

Keltirilgan dalillar shuni ko'rsatadiki, kelajakda uglevodorod yoqilg'isi o'rnini noan'anaviy muqobil energiya egallashi shart.

Xo'sh, yaqin va uzoq kelajakda energiya olishning qaysi texnologiyalaridan foydalanish ko'zda tutilmoqda? Shuni qayd qilish zarurki, bugungi kunda qayta tiklanuvchi (muqobil) energetika sohasiga innovatsion texnologiyalar jadallik bilan kirib kelmoqda. Bu sohada nanotexnologiyalar yordamida tayyorlangan uskunalar bozorining hajmi har yili 10 foizga oshib bormoqda. Bu hajm 2007-yil 96 milliard AQSh dollarini tashkil qilgan bo'lsa, 2015-yil 200 milliard AQSh dollariga yetishi mo'ljallangan edi. Muqobil energiya manbalarining foydali ish koeffitsienti (FIK) har yili o'rtacha 2 foizga oshib bormoqda. Birinchi navbatda Quyosh energetikasining rivojlanishida nanotexnologiyalarning roliga to'xtalaylik.

Bir kunda Quyoshdan Yer sirtiga tushayotgan energiya insoniyatni bir yil davomida iste'mol qilgan energiyasidan ko'pdir. Hozirgi kunda insoniyat tomonidan ishlab chiqarilayotgan energiyaning atigi 0,1 foizi quyosh batareyalariga to'g'ri keladi. Quyosh energiyasidan keng foydalanishga geliostansiyalarning juda qimmatligi, samaradorligi pastligi (FIK 12 – 20 foizdan oshmaydi), ishlab chiqarilayotgan energiyaning miqdori yilning fasllari va quyoshli kunlarning ko'p yoki kamligiga bog'liq bo'lishi to'siq bo'lmoqda.

Hozirgi kunda ishlab chiqarilayotgan quyosh batareyalarining 90 foizi kremniy asosida tayyorlanmoqda. Bu hol dunyo bozorida kremniy plastin-

kalarining bahosini oshishiga olib keldi. Kremniy asosida qurilgan quyosh elektrostansiyalarining bir vatti uch AQSh dollariga tengdir.

Quyosh energiyasidan samarali foydalanishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hozirgi kunda keng ishlatilayotgan kremniy o'rnida zamonaviy geterostrukturalardan iborat qurilmalarni ishlab chiqishdan iborat.

Geterostruktura nima? Getero – qadimiy yunonchadan tarjima qilinganda «har xil», «boshqa» ma'nolarni anglatadi va old qo'shimcha (prefiks) sifatida ishlatiladi. Endi geterostrukturani quyidagicha ta'riflaymiz: takdon (podlojka)da turli taqiqlangan zonalariga ega bo'lgan har xil yarimo'tkazgichlar o'stirilganda paydo bo'lgan qatlamli struktura geterostruktura, deb yuritiladi. Geterostruktura chegaralarida taqiqlangan zonaning kengligi va dielektrik kirituvchanlikning qiymatini o'zgartirish mumkin. Bu esa, zaryad tashuvchi(elektron va kovak)larning harakatini, ularning rekombinatsiyasini hamda geterostruktura ichidan o'tayotgan yorug'lik nurlari oqimini boshqarish imkonini beradi. Molekulyar – nur epitaksiyasi, deb ataluvchi texnologik usulda bir atom qatlami aniqligidagi geterostruk turalar olinmoqda. Hozirgi kunda geterostrukturali materiallar asosida lazer va juda ko'p elektron qurilmalar tayyorlanmoqda.



18-rasm. Kremniysiz quyosh batareyalari

Masalan, qo'sh geterostrukturadan iborat lazer ikkita yarimo'tkazgich GaAs(galliy arsenidi) ning AIAs bilan hosil

qilgan AIAs – $Al_xGa_{1-x}As$ qattiq holatdagi qorishmasi asosida olinadi. Bunda juda yupqa qatlamga ega galliy arsenidi, AIAs - $Al_xGa_{1-x}As$ ga qaraganda kichikroq taqiqlangan zonaga ega bo'ladi.

Qayd qilish joizki, rus olimi Jores Alferov opto-elektronika uchun yarimo'tkazgich geterostrukturalar sohasini rivojlantirishdagi xizmatlari uchun 2000-yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi. Quyosh energetikasidagi yana bir yo'nalish quyosh batareyalari elementlarini yaratishda juda yupqa, kremniysiz qatlamlardan iborat nanostrukturalardan foydalanishga o'tishdir (18- rasm).

Bunday elementlarni yaratish texnologik jihatdan ancha oson va juda arzondir. Bu yo'nalishda ko'p mamlakatlar olimlari jadal ilmiy izlanishlar olib bormoqda. Shulardan bir nechtasiga to'xtalaylik.

Toronto (Kanada) universiteti olimlari nanotexnologiyalar yordamida plastik materialdan quyosh batareyalarining yangi avlodini yaratdilar. Ular bu yangi materialni olish uchun maxsus tayyorlangan nanozarralarni polimer bilan aralashtirdilar. Bu plastik yorug'likning infraqizil nurlarini ham qabul qila oladi. Infraqizil nurlar yorug'lik spektrining ko'zga ko'rinmaydigan qismida joylashgan bo'lib, yerdagi hamma jismlardan issiqlik sifatida ajralib chiqadigan elektromagnit to'lqinlaridir. Natijada, plastik batareyalar bulutli kunlar hamda tunda ham uzluksiz ishlash imkoniyatiga ega bo'ladi. Olimlarning fikricha, yaqin kelajakda bu material 30 foizgacha quyosh energiyasini yutish imkoniyatiga ega bo'ladi. (Hozirgi kunda 6 foizdan oshmaydi). Bu holda, plastik batareyalarning samaradorligi hozir ishlatilayotganlarnikidan 5 marta yuqori bo'ladi. Plastikni bo'yoqqa o'xshash istalgan sirtga surtish yoki plenkalarga yopishtirish mumkin. Yangi material bilan qoplangan istalgan narsa, masalan, odam kiyimi, mobil telefoni yoki boshqa portativ elektron asboblarni zaryadlashi mumkin. Narxi juda arzon plastik

quyosh batareyalari sahrolarda, katta maydonlarda o'ratilsa, insoniyatning elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojining ko'p qismini qondirish mumkin.

«Silicon Valley-based Nanosolar» kompaniyasi o'zi yaratgan yangi texnologiya asosida quyosh plastinalarini ishlab chiqarishni boshladi. Alyuminiy folga qalinligidagi metall taxtaga quyosh energiyasini yutuvchi «nanosiyoh»ning yupqa qatlami bosma mashinasi yordamida muhrlanadi. Bunday nanoquyosh batareyalarida kremniy ishlatilmaganligi uchun ishlab chiqargan energiyasi bir vatti uchun 30 sentdan oshmaydi. Bunday plastinkalarni uylarning tomlari va boshqa istalgan narsaga yopishtirib qo'yish mumkin.

«Nanosolar»ning Kaliforniya korporatsiyasi juda arzon plastik plenkalardan iborat quyosh batareyalarini ko'p miqdorda ishlab chiqarish arafasida turibdi.

Kornel universiteti (AQSh) fiziklari nanonaylar asosida yangi tipdagi fotodiod yaratdilar. Eksperimentlar shuni ko'rsatdiki, bu fotodiodlar hozir ishlatilayotganlarga qaraganda ancha yuqori elektr energiyasini beradi. Yangi fotodiodni ishlab chiqishda bir qatlamlik nanonaydan foydalanilgan. Nanonay ikkita kontaktga ulanib, musbat va manfiy zaryadlar manbalari orasida joylashtirilgan. Keyin nanonay har xil to'lqin uzunligidagi lazer nurlari bilan turli burchak ostida yoritilgan. Tekshirishlar shuni ko'rsatdiki, nanonay silindrik shaklda bo'lgani tufayli undan lazer nuri ta'sirida ko'p miqdorda fotoelektronlar urib chiqariladi va ularning nanonay bo'ylab harakati yana yangi elektronlarni siqib chiqaradi. Natijada, fototokdan tashqari erkin elektronlar oqimi yuzaga keladi. Shuning uchun ham nanonayga samarali quyosh elementi, deb qarashimiz mumkin. Hozirgi kunda, olimlar yangi fotodiodda sodir bo'layotgan fizik jarayonlarga tashqi kuchlar ta'sirini o'rganmoqdalar.

«Bandgap Engineering» kompaniyasi (Massa-

chusetts, AQSh) quyosh energiyasi narxini kamaytirish maqsadida nanosimlar asosida fotoelektrik elementlarni ishlab chiqarishni yo'lga qo'yimoqda. Bu qurilmalar odatdagi quyosh batareyalariga nisbatan ikki barobar ko'p elektr energiyasini berishga qodir.

Hozirgi kunda, nanotexnologiyalar yordamida quyosh energiyasini to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantiruvchi foydali ish koeffitsienti yetarli darajada katta bo'lgan fotoelektrik elementlarning laboratoriya namunalari yaratilgan. Yaqin kelajakda bu fotoelementlar ni sanoatda ishlab chiqarish masalasi hal bo'ladi. Ularning narxi amorf kremniy bazasida tayyorlangan elementlarga nisbatan ikki barobar arzon bo'lishi kutilmoqda.

Shunday qilib, nanotexnologiyalardan umumli foydalanish quyosh energetikasi muammolarini yechishga qodir.

Okean to'lqinlarining ko'tarilishi va qaytishi hodisidan elektr energiyasini olishda unumli foydalanilmoqda. Bu hodisalarning qachon va qayerda yuz berishini olimlar oldindan ayta oladilar. Chunki Oy gravitatsiyasining okean oqimiga ta'siri fiziklar tomonidan yaxshi o'rganilgan. Bu hodisa asosida Fransiyada quvvati 240 megavatt bo'lgan elektrostansiya elektr energiyasini bermoqda. Kanada va Janubiy Koreyada shunday elektrostansiyalar loyihalashtirilmoqda.

Bunday elektrostansiyalarni loyihalashtirishda qo'yiladigan talablardan asosiysi shundaki, ob'yekt okean sirtidan 25-70 metr pastda bo'lib, 1,5-3 m/s tezlikdagi oqimga bardosh bera oladi. Dengiz va okeanlar qirg'oqlarida joylashtirilgan bunday elektostansiyalarning tarkibiy qismlari va ularni bir-biriga bog'lab turuvchi elementlarini mustahkam va yengil nanostrukturlangan materiallardan yaratiladi.

Vodorod energetikasi

Vodorod energetikasi katta istiqbolga ega ekanligini hech kim rad eta olmaydi. Ma'lumki, issiqlik elektrostansiyalarida (IES), avvalo, organik yoqilg'i (gaz, neft, ko'mir) yonishi natijasida ajralib chiqqan issiqlik katta qozonlardagi suvni qaynatib, par hosil qiladi, parning katta bosimida turbina harakatga keladi va natijada turbinaning mexanik energiyasi generatorda elektr energiyasiga aylanadi. Ko'rib turibmizki, elektr energiyasini olish ko'p bosqichli jarayonlarni o'z ichiga olib, yonishdagi kimyoviy energiya mexanik energiyaga, u esa elektr energiyasiga aylanadi. Tabiiyki, har bosqichda energiya yo'qotishlar evaziga kamayib boradi va issiqlik elektrostansiyalarning foydali ish koeffitsienti 40 foizdan oshmaydi. Vodorod energetikasi bu kamchiliklardan xoli bo'lib, vodorodning oksidlanishi(yonishi)dagi kimyoviy energiya to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylanadi. Shuning uchun ham vodorod yonishidan olingan energiyaning foydali ish koeffitsienti (FIK) juda yuqori bo'lishi kutilmoqda.

Vodorod energetikasida elektr energiyasi qanday olinadi? Bu yerda nanotexnologiyalarning roli qanday?

Yonilg'i elementi (yoki yacheykasi) deb yuritiladigan anod va katod elektrodlaridan iborat qurilmaga vodorod va kislorod kiritiladi va natijada vodorod oksidlanadi.

Bu kimyoviy reaksiya jarayonida benzin va gazning yonish solishtirma issiqlik miqdoriga nisbatan uch marta katta energiya (120KJ/kg) ajralib chiqadi. Shunday qilib, yonilg'i elementi energiya almashtiruvchi elektrokimyoviy qurilma bo'lib, kimyoviy energiyani to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantiradi. Yonish natijasida atrof-muhitga zarar yetkazuvchi zaharli moddalar emas, balki faqat toza suv ajralib chiqadi.

Kosmik kemalarda ishlatiladigan yonilg'i yachey-

kasi (fuel cells) haqida to'xtalaylik. Bu yerda yonilg'i sifatida vodorod ishlatiladi. Tarixda birinchi bo'lib AQSh astronomlarini oyga yetkazgan «Apollon» kosmik kemasi asbob-uskunalari tarkibida shunday yonilg'i elementi ham bor edi.

Bu yacheyka kosmik kema uchun energiya yetkazib berish bilan bir qatorda, astronomlarni toza suv bilan ta'minlagan edi. Vodorod yonilg'i elementi juda oddiy konstruksiyaga ega (7-rangli rasm). U membrana orqali ikki qismga bo'lingan maxsus eritma bilan to'ldirilgan konteyner(idish)dan iborat.

Bu konteynerning devorlari (elektrodlar – katod va anod) elektr o'tkazuvchi materialdan yasalgan bo'lib, foydalaniladigan elektr asboblarga ulanadi. Konteyner tubining o'ng va chap tomonlarida joylashgan teshiklardan mos ravishda vodorod va kislorod gazlari oqimi uzluksiz kirib turadi. Aytaylik, ikkita vodorod molekulasini eritmaning o'ng tomoniga kiritilgan bo'lsin, unda ular bu yerda parchalanadi va natijada 4 ta elektron va 4 ta proton hosil bo'ladi. Eritmadagi elektronlar idishning o'ng devori (anod) orqali tashqi zanjirga o'tadi va berk zanjir bo'ylab harakat qilib, elektr asboblari energiya bilan ta'minlaydilar va idishning chap devori (katod)ga yetib keladi. Eritmada hosil bo'lgan protonlar esa kovakli polimerdan iborat selektiv membrana orqali chap bo'limga o'tadi. Ikkinchi tomondan, konteynerning chap bo'limiga kirgan har qaysi kislorod molekulasini O_2 katodda zanjir orqali o'ng tomondan yetib kelgan 4 ta elektronni birlashtirib, ikkita ikki karra manfiy zaryadlangan kislorod ionini – O^{2-} hosil qiladi. Keyin esa bu ionlar eritmaning o'ng tomonidan membrana orqali o'tgan to'rtta proton bilan birlashib, suv molekulasini hosil qiladi.

Natijada yonilg'i elementidan elektr energiyasi va ekologik toza suv olinadi. Shuni e'tirof qilish joizki, konteyner devorlar (elektrodlar) kontaktlaridagi

kimyoviy jarayonlar juda sust kechadi va ularni tezlashtirish uchun katalizatorlardan foydalaniladi. Kosmik kemalardagi vodorod yacheykalarida katalizator sifatida platina ishlatiladi. Bunday yonilg'i elementlarini boshqa yerlarda, masalan avtomobillarning elektr dvigatellarida ishlatish juda qimmatga tushadi. Platinaning bir funt (bir qadoq yoki 453,6 g) ining narxi 10 000 AQSh dollari atrofida turadi. Dunyoda bir yilda qazib olinadigan platina 11 000 ta vodorod yonilg'isida ishlaydigan elektromobil dvigatellarini tayyorlashga yetadi, xolos. Demak, biz tavsiflagan vodorod yonilg'i elementlarini arzon va bir vaqtning o'zida sifatli katalizatorlar ixtiro qilingandagina ko'plab ishlab chiqarish mumkin bo'ladi. Hozirgi kunda nanotexnologiyalar yordamida bunday katalizatorlar ilmiy laboratoriyalarda ishlab chiqilgan va yaqin kelajakda ularni sanoatda ishlab chiqarish yo'lga qo'yilishi mo'ljallanmoqda.

Uglerod nanonaylari va nanoto'qimalarining noyob xususiyatlari – yuqori solishtirma yuzasi, elektr o'tkazuvchanligi, mustahkamligi ular asosida samarali katalizatorlar tashuvchilarni yaratish imkonini beradi. Masalan, xitoy olimlari uglerod nanonaylarini platina nanozarralari bilan qoplab, aktiv katalizatorlar (10 % Pt) ni sintez qilishga erishdilar. Bu nanokatalizatorlar yordamida yonilg'i elementlarining samaradorligini keskin oshirishga muvaffaq bo'lindi.

Vodorod olishning arzon, ekologik toza usullari ishlab chiqilgan, ammo vodorodni saqlash va bir yerdan ikkinchi yerga yetkazish (transportirovka qilish) haligacha yechilmagan masala hisoblanadi. Chunki, vodorod molekularining o'lchami juda kichik bo'lib, vodorod saqlanadigan idishning mikroskopik tirqishlari, kovaklaridan chiqib ketishi va natijada portlash yuz berishi mumkin. Buni e'tiborga olib, vodorod saqlanadigan ballonlarning devori juda qalin qilib yasaladi. Bu esa

idishning og'irligini behad oshiradi. Qolaversa, xavfsizlikni ta'minlash maqsadida vodorod saqlanadigan ballonlar juda past temperaturagacha (bir necha o'n Kelvingacha yoki minus 200° C dan past) sovutilishi shart. Bu yonilg'i yacheykalarining qimmat bo'lishiga olib keladi. Bu muammoni hal qilish yo'llaridan biri vodorodni saqlashda kovak materiallardan foydalanishdir. Bun-day materiallar vodorod molekularini o'ziga so'rib oladi va chegaralanmagan vaqt davomida ushlab tura oladi. Ana shunday material rolini uglerod nanonayiyoki nanokovakli materiallar bajarishi mumkin ekan.

Hozirgi kunda nanotexnologiyalar yordamida ilmiy laboratoriya sharoitida vodorod massasining ulushi 18 foizga yaqin bo'lgan vodorod «gubkasi» yaratilgan. Bu kashfiyot vodorod energetikasining rivojlanishi uchun juda katta imkoniyatlarni tug'diradi.

Nanobatareya va superkondensatorlar

Foto va videokamera, portativ kompyuter, mobil telefon, kardiostimulyator kabi ko'plab elektron qurilmalarni ommaviy ishlab chiqarish va iste'mol qilish asri bo'lgan hozirgi vaqtda yetarli energiyaga ega bo'lgan yengil miniatyur elektr energiyasi manbalari zarur.

Ko'pchilikka ma'lumki, elektr energiyasini olish uchun akkumulyatorlardan elektr toki manbasi sifatida foydalaniladi. Akkumulyatorlar kimyoviy energiyani elektr energiyasiga aylantiradi. Odatda yuqori energiyani olish uchun bir necha akkumulyatorlar bir-biriga ulanadi va bunday tuzilma akkumulyatorlar batareyasi yoki qisqacha batareya, deb yuritiladi. Hozirgi kunda qo'llanilayotgan akkumulyatorlar uchta asosiy qismlardan iborat. Bular – musbat va manfiy zaryadlangan, anod va katod deb yuritiluvchi metall plastinkalar hamda ularning orasida joylashgan elektrolitlardir. Akkumulyatorni zaryadsizlantirish jarayonida ionlar elektrolit yoki membrana orqali anoddan

katodga o'tadi va shu paytda elektron qurilmalardan iborat tashqi zanjirda elektronlar harakatidan iborat elektr toki paydo bo'ladi.

Odatdagi batareya elektrodlarini yasashda nano-strukturlangan yoki sof nanomaterialdan foydalanilganda qanday o'zgarishlar yuz beradi?

Elektrodlar sirtining kengayishi ular bilan elektrolit orasidagi kontakt yuzasini oshiradi va bu o'z navbatida o'tkazilayotgan tok miqdorini oshiradi. Natijada batareyaning zaryadlanish tezligi oshadi. Bundan tashqari elektrodning solishtirma yuzasi kengaysa, zaryadlarni sirtida saqlash mexanizmining ulushi ko'payadi. Bu esa elektrodning sig'imini keskin oshiradi. Elektrodlar yuzasini kengaytirish uchun ularning yuzasi yuqori o'tka-zuvchanlikka ega nanozarralar va nanonaylar bilan qoplanadi. Buning sababi shundaki, avval uqtirganimizdek, nano o'lchamdagi zarralarning sirti yuzasining ulushi hajmga nisbatan keskin oshadi. Toshiba kompaniyasi 2005-yili litiy-ion akkumulyatori timsoli (prototipi)ni yaratdi. Uning manfiy elektrodi litiy titanati nanokristali bilan qoplanganligi tufayli elektrodning maydoni bir necha o'nlab marta oshdi. Bu yangi akkumulyator bir minutda o'z sig'imining 80 foiz zaryadini to'plashga qodir. Odatdagi litiy-ion akkumulyatori esa bir minutda 2-3 foiz zaryadni to'play oladi va to'liq zaryadlanish uchun bir soatdan ko'proq vaqt sarf bo'ladi. Nanozarralar bilan qoplangan elektrodlar ko'p vaqt xizmat qiladi. Yangi batareyalarning umumiy resursi besh ming siklni tashkil qiladi va -40°C da atigi 20 foiz zaryadini yo'qotadi. Zamonaviy akkumulyatorlarning zaryadi esa minus 25°C to'la tugaydi.

2007 yildan boshlab sotishga chiqarilgan elektromobilga o'rnatilgan akkumulyatorlarning elektrod-lari yuqori o'tkazuvchanlikka ega nanozarralardan iborat. Bunday litiy-ion akkumulyatorlar 35 kVt soat energiyani 10 minutda to'play oladi va u 200 km

yo'lni bosib o'tishga yetarli. Yangi ishlab chiqilgan elektromobil akkumulyatorining to'liq zaryadi 400 km masofaga yetadi.

Kelajak energetikasida istiqbolli yo'nalishlardan biri kvant akkumulyatorlaridir. Bu akkumulyatorlarda saqlanadigan energiyaning zichligi qurilmaning 1 kg massasi uchun 1,5 megajouldan ko'proqdir. (solishtirish uchun: avtomobil akkumulyatorida bu kattalik 0,1 megajoulni tashkil qiladi) Kvant akkumulyatorlarining innovatsion komponenti nanostrukturlangan dielektrik bo'lib, ishlash qobiliyatini o'nlab yillar davomida minus 70°C dan plus 300°C gacha saqlashga qodir.

Kichik o'lchamli batareyalarni yaratishda ko'p hollarda uglerod nanonaylaridan foydalaniladi. Masalan, qator batareyalarda zaryad tashuvchi rolini o'ynovchi litiy atomlarini nanonayning ichida joylashtirish mumkin. Uglerod nanonayi ichida joylashtirilgan har qaysi litiy atomiga oltita uglerod atomi to'g'ri keladi.

Amerika fiziklari va nanotexnologlari raqamli kvant batareyasining timsolini yaratdilar. Yangi nanotexnologik strukturalardan foydalanilib tayyorlangan akkumulyatorlarning sig'imi hozirgi kunda ishlatilayotganlaridan o'n martaga oshishi kutilmoqda. Bunday akkumulyatorlardan energiya oluvchi elektron qurilmalarning o'lchamlari ham miniatyurlashadi. Raqamli kvant batareyasi o'lchamlari 10 nmdan kam bo'lgan millionlab uglerod nanonaylari «to'r»(set)idan iborat. Nanobatareyalarning ishlash prinsipi va ularda energiyani saqlash nokimyoviy xarakterga ega. Shuning uchun ham bunday batareyalarni ishlab chiqarish ancha yengillashadi va ularning zaryadlanish tezligi oddiy batareyalarga qaraganda o'nlab marta oshadi. Olimlar o'z ixtirolaridan axborotni saqlashda ham foydalanish mumkinligini qayd qilmoqdalar. Har qaysi uglerod nanonayi axborot tashuvchi sifatida qaralsa, unda juda katta zichlikdagi axborotni saqlash mumkin bo'ladi.

Bu holda nanobatareyalardan «fleshka»larning yangi avlodi sifatida foydalanish imkoni yaratiladi.

Elektr energiyasini saqlashda kondensator (zaryad to'plagich)lardan keng foydalaniladi. Kondensator bir-biridan dielektrik qatlami bilan ajratilgan ikkita elektr to'kini o'tkazuvchi plastinkalardan iborat. Kondensatorning elektr sig'imi, uning energiyani to'plash qobiliyatini bildiradi. Plastinkalarning sirti va dielektrik qatlamning dielektrik kirituvchanligi qancha katta, plastinkalar orasidagi masofa qancha kichik bo'lsa, kondensatorning sig'imi shuncha katta bo'ladi. Elektr sig'imini oshirish maqsadida ikki qatlamli dielektrik ishlatiladi. Bu holda qo'shimcha dielektrik qatlamida qo'sh elektr zaryadi hosil bo'ladi va kondensatorning sig'imi o'nlab marta oshadi. Masalan, «Maxwell Technologies» firmasi bu usuldan foydalanib, kondensatorning sig'imini 3000 faradaga yetkazdi (Farada – kondensatorning kuchlanishi bir volt bo'lganda, undan bir sekund davomida 1 amper tok o'tgandagi sig'im). Solishtirish uchun bir qatlamli kondensatorlarnig sig'imi bir mikrofaradadan oshmaydi. Juda katta elektr sig'imini olish maqsadida kondensatorlar bir-biriga parallel ulanadi. Bunday qurilmalar kondensatorlar batareyasi (yoki batareya) deb yuritiladi.

Elektr tokida ishlaydigan transport vositalari dvigatellarini yurgizib yuborish uchun oddiy batareyalarga qaraganda juda yuqori elektr impulsi talab qilinadi. Buning uchun superkondensator, deb ataladigan qurilmadan foydalanish zarur bo'ladi. Hozirgi kunda nanomateriallar yordamida yangi tipdagi superkondensatorlarning loyihasi ishlab chiqilgan. Superkondensator qisqa vaqt davomida juda katta energiya ajratish qobiliyatiga ega bo'lgan elektr zaryadini saqlovchi qurilmadir. Bu qurilmaning qo'sh dielektrik qatlami millionlab uglerod nanonaylaridan iborat bo'ladi. Nanonaylarning yuzasi hajmiga nis-

batan katta bo'lganligi bois dielektrik qatlamlar yuzasining ulushi keskin oshadi va bu o'z navbatida elektr sig'imining behad oshishiga olib keladi.

Uzoq kelajakda sun'iy tayyorlangan nanostrukturalarda fotosintez asosida (o'simliklardagidek) amalga oshishi ko'zda tutilmoqda. Hozirgi kunda Yaponiya olimlari tabiiy fotosintez prinsipidan foydalanib, sun'iy nanostrukturalarda energiyani olish va to'plash ustida ish olib bormoqdalar.

Mikroelektronikadan nanoelektronikaga

Hozirgi kunni zamonaviy elektron qurilmalarsiz tasavvur qila olmaymiz. Elektron qurilmalar elektr signallarini katta tezlikda qayta ishlovchi integral elektron sxemalar – chiplarni o'z ichiga oladi. (chip—inglizcha ship, plastinka shaklidagi yuzasi bir necha kv.sm gacha bo'lgan yupqa yarimo'tkazgich monokristali sirtida shakllashtirilgan integral sxema). Mikroelektronika kundalik hayotimizga XX asrning ikkinchi yarmida kirib keldi. Juda murakkab texnikaviy muammolarni hal qilishda keng ko'lamda va yangicha yondosha oladigan (yangi paradigma) nanotexnologiyalarning paydo bo'lishiga mikroelektronikaning misli ko'rilmagan darajada jadal rivojlanishi omil yaratdi. Shuning uchun ham nanofan sohasidagi aksariyat yutuqlar, ularni kompyuter texnikasi, aloqa vositalari, sanoat va maishiy elektronikada qo'llash istiqboli nuqtai nazaridan baholanadi.

Mikroelektronika va unga bevosita bog'liq bo'lgan kompyuter texnikasi sohalari oxirgi bir necha o'n yillar davomida ilmiy-texnikaviy taraqqiyotning asosi bo'lib xizmat qilmoqda.

Tranzistorlar kashf qilinganidan hozirgi vaqtgacha ularning o'lchamlarini kichraytirish va yarimo'tkazgich

plastinkasidagi tranzistorlarning integratsiya darajasini oshirish prinsipi, mikroelektronikaning rivojlantirishida muhim ahamiyat kasb etmoqda. Bu prinsip empirik «Mur qonuni»ga asos bo'ldi. Bu «qonun» 1965-yili «Intel» firmasi asoschilaridan biri Gordon Mur tomonidan taklif qilingan edi. Unga asosan, mikroxiemalardagi element(tranzistr)lar soni va unga mos ravishda kompyuterlarning ishlash tezligi har 18 oyda (keyingi yillarda «qonun»ga kiritilgan o'zgartirishga asosan, har ikki yilda) ikki barobar oshadi. Albatta, bu qonun tabiat yoki jamiyatning ob'yektiv qonuniga o'xshash qonun emas. Ammo, bir necha marta o'zgartirishlar kiritilganini hisobga olmasak, bu qonun yetarlicha uzoq davr davomida amal qilib kelmoqda. «Mur qonuni» 1965-yildan keyingi 10 yilga mo'ljallangan edi. Ammo u hozirgi kungacha o'z ahamiyatini to'la yo'qotgani yo'q.

Agar tranzistorlar kashf qilinmaganida, mikroelektronika va o'z navbatida nanoelektronika paydo bo'lmas edi. Ma'lumki, hozirgi zamon elektron qurilmalarining asosini tranzistorlar tashkil qiladi. Bugungi kunda o'zini o'qimishli, deb hisoblagan har bir kishi tranzistor to'g'risida hech bo'lmaganda umumiy tasavvurga ega bo'lishi kerak. Shuni e'tiborga olib, tranzistor haqida umumiy tushuncha berishni lozim topdik.

Tranzistor nima va u qanday ishlaydi? Buni osonroq tushunish uchun daryo suvi (doimiy suv manbasi)ni to'sib turgan to'g'onni ko'z oldimizga keltiraylik. To'g'on suv bosimi farqini yuzaga keltiradi. To'g'onning zatvori(suv chiqariladigan eshigi)ni kam kuch sarflab, tik yo'nalishda yuqoriga va pastga siljitib, suvning katta bosimi evaziga to'plangan energiyani yengil boshqara olamiz. To'g'onga suv beruvchi manba – istok (suv boshi), suvning chiqib ketadigan qismini – stok (oqib chiqish) deb yuritiladi. Endi tranzistorga qaytsak, uning ishlash prinsipi to'g'onning ishlashiga o'xshaydi.

Oddiy tranzistor ham to'g'onga o'xshash uch qismdan – zatvor (yoki baza), istok (yoki emitter) va stok(yoki kollektor)dan iborat. Chiqish tokini boshqarish kirish toki yoki kirish kuchlanishini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Agar biqutbli (bipolyar) tranzistorning «baza – emitter» qismidan kichik miqdordagi tok o'tkazilsa (yoki kuchlanish berilsa), uning qiymati 10 dan 100 barobargacha oshadi va katta tok «kollektor – emitter» qismidan oqib o'tadi. Buning sababi shundaki, «baza – emitter»dan o'tgan kichik tok yarimo'tkazuvchilardagi zaryad tashuvchilarning zichligini o'zgartiradi. Bu esa o'z navbatida, yarimo'tkazuvchilarning elektr o'tkazuvchanligiga katta ta'sir ko'rsatadi.

Musbat va manfiy elektr kuchlanishi berish natijasida tranzistor orqali o'tuvchi tokni to'xtatish yoki tiklash mumkin (bunday tranzistor elektr maydoni orqali boshqarilganligi uchun maydon (polevoy) tranzistori deb yuritiladi). Tranzistorlarning bu imkoniyatlaridan raqamli elektron qurilmalarida kalit (ochib-yopuvchi) sifatida foydalaniladi. Ma'lumki, bu qurilmalar (jumladan, kompyuterlar)da hisoblash ikkilik sistemasiga asoslangan. Bunda barcha axborotlar diskret sonlar 0 yoki 1 raqamlarining ketma-ket joylashishi orqali ifodalanadi. 0 va 1 raqamlarini olish uchun ikkita (vaqt o'tishi bilan turg'un tura oladigan va issiqlik fluktuatsiyasi tomonidan buzilmaydigan) fizikaviy holat zarur. Tranzistorda tokning yo'q holati 0 raqamini bersa, tokning mavjudligi 1 raqamini beradi. Demak, tokning yo'qligi yoki borligiga qarab 0 va 1 raqamlari(yoki bitlar)ni protsessorning xotirasiga yozish mumkin. Bu raqamlar orqali (Morze alifbosini) eslang: nuqta va tire belgilari orqali so'zlar tuziladi) istalgan so'zlarni kompyuterlarda yoki elektron qurilmalarning xotiralariga yozish, saqlash va o'qish mumkin. Hozirgi vaqtda barcha zamonaviy raqamli texnikalar MOP – tranzistorlar asosida yaratilgan.

MOP – metal – oksid – poluprovodnik(yarimo‘tkazgich) larning yupqa qatlamlaridan iborat bo‘lib, ularning bosh harflarini ifodalaydi. MOP – tranzistorlari maydon tranzistorlari bo‘lib, ularni boshqarish elektr maydoni orqali amalga oshiriladi. Tranzistorlarning tokni kuchaytirish qobiliyati analogli texnika (masalan, televideniye va radio)da keng qo‘llaniladi. Raqamli texnikada axborot diskret sonlar(0 va 1)da ifodalansa, analogli texnikada axborot uzluksiz funksiya sifatida beriladi. Hozirgi zamon televideniya axborot qayta ishlanishi jarayonida, bir vaqtning o‘zida analogli va raqamli texnikadan foydalaniladi.

Mikroelektronika va kompyuter texnikasi soha-larining rivojlanishi tarixiga qisqacha to‘xtalaylik.

Kompyuterlar tarixi 1946-yilda «ENIAC» kompa-niyasi tomonidan elektron lampalar asosidagi birinchi kompyuterni kashf qilinishidan boshlandi (19-rasm).

1947-yilda «Bell Laboratories» xodimlari Dj. Bardin, U. Braytteyn, U. Shokli yarimo‘tkazgichlar asosida birinchi tranzistorni kashf qildilar va buning uchun ular 1956-yili fizika sohasida Nobel mukofotiga sazovor bo‘ldilar. Shuni eslatish joizki, o‘tao‘tkazgichlarning mikroskopik nazariyasini yaratishdagi mashhur ishla-ri uchun 1972-yili Dj. Bardinga fizika bo‘yicha ikkinchi marta Nobel mukofoti berildi.

1955-yili tranzistorlar asosida birinchi kompyuter tayyorlandi (TRADIC).

1959-yili Dj. Kilbi tomonidan integral sxemalarni barpo qilish konsepsiyasi taklif qilindi va u 2000-yili Nobel mukofotiga sazovor bo‘ldi. 1960-yili bu konsepsiyaga asosan juda toza kremniy monokristali sirtida integral sxemalar – MOP – tranzistorlar shakllandi.

1965-yili tranzistorlardan birinchi minikompyuter (DEK) va 1971-yili esa, birinchi mikroprotssessor yi-g‘ildi. Bu protsessordagi tranzistorlar soni 2 250 ta edi. Solishtirish uchun: 2000-yilda paydo bo‘lgan Pentium 4 mikroprotssessoridagi tranzistorlar soni 42 milliontaga yetdi.



19-rasm. 1946-yilda «ENIAC» kompaniyasi tomonidan ishga tushirilgan birinchi kompyuter

1973-yili eslab qoluvchi qurilmalarning xotirasida-gi bir megabit axborotning narxi 75 000 AQSh dollariga teng bo‘lsa, 1995-yilga kelib, 3 dollarga tushdi va hozir esa, u 5 sentga yetmaydi. Bu tendensiyani Mur qonuni asosida tushuntirib berish mumkin. Haqiqat-dan ham 1990-yili bir chipdagi tranzistorlar soni bir millionta bo‘lgan bo‘lsa, 17 yil o‘tgach, ularning soni bir milliardga yetdi.

Yarimo‘tkazgichlar asosida barpo qilingan sxemalardagi elementlar zichligining oshishi ular o‘l-chamlarining kamayishi evaziga amalga oshirildi. Hozirgi kunda integral sxemalar elementlarining topologik kengligi 90-130 nm ga yetdi. 2010-yilda olim-lar tomonidan ilmiy laboratoriyalarda ishlab chiqilgan sxemalardagi elementlarning o‘lchamlari 32 nm ni tash-kil qildi. Mutaxassislarning fikriga ko‘ra, 2020 yilga borib, bu kattalik 23 nm ga qadar kamayishi kutilmoqda. Bu holda sxema elementining tarkibi atigi 100 ta kremniy atomidan iborat bo‘ladi. «Mur qonuni» tomonidan belgilangan katta integral sxema – KIS(rus tilida BIS)-lardagi tranzistorlar o‘lchamlarini kamayish sur‘ati saqlanganda 2015-yili bu elementlarning kattaligi 10 nm

atrofida bo'lishi lozim edi. Kelajakda, «Mur qonuni»ga yana o'zgartishlar kiritishga to'g'ri keladi.

Nanofan va nanotexnologiyaning muhim yutuqlarini ishlab chiqarishda keng ko'lamda va tezkorlik bilan qo'llashga to'siq bo'luvchi omillar mavjud. Ma'lumki, yarimo'tkazgichlar sanoatigiy o'naltirilgan juda katta investitsiya, ishlab chiqarishni moliyaviy rejalashtirish va iqtisodiy barqarorlikni ta'minlashni talab qiladi. Shuning uchun ham nanotexnologiyalar sohasidagi yangi novator g'oyalar va texnik loyihalarni katta masshtabda tezkorlik bilan amalga oshirib bo'lmaydi.

Shubha yo'qki, tranzistorlar o'lchamlarining kichrayishi va uning hisobiga an'anaviy noorganik yarimo'tkazgich materiallarining (asosan kremniy, galliy arsenidi) bir kristallidagi elementlar sonining oshishi cheksiz uzoq davom eta olmaydi.

Oxirgi yillarda mikroelektronikaning rivojlanish dinamikasi va yuqorida keltirilgan dalillar, bu sohada keyingi mantiqiy qadam qo'yilishi – mikroelektronikaning o'rnini nanoelektronika egallashi (yoki yangi paradigмага o'tish) zarurligini tasdiqlamoqda. Yangi paradigma innovatsion materiallar va texnologiyalar barpo etilishi bilan bir qatorda yangicha ishlash prinsiplari va ularga mos nanoqurilmalarning konstruktiv yechimlarini ishlab chiqishni hamda nanofan va nanotexnologiyalar erishgan yutuqlarni elektronika va kompyuter texnikasida jadal sur'atlar bilan amalga oshirishni taqozo qiladi. Bu esa o'z navbatida fan va texnikaning boshqa sohalari – tibbiyot, ekologiya, harbiy soha va h.z. taraqqiyotida muhim rol o'ynaydi.

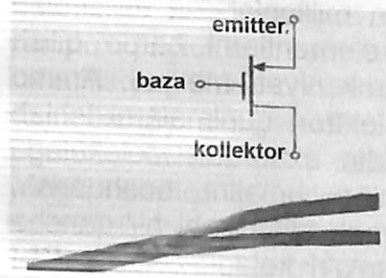
Nanoelektronikaning asosiy maqsadi va vazifasi yangi nanomateriallar va ular asosida zamonaviy nanoelektron qurilmalarni ishlab chiqishdan iborat.

Nanoelektronikaning istiqboldagi muhim yo'nalishlaridan biri – molekulyar elektronika hisoblanadi.

Kelajakda alohida molekularlar va molekularlar guruhlaridan faol ishlaydigan nanoelektron elementlar sifatida elektron qurilmalarda foydalanish ko'zda tutilmoqda. Molekulyar elektronikada yagona strukturadagi, bir xil ko'rsatkichlarga ega bo'lgan millionlab va milliardlab bir xil tipdagi molekulyar elementlarni barpo qilish va ularni integratsiyalash imkoniyati mavjud. Ammo molekularlar asosida nanoelektron qurilmalarni ishlab chiqarishni boshlashdan oldin axborotni molekularga aniq yetkazib berish, uning holatini boshqarish, axborotni molekularadan chiqarib olish kabi bir qancha muammolarni hal qilishga to'g'ri keladi. Shuni e'tirof qilish zarurki, bugungi kunda katta spektrdagi organik materiallar – metallar, yarimo'tkazgichlar, dielektriklar, nochiziqli optik materiallar, pezoelektriklar, magnetiklar va boshqa materiallarga asoslangan molekulyar mikroelektronika vujudga keldi. Bu yo'nalish ko'pincha organik elektronika deb ham yuritiladi.

Uglerodning yangi strukturaviy shakli – fulleren, grafen hamda nanonay haqida to'xtalgan edik. Bu materiallar nanoelektronikaning istiqboldagi rivojlantirish uchun ulkan imkoniyatlar yaratmoqda. Kashf etilganiga ko'p vaqt bo'lmagan bo'lsa-da, ular nanometr o'lchamidagi ko'plab elektron qurilmalarni yaratishda qo'llanilmoqda. Dunyodagi juda ko'p universitet va kompaniyalar nanonaylar asosida tranzistorlarning yangi avlodini yaratishda keng ko'lamdagi ishlarni amalga oshirmoqdalar. Bularning ba'zilar haqida qisqacha to'xtalib o'tsak. Nanonaylar asosida tayyorlangan elektron emitterlar yassi monitorlarda qo'llanish arafasida turibdi. Bu materiallardan foydalanib, ferromagnit xotira yacheykasiga ega bo'lgan, eslab qoluvchi qurilma (chip)larni barpo qilish mo'ljallanmoqda. Bunday qurilmalar energetik mustaqil bo'lib, tashqi energiyadan ajratilganda ham yozilgan axborotni saqlay oladi. Kaliforniya va Klemson

universitetlari (AQSh) olimlari Y-simon (igreksimon) tarmoqlangan nanonay yuqori tezlikka ega bo'lgan tranzistor rolini o'ynashi mumkinligini aniqladilar (20-rasm).



20-rasm. Y-simon (igreksimon) tarmoqlangan nanonay asosidagi tranzistor

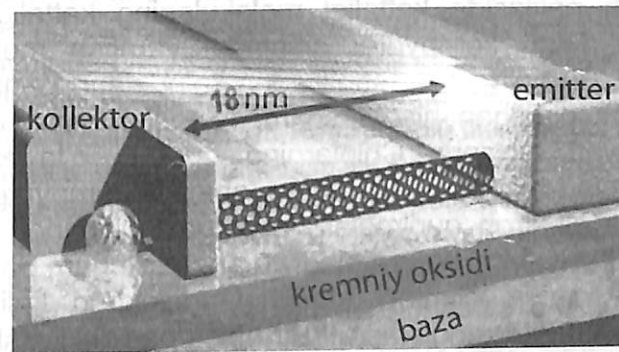
«Nature Materials» jurnalida (2005-yil, sentyabr) e'lon qilingan maqolada yozilishicha, Y-simon nanonay zamonaviy MOP – tranzistorlarning o'rnini bosishi va yangi element bazasining asosi bo'lishi mumkin. U holda, tarmoqlangan nanonaylar elektron chipni to'la almashtirishi mumkin.

Y-simon nanonay ikki shoxli daraxtga o'xshaydi. Tanasi»ga manfiy kuchlanish berilsa, elektronlarning bir «shox»dan ikkinchisiga oqib o'tishi to'xtaydi. Aksincha, kuchlanish musbat bo'lganda «shox»lardan tokning o'tishi tiklanadi. Bu yerda Y-simon nanonay tranzistor sifatida ishlaydi.» «Tana» – zatvor bo'lsa, shoxlar – istok va stok rolini o'ynaydilar. Agar, Y-simon nanonayni sintez qilish texnologiyasining oddiy va samarali usuli topilsa, nanoelektronika sohasida inqilobiy o'zgarish yuz bergan bo'lar edi.

«Infineon Technologies» (Germaniya) kompaniyasi nanonaylar asosida tranzistorning stok va istoklarini bir-biriga ulovchi uzunligi atiga 18 nm ga teng tok o'tkazuvchi kanalni yaratdi (21-rasm).

Shuni e'tirof qilish joizki, yarimo'tkazgich qurilmalari-dagi zamonaviy tranzistorlarning tok o'tkazuvchi kanali bundan to'rt marta kattadir. Kompaniyaning Myunxen

laboratoriyasi xodimlari yangi yarimo'tkazgichli qurilmada diametri 0,7 dan 1,1 nm bo'lgan nanonaylardan foydalanishga erishdilar.



21-rasm. Nanonay asosida yasalgan nanotranzistor

2000-yildan buyon nanonaylar asosida tayyorlangan tranzistorlar elektron qurilmalarning timsollarida qo'llanib kelinayotgan bo'lsa-da, haligacha ulardan protsessorlarni yig'ish masalasi hamon hal qilingani yo'q. Chunki, hozirgi kunga qadar nanonaylarni chipda joylashtirish texnologiyasi mavjud emas edi.

Yaqinda Pensilvaniya universiteti (AQSh) fiziklari nanonaylar asosida elektron mikrosxemalarini ishlab chiqarishning prinsipial yangi usulini yaratdilar. Bu usulga asosan maxsus tayyorlangan integral mikroshemaning yarim mahsuloti (zagotovkasi) nanonayli eritmaga kiritilsa, nanonaylar chipning sirtida oldindan belgilangan nanostrukturani hosil qiladi. Bu jarayon plombirni tayyorlashga o'xshaydi: tayyor muzqaymoq suyuq shokoladga botiriladi va keyin sovutiladi. Endi nanonay – tranzistorlar asosida kompyuterlarni barpo qilish uchun real imkoniyat paydo bo'ldi.

HP kompaniyasi tomonidan «Applied physics» jurnalida e'lon qilingan qator maqolalarda kompaniyada kelajak elektron-hisoblash sanoatining nanoelektronika

bazasini rivojlantirish strategiyasi mavjudligini rasmiy ravishda bildirdi. Kompaniya bo'lim boshlig'i Sten Uilyamsning aytishicha, nanotexnologiyalarni qo'llash natijasida kattaligi molekulaning kattaligidan oshmaydigan kompyuter chiplarini yaratish mumkin bo'ladi. Bu holda odam sochini ko'ndalang kesimida joylasha oladigan hisoblash mashinasini barpo qilish imkoniyati tug'iladi. Chiplarning bunday o'ta kichik o'lchamlari tufayli mobil telefon, shaxsiy kompyuter va boshqa elektron qurilmalar hozirgiga qaraganda juda ko'p funksiyalarni bajara oladi va ancha ixcham bo'ladi.

Kompaniya olimlari yangi nanoelektron kalitlarni kashf etdilar (8-rangli rasm). Bir-biriga parallel joylashgan nanoo'lchamdagi simlarni (shina deb ham yuritiladi) ko'z oldimizga ketiraylik. Endi bu simlarga ko'ndalang yo'nalishda yana bir-biriga parallel nanosimlarni o'tkazaylik. Simlar kesishadigan nuqtalarda diametri 1 nm ga teng kumush nanozarrasi (kvant nuqtasi) joylashtiriladi. Bu nuqtalar nanokalit rolini o'ynaydi. Simlar joylashgan tekisliklar orasiga kuchlanish berilganda, simlarning kesishgan nuqtalarida tok o'tkazuvchi ko'priklar paydo bo'ladi. Kuchlanish bo'lmasa ko'priklar buziladi va tok o'tishi to'xtaydi. Shunday qilib, kalitlarning ochilib, yopilishidan tranzistor va xotira yacheykasi sifatida foydalanish mumkin. Nanosimlarning bir qatlamidagi kalitlarning zichligi 2,5 Gbit/sm² ni tashkil qiladi. Hozirgi kunda ishlatiladigan eng «o'ta zich» joylashgan chip xotirasining zichligi 1 Gbit/sm² dan oshmaydi.

Oldin keltirilgan kvant strukturalari – kvant o'ralari, simlari va nuqtalarining amaliyotda qo'llanishlarini kelajakda nanoelektronika ro'yobga chiqarishiga shubha yo'q. Bunday kvant strukturalarining imkoniyatlari tabiat tomonidan belgilangan shunday fizikaviy chegaraga yaqinlashmoqdaki, bu yerda bir elektron, bir spin, magnit oqimi kvanti, nurlanish kvanti va h.z. lar ishlay boshlaydi. Shuning uchun ham hozirgi kunda nanoelektronikaning

katta istiqbolga ega bo'lgan yana bir qancha yo'nalishlari – monoelektronika (single electronics), spintronika, jozefson elektronikasi faol rivojlanmoqda. Bu yo'nalishlarning imkoniyatlari real amalga oshirilganda, kompyuterlarning ishlash tezligi TGts (teragerts)ga yetishi kutilmoqda. Bu tezlikni tasavvur qilib ko'raylik. Tera (yoki trillion) 10¹² ga teng kattalikdir. Kompyuter bir teragerts tezlikda ishlaganda bir bit axborotni (0 yoki 1) bir sekundda trillion marta yozish yoki o'qish imkoniyatiga ega bo'ladi. Yozilgan axborotning zichligiga kelsak, uzunligi va kengligi bir sm dan bo'lgan yuzaga (yoki sm²) bir ming Tbit (10¹⁵ bit yoki petabit) axborotni joylashtirish mumkin bo'ladi. Qo'l soati kattaligidagi qattiq diskga bunday zichlikda yozilgan axborot, Yer kurrasi aholisining rasmi, barmoq izi, tibbiy daftarchasi va tarjimai holini o'z ichiga olishi mumkin.

Shu o'rinda bu yo'nalishlarga qisqacha to'xtalib o'taylik. Yuqorida aytib o'tilganidek, ikkilik sistemasida operatsiyalarni bajarish uchun turg'un holatdagi ikkita fizikaviy muhit (yoki element) zarur. Bu elementlar logik «0» va «1» ga mos keladi. Bu vazifani ikki atomli molekuladagi elektron atomlarning biridan ikkinchisiga o'tishi natijasida bajarishi mumkin. Demak, elektronning birinchi atomdagi holatini «0» deb olsak, uning ikkinchi atomdagi holati «1» ga mos bo'ladi. Bunday «bir elektronli» qurilmalarning yaratilishi «monoelektronika» dunyosini egallashning boshlanishi bo'lar edi. Kelajakda monoelektronika qurilmalarida bir elektron bilan ish ko'rilsa, zamonaviy elektron vositalaridagi bir operatsiyada yuz minglab elektronlar qatnashadi. «Monoelektron» qurilmalarni barpo qilishdagi yana bir imkoniyat elektronning spini S dan foydalanishdir. Elektron boshqa elementar zarrachalar qatori o'zining spiniga ega. Klassik fizika nuqtai nazaridan spin tushunchasini elektronning o'z o'qi atrofida aylangan-da hosil bo'lgan mexanik va magnit momenti deb

tushunish mumkin. Ammo, spin kvant tabiatga ega kattalik ekanligini unutmasligimiz kerak.

Elektron spini $S_1 = +1/2$ (spin yuqoriga) va unga qarama-qarshi bo'lgan $S_2 = -1/2$ (spin pastga) qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. S_1 holatni «0» va S_2 holatni esa «1» deb qabul qilsak, hisoblashning ikkilik sistemasida istalgan operatsiyani bajara olamiz. «0» dan «1» ga o'tish va qaytish juda kam vaqtni (10^{-15} s) talab qiladi. Chunki, bu operatsiyalarda elektronning fazodagi o'rni emas, balki spinlarning yo'nalishi o'zgaradi. Nanofan va nanotexnologiyalarda butunlay yangi yo'nalish – spintronika shu prinsipga asoslanadi.

Elektronikada sxemotexnika prinsiplarini yangilashning radikal yo'llaridan biri Jozefson effektiga asoslangan o'ta o'tkazuvchan elementlardan foydalanishdan iborat. Jozefson effektini eslaylik. Ikki o'ta o'tkazgichdan tok o'tayotganda, ularning orasida joylashtirilgan o'ta yupqa dielektrikdan ham o'ta o'tkazuvchan materialdan o'tayotgan tokga teng miqdordagi tok o'tadi. O'ta o'tkazgichga aylangan bu dielektrik qatlami (1nm atrofida) Jozefson elementi deb yuritiladi. Bu elementlardan iborat zanjirlardagi tok va u tomonidan hosil qilingan magnit oqimi kvantlanadi yoki diskret qiymatlarga ega bo'ladi. Kvant magnit oqimining diskretligidan hisoblashning ikkilik sistemasi («0» va «1») orqali axborot yozish, o'qish va uni qayta ishlash mumkin. Jozefson elementlaridan axborotni taqdim etishning analog sistemasidan diskret (raqamli) tizimiga o'tishda ham foydalaniladi.

Mikroelektronika sohasidagi ko'pchilik ekspertlarning fikricha, yaqin kelajakda hisoblash texnikasida qo'llaniladigan ko'p elektron qurilmalarning o'rnini foton (yorug'lik kvanti) qurilmalari egallaydi. Bu yerda axborot tashuvchi rolini elektronlar emas, balki fotonlar o'ynaydi. Elektron chiplarda elektronlar oqimidan foydalanilsa, foton chiplarida yorug'lik nuri

(foton) ishlatiladi. Asosiy signal sifatida fotonlardan foydalaniladigan fan sohasi fotonika, deb yuritiladi. Fotonika 1970-yildan buyon rivojlanib kelmoqda. Foton qurilmalari elektron qurilmalarga nisbatan kam energiya talab qiladi va katta hajmdagi axborotni juda yuqori tezlikda qayta ishlashi mumkin. Fotonika telekommunikatsiya, optik tola aloqasi, «yorug'lik kompyuter» («foton kompyuteri») larida va internetda qo'llanilishi mumkin. Internetda axborot oqimlari hajmining kundan kunga nihoyatda oshib borishi elektronikaning optoelektron komponentlarini bundan keyingi rivojlanishida o'ta muhim ahamiyat kasb etadi. Internet tarmog'i barpo etilganda uning liniyalari tomonidan axborotni o'tkazish imkoniyati 1 sekundda 1 terabit (10^{12} bit/s) ni tashkil qilar edi. Bu axborot odatdagi formatdagi 300 000 kitob sig'imiga teng keladi. Solishtirish uchun: 2005-yilda AQSh da o'tkazish qobiliyati 280 terabit/s bo'lgan chastota zonasidan foydalanildi. Bunday katta hajmdagi ma'lumotlar massivlarini boshqarish faqat optoelektron qurilmalar orqali amalga oshirilish mumkin.

IBM kompaniyasining olimlari dunyoda eng kichik foton kommutatorini barpo qildilar. Ular kompyuter chipining ichida axborotni elektronlar orqali emas, balki yorug'lik impulslari orqali uzatish muammosini hal qildilar. Bu kommutator kremniy kristallining sirtida joylashgan bo'lib, uning yuzasi odam sochining ko'ndalang kesimi yuzasidan yuz barobar kichikdir.

Ushbu yo'nalishlar kremniy mikroprotsessorlarida ishlayotgan hozirgi zamon kompyuterlarining ko'rsatkichlaridan yuzlab marta yuqori bo'lgan kvant kompyuterlarini barpo qilishga yo'l ochadi.

Kvant kompyuterlari

Bundan yetti-sakkiz yillar muqaddam kvant kompyuterlari haqida shu sohada ishlayotgan mutaxassislardan tashqari hech kim eshitmagan edi. Keyingi yillari ilmiy jurnallarda kvant kompyuterlariga bag'ishlangan ju-da ko'p maqolalar e'lon qilindi. Ommaviy axborot vositala-ri tufayli kvant kompyuterlariga qiziquvchilar soni ko'paydi.

Nanotexnologiyalarning «otasi» deb tan olingan Nobel mukofoti sohibi Richard Feynman 1982-yili kelajakda tabiatda ro'y berayotgan jarayonlarni kompyuterda to'la modellashtirish mumkinligi haqi-dagi g'oyani oldinga surib, bu vazifani bajarish maqsadida kvant kompyuterlari yaratiladi deb bashorat qildi. Ko'p vaqtdan beri kvant kompyuterlari to'g'risidagi fikr noilmiy fantastika deb hisoblanar edi. Bugungi kunda kvant kompyuterlari nima uchun zarur bo'lib qoldi?

1994-yili amerikalik matematik Piter Shor («AT & Research» kompaniyasi) katta sonlarni oddiy sonlar ko'paytmalariga ajratuvchi o'ziga xos kvant algoritmi (faktorizatsiya algoritmi)ni yaratdi. Bu ixtiro kvant kompyuterlariga qiziqishni oshirdi. Gap shundaki, ochiq kalit orqali shifrlash (asimmetrik algoritm deb yuritiladi) dunyoda eng ko'p tarqalgan usul hisoblanadi. Bunda shifrlangan maxfiy axborotni ochish uchun katta sonni oddiy sonlar ko'paytmasiga ajratish zarur. Agar sizda A va B oddiy sonlar bo'lsa, ularning ko'paytmasi C ($A \times B = C$)ni topish qiyin emas. Katta son C (masalan, u 100 dan ortiq razryadga ega bo'lsa)ni bilgan holda oddiy sonlar A va B larni topish o'ta qiyin masala, chunki bu ko'paytmalarning hamma kombinatsiyalarini ko'rib chiqishga to'g'ri keladi. Agar C soni 250 razryaddan ibo-rat bo'lsa, uni oddiy sonlar A va B larga ajratish uchun zamonaviy kompyuterlar uchun yuzlab yillar kerak bo'ladi. Kelajakda kvant kompyuteri bu masalani

30 daqiqa davomida yechishga qodir bo'ladi. Shunday qilib, Shor algoritmi shifrlangan mahfiy axborotni ocha oladigan algoritmdir. Maxsus xizmat idoralarida, ko'p yillar davomida, odatdagi usulda ochish mumkin bo'lmagan juda ko'p shifrlangan axborotlar to'planib qolgan. Kvant kompyuterlari ishlab chiqilib, bu maxfiy axborotlarni o'qish imkoniyati tug'ilgandagi holatni ko'z oldingizga keltiring. Bank tizimida ishlatiladigan yopiq hujjatlar va internet orqali buyumlarni sotib olishda foydalaniladigan kredit kartochkalarining shifrlarini ham ochish mumkin bo'ladi. Shuning uchun ham kvant kompyuterlari paydo bo'lganda ulardan foydalanish qat'iy ravishda chegaralangan va nazorat ostida bo'lishi lozim bo'ladi. Demak, ko'p mamlakatlarning manfaatdor tashkilotlari kvant kriptografiyasi (maxfiy belgilar bilan yozish tizimi) sohasining rivojlanishi va kvant kompyuterini yaratish uchun katta mablag'lar ajrata boshlagani bejiz emas.

Kvant kompyuterlarining yana bir o'ta muhim ahamiyati shundaki, ular ekspert tizimining yangi avlodini yaratishga imkon beradi. Qarorlarni qabul qilish logikasi hamda bir yoki bir necha ekspertlarning bilimidan foydalanuvchi kompyuter sistemasi ekspert tizimi deb yuritiladi. Bu tizim vaqt, tajriba, bilim va axborot yetishmaydigan qiyin sharoitlarda, asoslangan qarorlarni qabul qilishga qaratilgan. Ekspert tizimlari ko'pincha sun'iy intellekt deb ham ataladi.

Xo'sh, kvant kompyuterining odatdagi kompyuter-dan farqi nimada? Bu farqni yaxshi anglab yetish uchun kvant fizikasining asosiy prinsiplaridan xabardor bo'lish zarur. Shuni e'tiborga olib, kvant kompyuterlari va kvant hisoblashlar haqida (kvant fizikasiz) qisqacha umumiy tushuncha berishga harakat qilamiz.

Kvant kompyuterlari haqidagi hikoyamizni quyidagi solishtirishdan boshlaylik. Ma'lumki, bir partiturani ijro etayotgan orkestrni ko'z oldimizga keltiraylik. Har

qaysi musiqachi cholg'u asbobida o'ziga xos partiyani ijro qiladi. Faraz qilaylik, avval skripka, keyin klarnet, fleyta, baraban va boshqa cholg'u asboblarida tegishli partiyalar ketma-ket ijro etilsin. Bu holda orkestr tomonidan berilayotgan kontsertni to'liq eshitishimiz uchun bir necha kun kerak bo'ladi. Cholg'u asbobi chalinadigan holatni 1 va chalinmagan holatni 0 deb belgilasak, zamonaviy kompyuterni ana shunday orkestrga o'xshatish mumkin. Zamonaviy kompyuter 0 va 1 bitlari bilan ketma-ket manipulyatsiya qiladi. Endi orkestrning hamma cholg'u asboblari parallel (hammasi bir vaqtda), batartib to'liq partiturani ijro etsin. Orkestrning istalgan vaqtdagi holatini 0 va 1 bitlarning kombinatsiyasi masalan, 100101001... sifatida ifodalashimiz mumkin. Bu holda, tamo-shabinlar yoqimli muzika ohanglarini zavq bilan tinglaydilar va kontsert belgilangan 1,5 – 2,0 soatda tugaydi. Orkestrda cholg'u asboblari bir vaqtning o'zida «o'ynagani»ga o'xshash, kvant kompyuterlarida hisoblash parallel ravishda bir vaqtning o'zida amalga oshadi. Shuning uchun ham, hozirgi kunda klassik kompyuterlar amalda yecha olmaydigan murakkab masalalarni kelajakda kvant kompyuterlari juda tez fursatda yechishga qodir.

Odatdagi kompyuterlar axborotni yacheykalarda saqlaydi. Har qaysi xotira yacheykasi ikkita asosiy holatda bo'lishi mumkin. Bu holatlarni 1 yoki 0 deb belgilab, ularni bitlar deb yuritimiz. Shunday qilib, bit birga yoki nolga teng bo'lishi mumkin. Bitning analogi sifatida elektr lampasini ko'rsatish mumkin: lampa yonib turgan holni bir deb qabul qilsak, o'chgan hol nolga to'g'ri keladi. Kvant kompyuterida oddiy kompyuterdagi bitning analogi kubit (kubit inglizcha quantum bit-kvant biti yoki qubit) deb yuritiladi.

Ma'lumki, kvant mexanikasida superpozitsiya prinsipi mavjud. Bu prinsipga asosan, kvant ob'yekti bir

necha holatda turishi mumkin bo'lsa, u shu holatlarda bir vaqtning o'zida mavjud bo'la oladi. Masalan, elektron bir vaqtning o'zida yuzlab holatlarda bo'lishi mumkin. Uning «spin yuqoriga» va «spin pastga» holatlarini olaylik. Superpozitsiya prinsipiga asosan elektron ushbu holatlarda ma'lum ehtimollikda bir vaqtning o'zida bo'lishi mumkin (bu ehtimolliklar bir-birga teng bo'lishi shart emas, lekin ularning yig'indisi birga teng).

Eslaylik, odatdagi ikki bitlik (yoki ikki yacheykalik) registrda $2^2 = 4$ ta holat mavjud. Ular 0 va 1 bitlarning quyidagi kombinatsiyalaridir: 00, 01, 10 va 11. Bir vaqtning o'zida faqat ulardan bittasi registrda saqlanadi va to'rtta kombinatsiyaning har qaysisi bilan alohida amal bajariladi. Demak, registrdagi hamma raqamlar bilan ishlash uchun to'rt qadam kerak bo'ladi. Kvant kompyuterlaridagi ikki kubitlik registrda esa to'rtta kombinatsiya bir vaqtning o'zida registrda saqlanadi va ularning hammasi bilan bir amal bajariladi. Umuman, yacheykalar soni N ga teng bo'lsa, registrda bir vaqtning o'zida 2^N holat (kombinatsiya) mavjud bo'ladi va biror masalani yechish uchun ularning hammasi bilan bir amalning bajarilishi kifoya. Bunga «kvant parallelizmi» deb yuritiladi. «Kvant parallelizmi» ba'zi bir murakkab hisoblashlar samaradorligini zamonaviy kompyuterda bajarilgan hisoblashlarga nisbatan misli ko'rilmagan darajada oshiradi.

Bundan tashqari, kvant va zamonaviy kompyuterlarning orasidagi juda katta farq shundaki, kvant kompyuterining samaradorligi yacheykalarining soni ko'payishi bilan eksponensial ravishda oshadi. Eksponensial o'sishni ko'z oldiga keltirish uchun quyidagi afsonani eslaylik. Hind podshosi shaxmat o'yinini kashf qilgan ixtirochidan bu yangi qiziq o'yin uchun qanday mukofot so'raysan deganda ixtirochi shaxmat doskasining birinchi katagiga bir dona gu-

ruch donini, ikkinchisiga ikki dona, uchinchisiga to'rtta va shu tarzda keyingi har bir katakka oldingisidan ikki barobar ko'p guruch donini qo'yib, menga shuni sovg'a qilsangiz yetadi, deb javob qaytaribdi. Podsho bunday oson iltimosni eshitib, avval hayron qolibdi. Keyin esa bunday iltimosni bajarishning imkoniyati yo'qligini tushunib yetgan ekan. Haqiqatdan ham, shaxmat doskasining 64 ta katagiga guruch donlari ixtirochi aytgandek joylashtirilsa, donni saqlash uchun «omborxonona» yuzasining kattaligi yer yuzasiga teng bo'lsa, uning balandligi esa quyoshgacha yetadi. Bunday «omborxonadagi» guruch donlarining soni 2^{64} ga teng bo'ladi. Ishonmaganlar 2 ning 64 darajasi qanday katta sonligini hisoblab ko'rishlari mumkin.

Kvant kompyuterida ham situatsiya afsonadagidek: mavjud registrga har qaysi yangi xotira yacheykasi qo'shilganda, hisoblash qurilmasining umumiy samaradorligi ikki martaga oshadi. Zamonaviy va kvant kompyuterlarining xotira yacheykalaridagi har xil holatlarning soni bir-biriga teng bo'lsin. Registri 300 bitdan iborat odatdagi kompyuter 2^{300} holatlar (kombinasiyalar)ning har biri bilan ketma-ket alohida amal bajaradi. Kvant kompyuterida esa bir vaqtning o'zida hamma holatlar (to'g'rirog'i, ularning superpozitsiyasi) bilan amal bajariladi. Agar odatdagi kompyuter registrida bir bit o'zgarsa, boshqa bitlar o'zgarmaydi. Kvant kompyuterida esa, bir kubit o'zgarsa unga bog'liq holda qolgan kubitlar ham shu onda o'zgaradi (kogerentlik hodisasi) va superpozitsiya holati bir onda boshqa strukturaga o'zgaradi. Shuning uchun ham kvant kompyuteri gigant tezlikka ega.

Axborot resursi olamdagi atomlarning soni - 10^{80} dan ko'p bo'lgan kompyuterni ko'z oldiga keltira olasizmi? Kompyuterining axborot resursi olamdagi atomlar sonidan 10 darajaga ko'p bo'lishi uchun undagi xotira yacheykalari soni 300 ta bo'lsa yetarli

($2^{300} = 10^{90}$). Butun olam bir atomdan qancha katta bo'lsa, bunday kompyuterining imkoniyatlari oddiy kompyuternikidan shuncha katta bo'ladi.

Hozirgi vaqtda kvant kompyuterini yaratish g'oyasi asoslangan va kvant hisoblash algoritmlari yaratilgan. Endi esa texnikaviy muammolarni hal qilish kerak. Kvant holatlari(kubitlar)ni yaratish uchun unga mos fizikaviy muhit sifatida nanostrukturalarni izlab topish, ularni boshqarish hamda bunday konstruksiyalarni tasodifiy tashqi ta'sirlardan saqlashga qaratilgan izchil ilmiy-tekshirish ishlari olib borilmoqda. Bu muammoni hal qilishda bir necha yondashuvlar mavjud.

Yaqinda IBM kompaniyasi hozirgi kunda eng katta kompyuter hisoblangan 7 kubitlik kvant kompyuterining prototipini taqdim etdi. Fizikaviy muhit sifatida 5 ta fluor va 2 ta uglerod atomlaridan iborat sun'iy molekuladan foydalanildi. Bu molekula 7 kubitlik registr rolini o'ynaydi. Molekula tarkibidagi atomlar «spin yuqoriga» va «spin pastga» holatlarida joylashgan. Spinlar radiochastotali impulslar orqali boshqariladi. 2001-yilning dekabr oyida IBM kompaniyasi Shor algoritmi yordamida 15 sonini 3 va 5 oddiy ko'paytmalarga ajratishga muvofiq bo'ldi. Bu yutuq kvant kompyuterlarini yaratishdagi ilk qadam deb hisoblash mumkin.

YaMR (yadroviy magnit rezonans) – spektrometrini ko'pchilik eshitgan yoki ko'rgan bo'lsa kerak. Bu spektrometrni kvant kompyuterining bir varianti, deb qarash mumkin. YaMR – spektrometrda o'rganiladigan molekula yadrolarining spinlarini kubitlar, deb qarash mumkin.

2012-yili fransuz olimi Serj Arosh va amerikalik Devid Jey Vaynlendlarga individual kvant sistemalari bilan manipulyatsiya qilishning eksperimental usullarini yaratganlari uchun fizika sohasida Nobel mukofoti berildi. Kelajakda bu prinsiplar asosida kvant kompyuterlarini yaratish mumkin bo'ladi.

Nanotexnologiyalar aerokosmik sohasida

Aviatsiya va kosmonavtika ilmiy-texnikaviy progressni shakllantirgan sohalardan biri hisoblanadi. Bu sohaning jadallik bilan oshib borayotgan ehtiyojlarini qondirish maqsadida juda ko'p ilmiy muammolar o'z yechimini topdi va yangi ilmiy-texnikaviy loyihalar, yuksak texnologiyalar vujudga keldi. Aviakosmik soha kashfiyotchilari xalq xo'jaligi va harbiy soha uchun ilg'or texnikani yaratishda umuminsoniy ahamiyatga molik bo'lgan yangi inqilobiy g'oyalar va yondashishlarni oldinga surdilar. Bu sohaning istiqbolli ishlanmalarida nanotexnologiyalarni qo'llashga katta e'tibor berilmoqda. Yaqin kosmos va Megadunyoni faol o'rganishda mitti dunyo – nanodunyoni o'zlashtirish va nanotexnologiyalarning afzalliklaridan yangi texnikani yaratishda foydalanish rejasi tuzilgan. Bunga asosan yuqori mustahkamlikka ega bo'lgan yengil konstruksion materiallar, nanoelektromexanik sistemalar, jumladan miniatyur sensor va asboblardan hamda avionika (aviatsiya va elektronika so'zlaridan olingan, bortdagi radioelektron qurilmalarni aks ettiradi) elementlari, issiqlik va yemirishga chidamli qoplamlar, yuqori samarali yonilg'i, energetik qurilmalar, kosmik apparatlarda hayotni ta'minlash tizimi va boshqa muhim yo'nalishlarda nanotexnologiya yutuqlaridan keng foydalaniladi. Yaqin kelajakda Yerning mitti sun'iy yo'ldoshlari, pilotsiz uchuvchi kosmik kemalarni kosmosga chiqarish va boshqa bir qancha yangi loyihalar amalga oshirilishi mo'ljallanmoqda. Keyingi bosqichdagi rejalaridan biri – kosmik liftidir. Geostatsionar orbitada joylashtirilgan massiv jism bilan Yer orasida tarang tortilgan o'ta mustahkam va yengil nanonaylardan yasalgan tros kosmik liftning asosini tashkil qiladi. Bu tros orqali yuklarni kosmik stansiyaga qimmatbaho raketalarda emas, balki kanat yo'li orqali yetkazish mumkin bo'ladi.

Bu holda raketaning yonish mahsulotlari atrof-muhitni iflos qilmaydi.

Endi, nanotexnologiyalarning aerokosmik texnikasida foydalanish istiqbollari batafsilroq to'xtalaylik.

Aviatsion texnika. Ekspertlarning fikriga ko'ra, yaqin 20 yil davomida aviapassajirlarni tashish jahon trafigi (trafik-harakat) yiliga 5 foiz tezlikda oshadi. Bu esa o'z navbatida aviataxnika parkini ko'paytirishga olib keladi.

Uchish xavfsizligini kamaytirish, zararli gazlarning chiqishini va shovqin darajasini kamaytirish, uzoqqa ucha olish masofasini va tezligini oshirish, yo'lovchi va yuklarni tashish tannaxsini kamaytirish kabi bir qancha ko'rsatkichlarga qo'yiladigan talablar yildan-yilga oshib bormoqda. Keltirilgan bu muammolarning yechimi aviataxnika uchun mustahkam va bir vaqtning o'zida yengil konstruksion yangi materiallarni yaratishdan iborat. Tarkibiga uglerod nanonaylari kiritilgan nanokompozitsion materiallar juda perspektiv hisoblanadi. Ular po'latdan o'nlab marta mustahkam bo'lishi bilan birga zichligi olti marta kamdir. Bunday materiallardan yasalgan samolyotlar konstruksiyasining massasi zamonaviylarnikidan ikki marta kamayadi. Nazorat qilish va boshqaruvchi qurilmalar (avionika) va samolyotning ichki pardozlashini yaratishda yangi prinsip va nanomateriallarga o'tish samolyotni yanada yengillashtiradi. Zamonaviy samolyotlar asosan, tarkibiga 20 foiz atrofida yuqori mustahkamlikka ega mikrometr o'lchamidagi polimer tolalar kiritilgan alyuminiy qotishmalaridan yasalgan. Yangi loyihaga ko'ra, samolyotning massasini kamaytirish maqsadida Boing 787 Dreamliner samolyoti yasalgan materialda bu polimerning ulushi 50 foizni tashkil qiladi. Samolyotsozlikda uglerod nanonaylari kiritilgan alyuminiy qotishmalari samolyotning massasini yana 60-70 foizga kamaytiradi.

Polikristal metallning zarralari o'lchamlarini kamaytirish yo'li bilan uni nanokristal holiga keltirish mumkin. Bu usulda olingan alyuminiy va titan qotishmalarining emirilishi ikki martaga kamayadi. Ma'lumki, samolyotning tezligi, yonilg'i tejalishi va uchish xavfsizligi ko'p jihatdan dvigatelning holatiga bog'liq. Yuqori termobardoshlikka ega yengil va mustahkam nanomateriallarning qo'llanishi aviatsiya dvigatellarining foydali ish koeffitsientini (FIK), solishtirma quvvatini va boshqa muhim ko'rsatkichlari samaradorligini oshiradi. Aviatsiya va raketa yoqilg'isiga nanozarralarni kiritish uni yonish samaradorligi va dvigatelning quvvatini oshiradi hamda bir vaqtning o'zida yonilg'ini tejashga imkon yaratadi.

Aerodinamika sohasida ishqalanishni kamaytirish maqsadida aerodinamik sirtlarni kimyoviy inert nanozarralar bilan qoplash imkoniyati o'rganilmoqda. Samolyot qanotlarining muz bilan qoplanishiga qarshilik ko'rsatuvchi qalinligi bir necha nanometrda oshmaydigan turli nanoqoplamalar ishlab chiqilmoqda. Yaqinda Pitsburg universiteti (AQSh) qoshidagi Suonson texnologik kolleji (Swanson School of Engineering) professori Gao Di laboratoriyasida olingan nanoqoplamaning istalgan qattiq sirtga qoplash mumkin va u muz hosil bo'lishiga katta qarshilik ko'rsatadi. Gao va uning guruhi o'lchamlari 20 nanometrda 20 mikrometrgacha bo'lgan kremniy nanozarralarga ega bo'lgan kremniy organik yelimni (smola) olishga muvaffaq bo'ldilar. Bu smola bilan qoplangan alyuminiy plastinkasining ustidan harorati minus 20 gradus selsiyga teng muz aralash suv (do'lga o'xshash) quyilgan. Natija ko'rsatdiki, 10 mikrometrdan kichik zarralar suvni itarib tashlasalarda, diametri 50 nanometrda kam bo'lgan kremniy nanozarralariga muzlashni to'liq oldini olar ekan.

Kosmonavtika. Isiqbolda nanotexnologiyalar

mahsulotlarini kosmonavtikada keng qo'llash uchun yangi loyihalar tayyorlanmoqda. Nanostrukturlangan materiallarni bu sohada qo'llash istiqboli ularning juda ajoyib mexanik, optik, issiqlik, elektr va magnit xususiyatlari bilan bog'liq. Polimerlar va metallar matritsasiga uglerod nanonaylari kiritilgan nanokompazitsion materiallar kelajakda keng qo'llanishi kutilmoqda. Kosmik texnika uchun elektronika odatdagi talablardan tashqari radiatsiya ta'siriga bardosh bera olishi shart. Bu ta'sirning intensivligi quyoshdan chiqarilgan protonlarning oqimiga bog'liq. Radiatsiyabardosh tranzistorlar, mikroprotessor integral sxemalari, energetik mustaqil xotira qurilmalariga o'xshash ob'yektlar uchun istiqbolli strukturalar sifatida nanonaylar ishlatiladi. Nanotexnologlar kosmik kemani energiya bilan uzluksiz ta'minlashga qaratilgan qator innovatsion loyihalarni taklif qilmoqdalar. Kosmik kemalarni kosmosga olib chiquvchi raketalarining odatdagi yonilg'isi ammoniy perxlorati (NH_4ClO_4) dir. Bu yonilg'iga o'lchami 60-120 nm bo'lgan kam miqdordagi alyuminiy nanokukunlari bilan molibden trioksidi (MoO_3) yoki vismut trioksidi (Bi_2O_3) aralashmasi kiritilsa, uning ko'rsatkichlari juda ham yaxshilanadi. Hozirgi kunda bu kukunlarning sanoatda ishlab chiqarilishi yo'lga qo'yilgan.

Hozirgi kunda bizga yaqin kosmik ob'yekt (masalan, Oy va Mars)larni zabt qilish real hodisaga aylanmoqda. Bu yerda, birinchi navbatda kosmik kemanding ekipaji va bortda joylashgan asboblarni yuqori energiyali kosmik nurlardan himoya qilish muammosi mavjud. Bu masala tarkibiga uglerod nanonaylari kiritilgan materiallar yordamida o'z yechimini topishi mumkin. Kosmosga uchishda kosmonavtlarning sog'lig'i holatini uzluksiz monitoringini olib borish o'ta muhim vazifa hisoblanadi. Albatta, kosmosda parvoz qilishda, Oy va sayyoralarini zabt qilishda odam uchun yot bo'lgan sharoitlarga ko'nikish va ko'p vaqt

davomida yashashni ta'minlash muammosi o'ziga xos yechimini topishi zarur. Masalan, odamlarni zararli muhitdan muhofaza qilish va mehnat faoliyatlari uchun yetarli sharoitlarni yaratish, olingan jarohatlarni o'z-o'zidan davolanishi, kosmonavtlarning sog'lig'i holatini uzluksiz ravishda monitoringini olib borish maqsadida nanotexnologiyalar yordamida maxsus kiyimlar yaratiladi.

Kosmosni zabt etishda avtonom ishlaydigan qurilmalar – nanorobotlardan foydalanish imkoniyatlari jiddiy o'rganilmoqda. Yengil va mustahkam materiallardan tayyorlangan va tan narxi yuqori bo'lmagan bunday qurilmalarni molekulyar nanotexnologiyalar yordamida ishlab chiqarishni yo'lga qo'yish rejalashtirilmoqda. Nanorobotlar kosmosni o'rganishdagi xarajatlarni kamaytirish bilan bir qatorda Yerda mineral resurslarni yetishmasligi bilan bog'liq muammolarni ham hal qila oladi. O'z-o'zidan yig'iladigan avtonom nanorobotlardan foydalanib, komosdagi ob'yektlar (masalan, Oy, planetalar)dagi foydali qazilmalar konlarini o'zlashtirishga qaratilgan loyihalar tayyorlanmoqda.

Nanorobotlar mustaqil ravishda tekshirish ishlarini amalga oshirishi, olingan natijalarni tahlil qilishi va Yerga uzatishi, o'ziga o'xshash sistemalar bilan aloqa o'rnatib, markazdan berilgan vazifalarni birga bajarishi, buzilgan elementlarni o'zlari tiklashi va boshqa juda ko'p funktsiyalarni bajarishga qodir bo'ladilar. Bugungi kunda bunday ilk sistemalar – nanorobotlar Yerda sinab ko'rilmoqda.

2001-yili Kaliforniya universiteti olimlari «motes» deb nomlangan 6 ta nanorobotni sinab ko'rdilar. Ular samolyotdan yerga tashlanganda bir-birlari bilan bog'lanib, o'zlari joylashgan yerdagi magnit maydoni va yonlaridan o'tgan avtomobilning tezligi va yo'nalishini aniqlab, radio orqali markazda joylashgan kompyuterga yetkazdilar. Kelajakda bunday nanorobotlar jang

maydonida jangchilar va harbiy texnikaning harakati to'g'risidagi to'liq axborot tegishli yerga jo'natiladi. AQSh da bunday qurilmalardan ekologiya, ornitologiya va xalq xo'jaligining boshqa yo'nalishlarida foydalanish yo'lga qo'yilmoqda (9-rangli rasm).

Yuqorida bayon qilingan kosmonavtikaning an'ana-
viy masalalarini hal qilishda nanotexnologiyalarning qo'llanilishi hozirgi kunda amalga oshmoqda va kelajak uchun mo'ljallangan rejalarni amalga oshishiga hech shubha yo'q. Bu real loyihalar bilan bir qatorda istiqbolga mo'ljallangan loyihalar mavjudki, ular ko'pchilikka fantastikaga o'xshab tuyulishi tabiiy. Shuni eslash joizki, bundan bir-ikki asr avval ertaklardagi o'zi uchar gilamlar, tez yurar etiklar, uzoq yerlardan tasvirni ko'rsatuvchi sehri ko'zgular bugun hech kimni hayratda qoldira olmaydi. Bu yo'nalishda nanotexnologiyalarning roli nimada? Hozirgi kunda eng ko'p muhokama qilinayotgan g'oyalar – kosmik lift, kosmosni zabt etish, odamlarsiz boshqariladigan kosmik kemalar va nanorobotlardir. Bu g'oyalarni amalga oshishi 2020 – 2050-yillarga mo'ljallanmoqda. Bu loyihalar bilan qiziquvchilar Amerika aerokosmik agentligi (<http://www.esa.int/gsp/ACT/ariadna/index.htm>) va Yevropa kosmik agentlik (<http://www.niac.usra.edu>)lari obzorlarida keltirilgan axborotlar bilan tanishishlari mumkin.

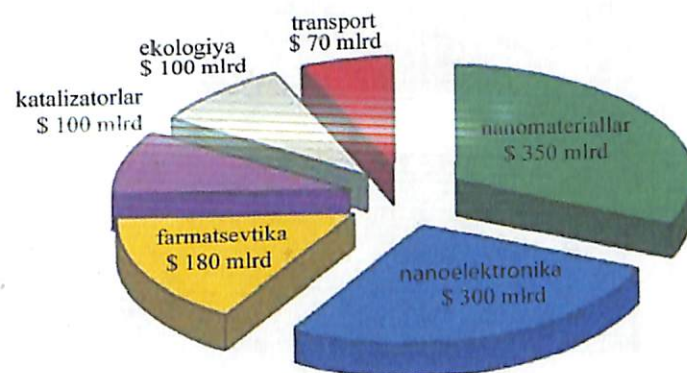
Kosmik lift g'oyasi 37 786 km balandlikdagi geostatsionar (Yer yuzasiga nisbatan qo'zg'almas) orbitada yerning aylanish tezligida harakat qilayotgan kosmik stansiyani kosmodrom bilan uzunligi 100 000 km bo'lgan supertros orqali bog'lashdan iborat. Tros bo'ylab elektromagnit maydoni ta'sirida harakat qiluvchi uzatmalar yordamida maxsus telejkalar (kanat yo'llardagi telejkalarga o'xshash) yuklarni istalgan balandlikka ko'tarishi mumkin. Bu g'oyani amalga oshirish uchun juda yengil va o'ta mustahkam tros zarur bo'ladi. Bunday talablarga javob bera oladigan

material nanonaydir. Ammo, bugungi kunda sintez qilinayotgan, uzunligi bir necha mm dan oshmaydigan nanonaylarni bir-biriga ulab ko'p kilometrli iplarni olish hamda ulardan trosni hosil qilish texnologiyasi hali yaratilmagan. Nanonaylar asosida istalgan uzunlikdagi trosni olishga fanda hech qanday taqiq yo'q.

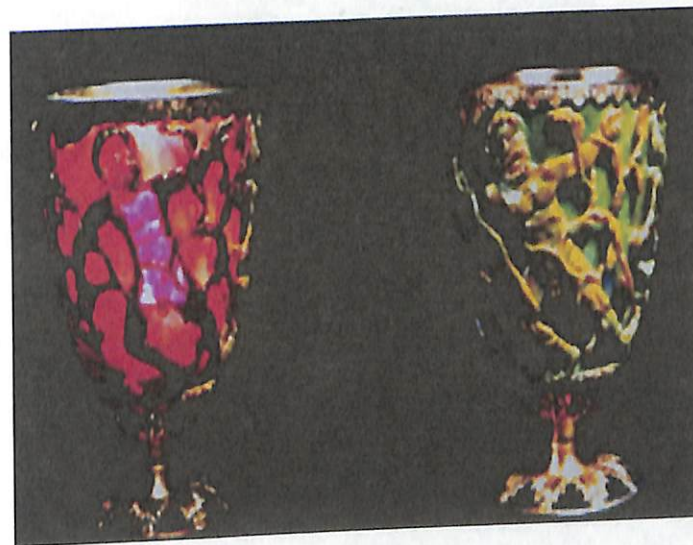
Nanorobotlar yoxud assemblarlar

Oldin qayd qilganimizdek, fizika bo'yicha Nobel mukofoti laureati Richard Feynman manipulyatorlar yordamida alohida atomlarni bir yerdan ikkinchi yerga ko'chirish mumkinligi va bu jarayon hozirgi kunda ma'lum bo'lgan fizik qonunlarga zid emasligini uqtirgan edi. R. Feynman, atomlar bilan ishlay oladigan manipulyatorlar qanday bo'lishi lozimligi haqida to'xtaladi. Uning fikricha, shunday qurilmani yaratish kerakki, u o'zining o'n marta kichik nusxasini yaratsin. Yaratilgan kichik qurilma yana o'zining o'n marta kichik nusxasini yaratsin va shunday jarayon qurilma o'lchamlari atom o'lchamiga yaqinlashib kelguncha davom etsin. E'tirof qilish zarurki, bunday kichik qurilmalardagi o'zaro ta'sir kuchlarining bir-biriga nisbati o'zgaradi. Atom masshtabidagi qurilmalarda asosiy rol ni molekulalararo kuchlar o'ynaydi. Bunday qurilmalarni nanomashina yoki nanorobotlar deb ataladi. Bu nanomashinalar atomlardan makroob'yektlarni yig'ishi mumkin. Bu uchun, bunday nanorobotlar zarur miqdordagi molekula va energiya bilan ta'minlansa, hamda ularning xotirasiga makrobuyumlarni yig'ish dasturi yozib qo'yilsa kifoya.

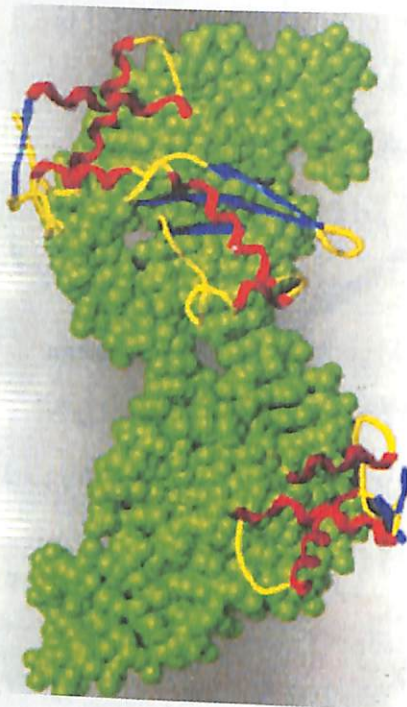
Erik Drexler o'zining «Bunyodkor mashinalar va bo'lajak nanotexnologiyalar erasi» asarida R. Feynman va yozuvchi - fantastlarning g'oyalarini birlashtirib, XXI asr «ongli hayot muhiti»ning manzarasini tavsiflab berdi: nanorobotlar har bir buyumda, har bir odam organizmida mavjud bo'laveradi va insoniyat atrof-



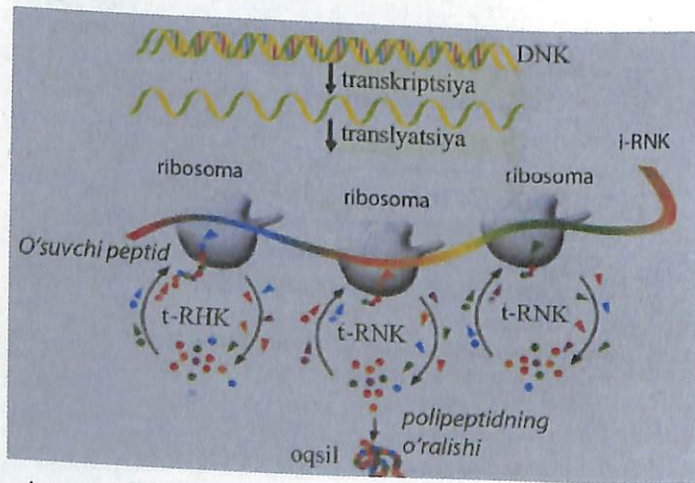
1-rasm. Nanotexnologiyalar mahsulotlari bozorinig hajmi



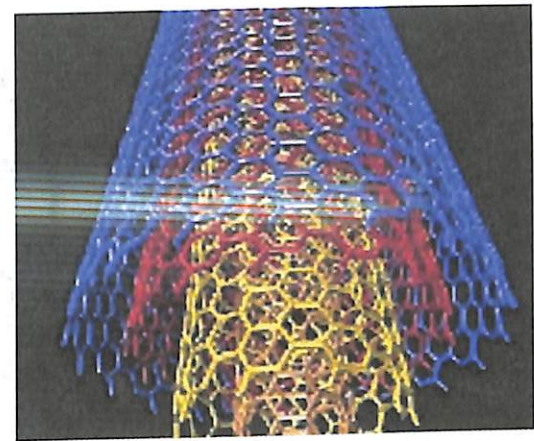
2-rasm. Metall nanozarralari rangini uning o'lchamlariga bog'liqligi



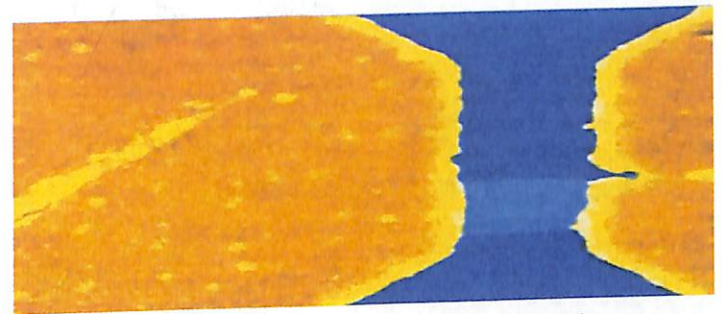
3-rasm. Oqsil molekulasini



4-rasm. Ribosoma tomonidan oqsil molekulasini sintez qilinishi



5-rasm. Ko'p qatlamli nonanay



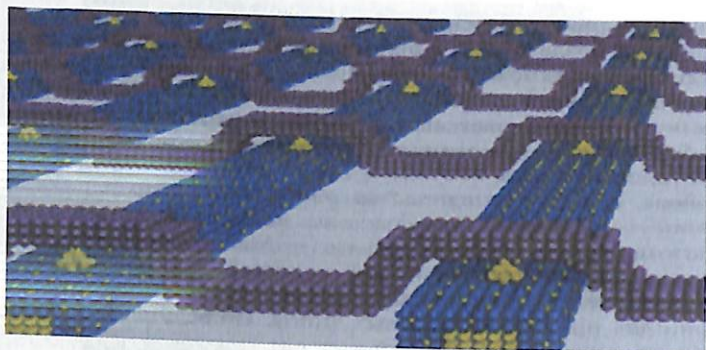
6-rasm. Grafen asosidagi nanotranzistor



7-rasm. Vodorod yonilg'i elementining sxematik tasviri

O₂

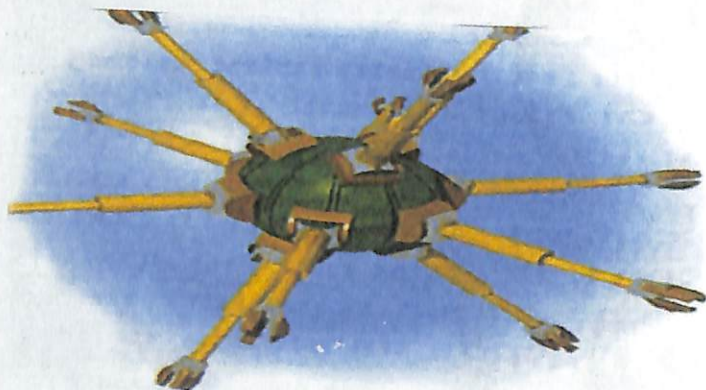
H₂



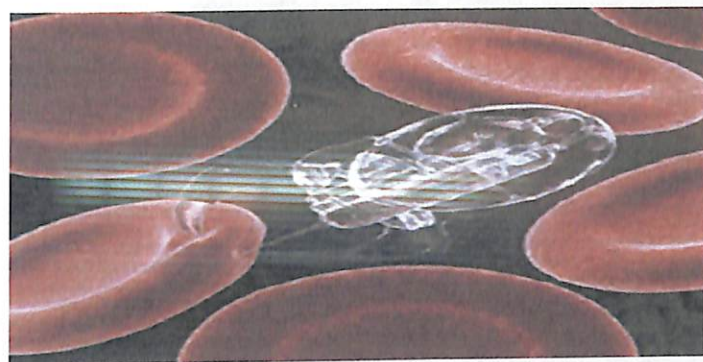
8-rasm. Nanoelektron kalitlar matritsasi



9-rasm. Nanorobotlar



10-rasm. Assemblerning tashqi ko'rinishi



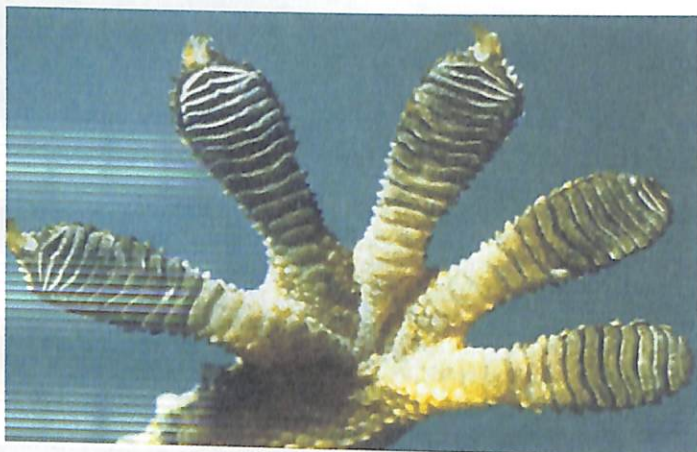
11-rasm. Nanomashina (yoki molekulyar robot)



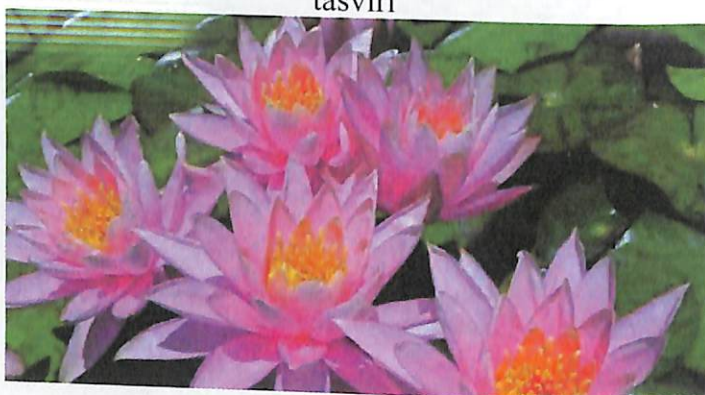
12-rasm. Pekindagi Milliy teatrning gumbazi («Tuxum» nomi berilgan) TiO₂ bilan qoplangan



13-rasm. Gekkon



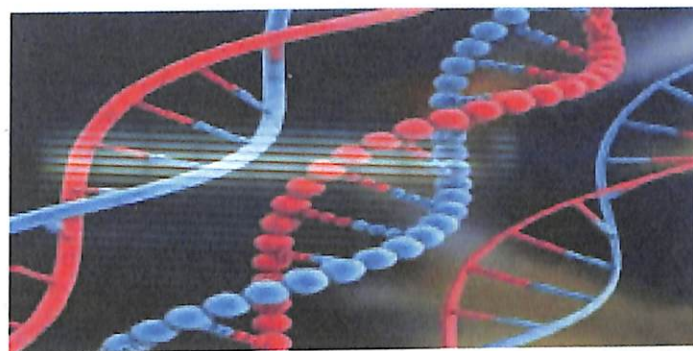
14-rasm. Gekkon panjasining kattalashtirilgan tasviri



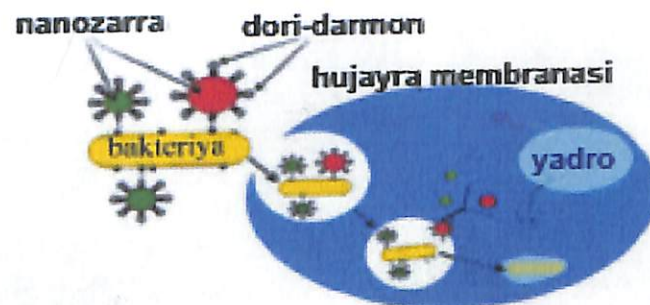
15-rasm. Nilufar (Lotos) guli



16-rasm. Goloturiya (dengiz bodringi)



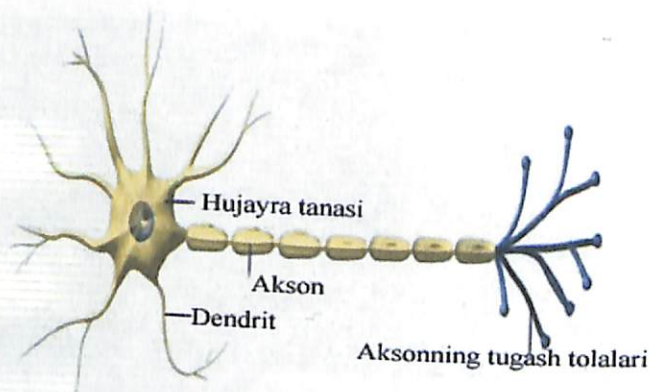
17-rasm. DNK strukturasi



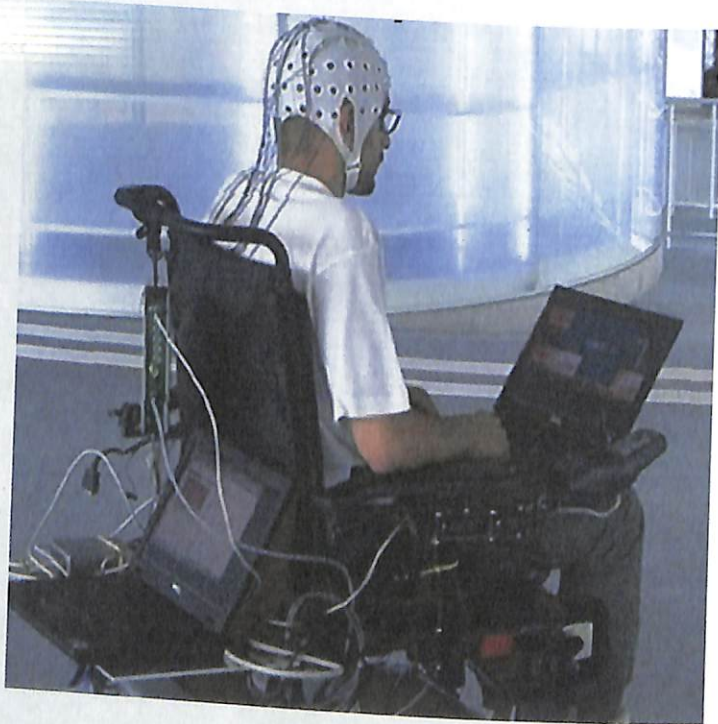
18-rasm. Hujayralarni davolash uchun nanozarralarga “yuklangan” dori-darmon va DNK malekulasining fragmentlarini (genlar bilan birga) manzilga yetkazish usuli



19-rasm. Laboratoriya chipda



20-rasm. Neyronning tuzilishi



21-rasm. Neyro – kompyuter interfeysi

olam bilan qo'shilib, yagona ongli kompyuterga aylanib ketadi. E. Dreksler nanorobotlar o'rniga kompyuter nazoratida ishlaydigan submikroskopik mexanik manipulyatorlarga ega bo'lgan qurilma – «assembler» (inglizcha assembler – yig'uvchi demakdir) g'oyasini ilgari surdi. O'z-o'zidan replikasiya (o'z nusxasini yaratish)ga qodir bo'lgan, nisbatan oddiy kimyoviy qurilish bloklaridan (atomlar, molekularlar va h.z.) istalgan molekulyar struktura yoki qurilmani yig'ish uchun dasturlangan molekulyar mashina assembler deb yuritiladi (10-rangli rasm). Demak, assembler tarkibidagi molekulyar kompyuterda o'rnatilgan dasturga asosan, o'z nusxalarini yaratish qobiliyatiga ega bo'ladi. Agar, shunday assemblerning bir donasi yaratilsa, bir necha soatdan so'ng uning minglab nusxasiga ega bo'lishimiz mumkin. Alohida atomlar va molekularlardan makroob'yektlarni yig'a oladigan, assemblerga nisbatan yirik qurilma nanofabri-ka deb yuritiladi. Nanoassembler nanofabrikaning xususiy holi hisoblanadi. Juda katta guruhlariga birlashib ishlaydigan assembler(yoki nanofabrika)lar va maxsuslashtirilgan nanomashinalar kam xarajat bilan istalgan makroob'yektni yaratishlari mumkin. Ular, xotiralaridagi dastur asosida har bir atomni yuqori aniqlikda zarur yerga joylashtirib, yuqori sifatga ega mahsulotlarni ishlab chiqishga qodir bo'ladi. Foydalanilmagan molekularlar ham shunchalik aniq nazorat ostiga olingan bo'ladiki, ishlab chiqarish jarayoni deyarli chiqindisiz bo'ladi. Ribosomalar misolida bunday yondashishning to'g'ri ekanligini tasvirlab berish mumkin. Avval hujayralarning uzluksiz ravishda o'zini o'zi yaratish qobiliyati haqida hikoya qilgan edik. Hujayradagi ribosoma molekulari organizmdagi 20 ta aminokislotadan sayyoramizdagi istalgan tirik organizmlarda foydalaniladigan barcha oqsillarni ishlab chiqara oladi. Bir necha kub nanometr

kattalikdagi ribosoma, oqsillarning tarkibiy qismi – aminokislotalarni muayyan tartibda ketma-ket birlashtirib, deyarli istalgan turdagi oqsilni hosil qilishga qodir. Buning uchun ribosoma kerakli aminokislotani tanlab olish imkoniga ega. Xuddi shunga o'xshash, assemblerlar yo'riqnoma (dastur) bo'yicha ixtiyoriy molekulyar strukturani yaratishi mumkin. Biroq, assemblerlar ribosomalardan farqli o'laroq, bir o'lchamli o'suvchi murakkab molekulyar strukturaga (o'suvchi polipeptidga o'xshash) qo'shilayotgan molekulyar komponentlarni uch o'lchovda va ixtiyoriy orientatsiyada joylashish imkonini ta'minlaydi. Bunga qo'shimcha ravishda, assembler kimyoviy bog'lanishlarni ribosoma kabi bir ko'rinishda emas, balki turli ko'rinishlarda shakllantira oladi. Hozirgi kunda genetika sohasida ishlayotgan muhandislar biologik materiallar (aminokislotalar, oqsillar, RNK, DNK molekulari va h.z.) asosida birinchi eksperimental sun'iy nanomashinalarni yaratishga urinmoqdalar. Bunday organik nanomashinalarning imkoniyati chegaralangan, albatta. Bu tipdagi nanorobotlar yuqori temperatura va bosimga hamda kimyoviy agressiv muhit va radiatsiya ta'siriga chiday olmaydilar. Bundan tashqari bunday mashina qattiq jismlarni qayta ishlay olmaydi. Shuning uchun ham nanomashina – assemblerlar tirik tizimlar bilan bir qatorda texnik tizimlar asosida yig'ilishi zarur. Texnik nanoassembler juda murakkab qurilma bo'lishidan qat'iy nazar, funksional imkoniyalari jihatidan unga o'xshash bo'lgan tirik tizimdan yig'ilgan nanoassemblerga nisbatan ancha oddiy tuzilgan bo'ladi. Nanoassemblerni yaratishda modul usulini qo'llash mumkin va uning detallarini hozirdan ishlab chiqishni boshlash mumkin. Nanoassemblerlar deyarli barcha strukturalarni yarata olish bilan birga, oldin uqtirganimizdek, o'ziga o'xshash boshqa assemblerlarni ham yig'a oladi. Shunday qilib, assemblerlarni ishlab chiqarish tannarxi faqat xomashyo va energiya narxlari-dan iborat bo'ladi.

Nanotexnologiyalarda asosiy murakkablik – birinchi nanoassemblerni yaratishdir. Buning uchun bir necha yo'nalishlar mavjud. Ulardan biri, skanlovchi tunnel mikroskop va atom-kuch mikroskoplarini yanada takomillashtirishdan iborat. Bu mikroskoplar atom va molekularlarni fazoda yetarlicha aniqlik bilan joylashtira olishi uchun zarur bo'lgan pozitsion aniqlik va yetarlicha qamrab olish kuchiga ega bo'lishiga erishish zarur. Bu yo'nalishda muayyan yutuqlarga erishildi. Ammo, bu usulda faqat nano va mikro o'lchamdagi ob'yektlarni yig'ish mumkin bo'ladi.

Birlamchi nanoassemblerlarni yaratishga oid boshqa yo'l kimyoviy sintez yo'lidir. Eritmada o'z-o'zidan yig'ilish xossasiga ega bo'lgan faol kimyoviy komponentlarni hosil qilish va sintezlash mumkin. Nanoassemblerlar yaratishning yana bir yo'li biokimyoga olib keladi. Ribosomal ixtisoslashtirilgan assemblerlar hisoblanadi va biz ulardan universal assemblerlar yaratishda foydalanishimiz mumkin.

Universal assemblerlar kimyoviy qonunlarga zid emasligi haqida E. Dreksler o'zining «Nanosistemalar» (1992-y) nomli kitobida aytib o'tgan edi. Bu kitobda, shuningdek, universal assemblerlar keng ko'lamda foydali ob'yektlarni, shu jumladan, o'ta yuqori quvvatli kompyuterlarni yaratishga qodir ekani ham bayon qilingan. Haqiqatdan ham, atom aniqligida tavsiflangan va kimyoviy qonunlarga zid bo'lmagan barcha istalgan strukturalarni molekulyar assemblerlardan arzon va deyarli isrofsiz tuzish mumkin.

Dizassembler-ob'yektlarni atomlarga ajratish va ularning strukturalarini eslab qolishga qodir bo'lgan nanomashinadir. Dizassemblerlar assemblerlar va kompyuterlar birga ishlashlari mumkin. Masalan, biror ob'yektning nusxasini tayyorlash uchun dizassembler uning strukturasini atomma-atom bo'laklarga ajratadi va atomlarning turlari, qanday joylashganligi haqidagi

axborotni assemblerning kompyuteriga yo'naltiradi. Bundan keyin esa, assembler ob'yektning minglab nusxasini yig'ishi mumkin.

Odamning vaqt o'tishi bilan qarishining sababi nimada? Zamonaviy gerontologlarning fikriga ko'ra, qarishning asosiy sababi molekulyar tabiatga ega. Tashqi ta'sirlar natijasida molekular atomlarga ajralishi, boshqa turdagi molekularga aylanishi va strukturasini o'zgarishi mumkin. Bu holda ularning o'z funksiyalarini bajarish samaradorligi o'zgarishi mumkin. Vaqt o'tishi bilan odam organizmidagi molekularning shikast yetkazuvchi faktorlar ta'sirida funksional qobiliyatlarini yo'qota boshlashi molekulyar darajadagi qarish deb qarash mumkin. Qarilikka qarshilik ko'rsatish uchun organizm strukturasini molekulyar darajada muntazam ravishda to'g'rilab, tuzatib borish zarur. Nanotexnologiyalarning jadal rivojlanayotganligini hisobga olib, bir necha o'n yillardan keyin qarish jarayonini susaytirish va keyinchalik esa, umuman to'xtatish mumkin bo'ladi. Qarilikni davolash jarayoni taxminan quyidagicha amalga oshadi. Patsientga in'yeksiya orqali molekulyar robotlar (nanorobotlar) kiritiladi (11-rangli rasm). Davolash davrida assemblerlar molekula va hujayralarning ma'lum fragmentlarini topadi va ularni zarur yerga ulaydi yoki chetlashtiradi, maxsus dastur asosida molekular va hujayra strukturalarini qismlarga ajratadi va yig'adi.

Assemblerlar hujayralarning ichiga kira oladigan va ularning strukturalarini o'rganib, diagnoz qo'ya oladigan hamda zarur bo'lganda ularni o'zgartira oladigan nanomashinalarni yig'ishga qodir bo'ladi. Hujayralarni ta'mirlay oladigan bunday nanomashinalarning o'lchamlari bakteriya va viruslar kattaligida bo'lib, to'qima va hujayralarning ichiga kirishi hamda hujayra membranasini ochib-yopish imkoniyatiga ega bo'ladi. Ta'mirlash mashinalari hujayra ichida, birinchi

navbatda, hujayralarning tarkibiy qismi va ularning funksional holatlarini baholaydi va zarur «ta'mirlash» ishlarini boshlaydi. Ular birma-bir molekular va strukturalar ustida ishlab, butun hujayralarni tiklaydilar. Hujayrama-hujayra to'qimalarni tiklab, butun organlarni ta'mirlaydi. Shunday qilib, ta'mirlash mashinalari to'la organizmni yoki odam sog'ligini tiklaydi.

Oxirgi o'n yilliklarda ko'p olimlar o'zlarining nanofabrika va nanoassembler konsepsiyalarini taklif qildilar. Bu haqdagi axborotni R. Freytas va R. Merklelarning *Kinematic Self-Replicating Machines* (2004-yil) nomli kitobidan topish mumkin. Bunday qurilmalarning real paydo bo'lishi mumkinligi va ularning imkoniyatlari Buyuk Britaniya qirolligi muhandislik akademiyasi (2004-yil) va AQSh Milliy akademiyasining (2006-yil) hisobotlarida e'lon qilingan.

Nanoassemblerning yaratilishi ulkan imkoniyatlarni tug'diradi. Nanofabrikani yarata oladigan darajasidagi nanotexnologiyalarga ega bo'lgan jamiyat o'zining barcha iqtisodiy va ekologik muammolarini yechish hamda o'z a'zolarining turmush darajasini misli ko'rilmagan darajaga ko'tarishga qodir. Bunday yuqori darajadagi nanotexnologiyalar nanotibbiyot, o'ta quvvatli kompyuterlar, miya – kompyuter interfeyslari, miyani skanlash va xavfsizlik bilan bog'liq texnologiyalarni behad rivojlanishga olib keladi. Shunday qilib, aytish mumkinki, assemblerlarning yaratilishi, insoniyat hayotini par mashinalari yoki elektrni o'zlashtirishga nisbatan ko'proq o'zgartirishiga shubha yo'q.

Mitti bunyodkorlar qurilishda

Tabiiy qurilish materiallari tosh, yog'och, tuproq va qum ibtidoiy davrdan hozirgacha ishlatilib kelinmoqda. Beton, po'lat, shisha va polimer kabi sun'iy qurilish materiallari qurilishda ko'plab yillar davomida ishla-

tilishiga qaramay ularning tarkibi va strukturasi jiddiy o'zgarishlar yuz bermagan. Shuning uchun ham qurilish konservativ soha hisoblanadi. Oldin muhokama qilingan elektronika, mashinasozlik, tibbiyot kabi bir qancha sohalarda innovatsion loyihalarning qo'llanishi, jumladan nanotexnologiyalardan foydalanish hamma uchun sezilarli darajada amalga oshmoqda. Buning sababi, bu sohada ishlatiladigan materiallar hajmining kichikligidir. Qurilish, qishloq xo'jaligi, oziq-ovqat va ommaviy ist'emol mollari kabi iqtisodiyotning bir qancha sohalarida qo'llaniladigan materiallarning juda katta bo'lganligi tufayli nanotexnologiyalardan foydalanish sezilarli darajada amalga oshmayapti. Shunga qaramay, hozirgi kunning o'zidayoq dunyoda qurilish sohasining 20 foiz mahsulotlarini ishlab chiqarishda nanotexnologiyalar qo'llanilmoqda. Kelajakda nanotexnologiyalar yordamida tayyorangan mahsulotlarning hajmi oshishi va natijada tannarxi kamayishi kutilmoqda. Bu o'z navbatida qurilish sohasida nanotexnologiyalarni qo'llashga katta imkoniyatlarni yaratadi.

Qurilish materiallarining ichki atom strukturasi bilan bog'liq bo'lgan hajm va sirt xususiyatlari juda muhimdir. Chunki bu xususiyatlar qurilgan binoning mustahkamligi, sifati va tannarxini belgilaydi.

Beton. Qurilishda eng keng ishlatiladigan material betondir. Betonning makro xususiyatlari uning tarkibi bilan bir qatorda mikro va nanostrukturasi tomonidan shakllanadi. Betonning mustahkamligi asosan uning tarkibi, zarrachalarining o'lchamlari va shakli, bog'lovchi va to'ldiruvchi moddalar hamda kovaklari konsentratsiyasiga bog'liq. Odatda bog'lovchi modda sifatida sement qo'llaniladi. Sement kaltsiy, kremniy, alyuminiy va temir oksidlarining ma'lum nisbatdagi mayin maydalangan aralashmasidan iborat. Sementga kremniy dioksidi (SiO_2) nanokukuni

qo'shilsa, u zichlashadi va mexanik xususiyatlari jiddiy ravishda yaxshilanadi. Titan dioksidi TiO_2 kiritilganda esa yangi xususiyatlarga ega bo'ladi: zichlanish bilan bir qatorda, antibakterial va o'z-o'zini tozalash («lotos» effekti) xususiyatlari paydo bo'ladi.

Rim shahridagi temir-beton va shishadan barpo etilgan *Dives in Miseri cordia* soborining ko'zni qamashtiradigan darajadagi oppoqligi odamni hayratda qoldiradi. Bunga erishish uchun quruvchilar yangi texnologiya asosida olingan va tarkibiga titan dioksidi nanozarralari kiritilgan TX Active markali sementidan foydalandilar. Bunday sementning sirti foto kataliz hodisasi tufayli o'z-o'zidan tozalanadi. Bu hodisa quyidagicha ro'y beradi. Quyosh nurlari binoning devorlariga tushganda sement tarkibidagi titan dioksidi katalizator sifatida kimyoviy reaksiyani kuchaytiradi. Bunday reaksiya natijasida binolarni qoplab turadigan har xil tabiatli iflosliklar – bakteriya, mog'or va changlar suv, kislorod va tuzlarga parchalanadi. Ikkinchi tomondan, tarkibida titan dioksidi bo'lgan sement suvni o'zidan itaradi («lotos» effekti) va natijada o'zini-o'zi tozalaydi.

Yaqinda nanotexnologiyalar yordamida mustahkamligi 150 MPa (megapaskal), zichligi 2,5 g/kv.sm gacha bo'lgan o'ta mustahkam nanobeton olingan. Laboratoriya sharoitida mustahkamligi 500 MPa gacha bo'lgan «defektsiz» nanobeton yaratilgan (odatdagi betonda bu ko'rsatkich 60 MPa dan oshmaydi). Bunday betonlarda armaturalovchi material sifatida bazalt mikrotola (fibra)lari, modifikator (beton xususiyatlarini yaxshilovchi komponentda) sifatida esa astralenlar – uglerod zarralari ishlatiladi. Bazalt fibrallarining o'rtacha diametri 8-10 mkm, uzunligi 100-500 mkm bo'lsa, astrolen zarrachalarining o'lchamlari 80-500 nm ga teng va ularning har qaysi 20-60 nm li kovaklarga ega. Nanobeton qaysi maqsadda ishlatilishiga qarab, uning

tarkibiga bog'lovchi massaning 1,5 dan 20 foizgacha bazalt tolalari kiritiladi va uglerod nanozarralarining konsentratsiyasi atigi 10^{-5} – 10^{-6} foizni tashkil qiladi. Rossiyaning Kimra shahrida Volga daryosiga qurilgan ko'prikda shunday beton ishlatilgan. Bundan ham mustahkam beton olish uchun uglerod nanonaylari bilan tajribalar o'tkazilmoqda.

Har turdagi betonlar uchun mustahkamlovchi va funksional qoplamalar ustidagi ilmiy-tekshirish ishlari olib borilmoqda. Masalan, har xil nanostrukturlangan qo'shimchalarni beton ichiga kiritilishi yemirish xususiyatiga ega bo'lgan xlor ionlarini betonga o'tishiga yo'l bermaydi, karbonat angidrid gazlariga bardosh beradi va betonning suv yutishini kamaytiradi.

Beton ichiga mikrochiplar o'rnatish masalasi o'rganilmoqda. Masala ijobiy hal qilinganda beton va muhim konstruksiyalarning holati monitoringini olib borish imkoni to'g'riladi. Masalan, betonning mustahkamligiga ta'sir qiluvchi asosiy parametrlar – temperatura, namlik, pH, xlor va uglerod dioksidining konsentratsiyasi, mexanik kuchlanishlar, tebranish(vibratsiya)larni masofadan qayd qilish va nazorat qilish mumkin bo'ladi. Korroziya va mexanik shikastlanish natijasida betonning elektrik xususiyatlarini o'zgarishiga qarab, konstruksiyalarning qarishini monitoringini olib borish va to'satdan yemirilishni oldini olish imkoni tug'iladi.

Shunday qilib, ultradispers va nano o'lchamli zararlarni qo'llash natijasida o'ta mustahkam va ko'pga chidamli (500 yilga qadar) har xil turdagi betonlarni ishlab chiqarish mumkin.

Po'lat. Nanotexnologiyalar yordamida yaratilgan eng birinchi qurol – eramizdan 300 yil avval Hindistonda sintez qilingan kompozitsion material – damashq po'latidan tayyorlangan afsonaviy qilich bo'lsa kerak. Bu qilich haqida oldinroq hikoya qilgan edik (2-rasm). Metal konstruksiyalarining bir

vaqtning o'zida yuqori darajadagi mustahkamligi, egiluvchanligi, yuqori temperaturaga chidamligi, korroziyaga bardoshligi va arzonligini ta'minlash muammosi yechimini nanotexnologiyalar yordamida topish mumkin. Uglerodli po'lat tarkibidagi sementit nanoo'lcham darajasigacha maydalanganda undan juda mustahkam simlar va trosalar olinadi. Ular esa uzun proletli (ko'prikning ustun va tiragichlar bilan ajratilgan qismlari) ko'prik, bostirma, tom va boshqa ob'yektlarni qurishda hamda o'ta mustahkam temir-beton tayyorlashda qo'llaniladi. Juda baland inshoot (metal minora, osmon o'par bino)larni qurishda o'ta mustahkam, chidamli bottli birikmalarni yaratish muhim masala hisoblanadi. Shuning uchun boltlarni tayyorlashda ishlatiladigan toblangan martensit po'latga vanadiy, molibden, magniy va kaltsiy nanozarralari kiritiladi. Hozirgi kunda dunyo bozorida mavjud nanostrukturlangan po'lat haqida bir necha misol keltiraylik. «Sandvik Materials Technology» kompaniyasi yuqori mustahkamlikka, yetarli darajadagi cho'ziluvchanlik va egiluvchanlikka ega bo'lgan hamda korroziyaga chidamli po'latni yaratdilar. Bu po'latning yuqori sifatga ega bo'lishining sababi uning matritsasiga nanozarralar kiritilganligidadir. «MMFX Steel Corporation» yirik kompaniya nanostrukturlangan MMFX 2 markali po'latni bozorga chiqardi. Bu po'lat xrom-nikelli zanglamaydigan po'latning barcha xususiyatlariga ega va undan sezilarli darajada arzon.

Shuni qayd qilish joizki, yaqin kelajakda po'lat armatura o'rnini shisha plastikli kompozitsion armatura egallaydi. Bu material po'latdan 4-5 marta yengil, yuksak mustahkamlik va kimyoviy barqarorlikka ega.

Yog'och. Qadimiy qurilish materiali – yog'och tarkibidagi lignotsellyuloza (tabiiy yog'ochdan olinadigan organik tolali material) nanonay va nanotolalaridan

iboratligi aniqlandi va u konstruksion po'latdan 2 barobar mustahkam ekan. Ammo bu resursdan foydalanish ancha qiyin. Chunki, tabiiy yog'ochning strukturasi murakkab va atmosferada chirish xususiyatiga ega. Polimerlashtiruvchi qo'shimcha va nanozarralar kiritilganda yog'ochning sifati va funksional imkoniyatlari oshadi.

Shisha. Nanotexnologiyalar yordamida shishaning funksional imkoniyatlarini tubdan oshirish mumkin. Shishaning sirtqi qatlamiga titan dioksidi kiritilsa, unda antibakterial xususiyatlar paydo bo'ladi. Titan dioksidining gidrofoblik (suvni itarish) xususiyati shishaga shudring, tuman va yomg'irdan o'z-o'zini tozalash imkonini yaratadi. Fransuz arxitektori Pol Andryo loyihasi asosida qurilgan Pekindagi Katta Milliy teatr «tuxumsimon» gumbazining shisha sirti katalizator hisoblangan titan dioksidining (TiO_2) yupqa plyonkasi bilan qoplangan. Bu nanoqoplamaga quyosh nuri tushganda fotokataliz ta'sirida gumbaz o'z-o'zidan tozalanadi va shuning uchun u doim shaffof holda bo'ladi (12-rangli rasm).

Olovdan himoyalovchi shisha ikkita oddiy shisha qatlamlaridan iborat bo'lib, ularning o'rtasiga kremniy dioksidi nanozarralaridan hosil qilingan ko'pik qatlami joylashtiriladi. Odatdagi sharoitda bu shisha shaffof bo'ladi va olovga yaqinlashganda o'rta qatlamdagi ko'pik qattiq va qop-qora jismga aylanadi va bu hol o'z navbatida shishaning orqa tomonining qizishiga yo'l qo'ymaydi. Tashqi havo juda issiq bo'lganda bino ichini sovutishga sarf bo'ladigan xarajatlarni kamaytirish maqsadida nanotexnologiyalar yordamida «intellektual» (yoki «aqlli») shishalar ishlab chiqarilishi mo'ljallanmoqda. Bunday shishalarning har xil to'lqin uzunligidagi shaffofligini boshqarish mumkin bo'ladi. Masalan, xonaning isishini kamaytirish uchun shisha tomonidan infraqizil nurlarni to'la yutib

qolishiga erishish mumkin. Fotoxrom shishalar quyosh yorug'ligining intensivligi kuchayishi bilan yorug'likni yutishi oshadi va natijada bino ichiga tushadigan yorug'lik energiyasi kamayadi. Elektroxrom shishalarning shaffofligini elektr maydoni orqali boshqarish mumkin.

Nanostrukturali qoplamalar. Po'lat naylarni korroziyadan himoyalash uchun nanoto'ldirgichli, suvni o'zidan itaruvchi, «lotos» effektiga ega bo'lgan bo'yoqlar ishlab chiqilgan. Tosh va betonni tashqi muhitning agressiv ta'siridan himoya qilish maqsadida rezinaga o'xshash nanostrukturali qoplamalar ishlatiladi. Asfalt yo'l qoplamalariga titan dioksidi nanozarralari qo'shiladi. Bu esa havoni zaharlovchi organik va noorganik birikmalardan o'zining katalitik faolligi tufayli himoya qiladi. Masalan, bu qoplamalardan foydalanilganda Milandagi avtomagistral zonasida asfalt yo'ldan chiqadigan zararli azot oksidlari kontsentratsiyasi 60% ga kamaygan.

Izoh: pH – vodorod ko'rsatkichi, uning qiymati 7 dan kichik bo'lsa eritmalar reaksiyasi nordon, katta bo'lganda ishqorli va 7 ga teng holda esa neytraldir. Bu ko'rsatkichning aniq qiymati pH-asboblarni yordamida elektrokimyoviy usulda o'lchaniladi.

Nanotexnologiyalar harbiy sohada

Ma'lumki, har qanday yangi ilmiy kashfiyot, texnologiyalar va materiallarga baho berishda, birinchi navbatda, ularning harbiy sohada qo'llanish imkoniyati hisobga olinadi. Hozirgi kunda, nanotexnologiyalarning juda katta jadallikda rivojlanayotganligining sababi ularning harbiy sohada keng qo'llanish istiqbolidir. AQSh shtab boshliqlari Birlashgan qo'mitasining sobiq qo'mondoni muovini, iste'fodagi admiral Devid Jeremiyaning fikriga ko'ra,

nanotexnologiyalar harbiy kuchlar balansini hatto yadro qurolidan ham kuchliroq darajada o'zgartishga qodirdir.

Nanotexnologiyalarni harbiy sohada qo'llashda AQSh peshqadamlik qilmoqda. Mamlakatda bu sohada bajariladigan ishlanmalarning asosiy buyurtmachisi AQSh Mudofaa vazirligidir. AQShda 1996-yildayoq nanofan va nanotexnologiyalar sohasi juda katta harbiy ahamiyatga ega bo'lgan 6 ta strategik yo'nalishlar qatoriga kiritilgan edi. 2000-yilning oxirida AQSh hukumati tomonidan «Milliy nanotexnologik tashabbus» qabul qilingandan so'ng nanotexnologiyalar uchun ajratilgan mablag' yildan-yilga jadallik bilan osha boshladi. 2001-yildayoq qator Yevropa mamlakatlari va Yaponiyada nanotexnologiyalarni rivojlantirishga qaratilgan Dasturlar qabul qilindi va bu sohaga ajratilgan mablag'lar miqdori keskin oshirildi. O'z navbatida, bunga javoban AQSh bu soha uchun yana qo'shimcha mablag' ajratishga majbur bo'ldi. AQShda nanotexnologiyalar bo'yicha ilmiy-texnologik dasturlarning shakllanishi, koordinatsiyasi va bajarilishi bilan Mudofaa vazirligining ilmiy-tadqiqot muassasalari shug'ullanadi. Vazirlikka qarashli harbiy texnologiyalar instituti qoshida nanotexnologiyalar markazi tashkil etildi. AQSh Mudofaa vazirligi eng yirik universitetlarda bu sohada olib borilayotgan fundamental ishlarni qo'llash maqsadida maxsus dasturlarni shakllantirdi va tegishli mablag' ajratdi. Bundan tashqari yadro qurolini takomillashtirish bilan shug'ullanuvchi AQSh Energetika vazirligining uchta yirik markazi nanotexnologiyalar sohasida ish olib bormoqda.

AQShda nanotexnologiyalar sohasida keng ko'lamda olib borilayotgan izlanishlar va ishlanmalar ikkita asosiy strategik yo'nalishdan iborat. Birinchi yo'nalishga asosan mavjud qurollar va texnika turlari takomillashtirilmoqda: yengil, juda mustahkam konstruksion va funksional elektronika materiallari yara-

tilmoqda hamda himoya va jang olib borish vositalari, og'ir yaradorlik va kasalliklar profilaktikasi va davolash usullari ishlab chiqilmoqda. Bular o'z navbatida yaqin bir necha yillarda harbiy sohada ishlatiladigan mahsulotlarning massasi va gabaritini kamaytirish, funksional xarakteristikalarini oshirishga, harbiylarning himoyalanish va jangovorlik qobiliyatini oshirishga olib keladi. Ikkinchi strategiya esa uzoqroq kelajakga mo'ljallangan bo'lib, qurollarning prinsipial yangi sistemasini yaratishga qaratilgan. Bu hol an'anaviy qurollarning raqobatbardoshligini yo'qolishiga va harbiy doktrinani tubdan o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Bunday yangi inqilobiy sistemalarga misol sifatida molekulyar nanotexnologiyalar yordami-da tayyorlanayotgan nanorobotlar armiyasini keltirish mumkin (9-rangli rasm). Ular alohida yoki guruh tarkibida jangovor va maxsus operatsiyalar, diversiyalarni amalga oshirishi hamda dushmanning aloqa va boshqaruv tizimini ishdan chiqarishga qodir.

Hozirgi kunda bir qancha rivojlangan mamlakatlarda harbiy sohada nanotexnologiyalar bo'yicha bir necha yo'nalishlarda ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Masalan, energetik resurslar, turli xildagi elektron qurilmalar, qurol-yarog', o'qdorilar, harbiy ob'yektlarni va jangchilarni dushmanga ko'rinmasligini ta'minlash samolyot va tanklarning shikastlangan sirtlarini avtomatik ravishda ta'mirlash yoki ularning rangini o'zgartish (xamelion effekti)ni ta'minlovchi o'z-o'zidan tiklanuvchi va himoyalanuvchi sistemalar: aloqa tizimlari, kimyoviy va biologik ifloslanishni aniqlash vositalari; harbiy robotlar va boshqalar. Bu yo'nalishlarning ba'zilariga qisqacha to'xtalaylik.

Muhim yo'nalishlardan biri har xil turdagi himoya vositalaridir. Isroilning ApNano Materials kompaniyasi yaqinda zarbaga o'ta chidamli materialni sinab ko'rdi. Volfram disulfidi asosida yaratilgan bu kons-

truksion material 1,5 km/s tezlikda otilgan po'lat o'qning zarbasiga chiday oldi. Bu material 250 t/sm² bosimdagi zarba va 350 t/sm² statik yuklamaning ta'siriga bardosh bera oladi. Kompaniya kelajakda Isroil armiyasini to'liq ta'minlashga yetadigan miqdorda bunday materialni ishlab chiqarishga qodir. Bu nanomaterialdan shlem va bronejeletlar tayyorlash va harbiy transportlarning sirtini qoplashda foydalanish mumkin. Yaqinda kompaniya bunday materiallarni titan disulfidi asosida olish niyatida. Bu holda material volfram asosida tayyorlanganga qaraganda to'rt mar-ta yengil bo'lsada, undan mustahkam bo'ladi.

AQSh armiyasi ilmiy-tadqiqot laboratoriyasida jang-chilar badanini himoyalovchi o'z-o'zidan quyuqlanuvchi suyuqlik asosida «suyuq zirh» («jidskaya bronya») deb nom olgan himoya vositasi yaratildi. Bu suyuqlikning tarkibi ancha murakkab, ammo uning ishlashi oddiy prinsipga asoslangan. «Polietilenglikol» deb nomlangan polimer suspenziyasida kremniy nanozarralari muallaq suzib yuradi. Zarba berilganda bu suspenziya bir onda quyuqlashadi va qotadi. Suspenziyaga biror material kiritilsa, kremniy nanozarralari material tolalari tomonidan yutiladi. Bunday material zarbaga duch kelsa (masalan o'q kelib tegsa,) unda qo'shimcha qarshilik paydo bo'ladi. Bunday polimer nanosistemasiga berilgan zarbaning energiyasi sochilib, gidroklasterlar hosil bo'ladi. O'z navbatida bu klasterlar polimer nanosistemasini plyonkasini uzilishiga yo'l qo'ymaydi. Bu nanomaterialdan tayyorlangan sovutlar odamni o'q, snaryad parchalari va pichoq zarbidan himoyalay oladi. Material yengil va uni tayyorlash nisbatan oson bo'lganligi uchun hozirgi kunning o'zida politsiya (militsiya) va shaxslarni himoya qilishda ishlatish mumkin. Bu turdagi nanomateriallar AQSh dan tash-qari Buyuk Britaniya va Rossiyada ham ishlab chiqilgan.

Kelajakda harbiy maqsadda qo'llanishi mo'ljal-

lanayotgan yana bir ixtiro «ko'rinmas plash»dir. Bu yashintiruvchi qurilmaga ikkita zarur talab qo'yiladi. Yorug'lik nuri ob'yektdan to'g'ridan-to'g'ri qaytmasligi va undan aylanib o'tishi zarur. Kuzatuvchi faqat ko'rin-mas plash bilan yashirilgan predmetning orqasidagi fonni ko'rish kerak. Bu yo'nalishda bir qancha alterna-tiv ishlanmalar mavjud. Masalan, Perdyu universiteti-ning Birk nanotexnologiyalar markazi olimlari diametri 10 nm, uzunligi bir necha yuz nm bo'lgan nanoignalardan iborat dumaloq massaj cho'tkasiga o'xshash ob'yektning virtual modelini yaratdilar. Nanoignalarning uchlari tomonidan ko'zga ko'rinuvchi yorug'lik nuri yo'nalishining siljilishi tufayli «cho'tka» orqasidagi predmetlar ko'rinadi, ammo nanoignalar massivi bilan qoplangan silindrik predmet ko'rinmaydi. Bu hodisa faqat 632,8 nm (qizil nur) to'lqin uzunligida kuzatildi. Mualliflarning fikricha, kelajakda bu qurilmani yorug'likning ko'zga ko'rinuvchi diapazonining istalgan to'lqin uzunligida ishlashini ta'minlash mumkin. Faqat bir to'lqin uzunligida (infraqizil nurlar diapazonida) ishlaydigan qurilmadan tunda ko'rish asbobidan yashirinishda ishlatilsa bo'ladi.

Bir qancha mamlakatlar armiyalarida, birinchi nav-batda AQShda harbiy samolyot va kemalar, brone-texnikalarni yashirish maqsadida «Antinur» nano-qoplamalaridan foydalanilmoqda. Bu qoplamalar jangovor lazer impulslarini ham to'liq neytrallashtirish-ga qodir.

Nanotexnologiyalarning rivojlanishi yangi xusu-siyatlarga ega bo'lgan turli xildagi nanomateri-allarning paydo bo'lishiga olib keldi. Oxirgi yillarda nanokompozit va nanoaralashmali kompozit mate-riallar olinmoqda. Bu esa o'z navbatida armiyada individual himoya uchun yengil va mustahkam qalqonlar va kaskalarni yaratish imkonini berdi. Ko'p funktsiyali polimer materiallar raketa dvigatellarini

yasashda va armiya formasidagi kiyim-kechaklarni ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Reaktiv qurilma va har turdagi dvigatellar yuqori temperatura va vibratsiyaga bardosh bera oladigan yangi nanomateriallar bilan qoplanadi. Bunday materiallar detallarning og'irligi va ishqalanishini kamaytirish hisobiga dvigatellarning foydali ish koeffitsienti (FIK)ni oshiradi. AQSh harbiy texnologiyalar institutida polipirrol (elektr maydoni ta'sirida qisqaradigan va uzayadigan polimer)dan robot mushagini tayyorlash ustida ish olib borilmoqda.

Nanotexnologiyalarning rivojlanishi yaqin kelajakda juda ko'p miqdordagi, uchib yuruvchi, «chang buluti» nomini olgan, miniatyur sensor (datchik)lardan foydalanish imkonini beradi. Natijada jang maydoni va dushman territoriyasida uzluksiz monitoringni amalga oshirish imkoniyati tug'iladi. Katta partiya ishlab chiqarilganida sensorlarning narxi juda arzon bo'ladi. Hozirgi kunning o'zida o'lchamlari bir necha mm bo'lgan sensorlarni yaratish mumkin. Yaqin kelajakda bunday avtomatik qurilmalarning o'lchamlari 0,1mm ga yetilishi kutilayotgan bo'lsa, undan keyin 0,01 mm gacha kamayadi.

Nanotexnologiyalar yordamida miniatyur kompyuterlar va nanoavionikaning yaratilishi pilotsiz uchuvchi apparatlarning og'irligini kamaytirish bilan bir qatorda ularning avtonomlik darajasini oshiradi. Bu yo'nalishdagi ishlar kelajakda jangovor mikroskopik robotlarni yaratishga olib keladi. O'lchamlari o'ta kichik (200 mkm = 0,2 mm) hasharotga teng bo'lgan jangovor robotlarni ko'z oldiga keltiring. U mustaqil ravishda harakatlanadi va himoya siz odamlarga zahar sochadi. Bunday qurilmalarning 50 mlrd. donasi bir diplomatga sig'adi va Yer shari aholisini halok qilishga qodir bo'ladi. Shunday qilib, kelajakda asosiy jangovor topshiriqlarni «askarsiz armiya» – intellektual robotlar bajarishi kutilmoqda.

Olim va konstruktorlar sun'iy robotlarni yaratish bilan bir qatorda harbiy sohada qo'llash maqsadida biotexnik gibril robotlar konstruksiyasini ishlab chiqish va yaratish ustida jadallik bilan ish olib bormoqdalar. Gibril robotlarni barpo qilish hayvon va hasharotlar organizmlariga har turdagi ko'p funksiyali texnik nanoqurilmalarni implantatsiya qilish yo'li bilan amalga oshiriladi. Gibril robotlarning eng katta afzalligi shundaki, sun'iy yaratilgan strukturada konstruktorlar amalga oshirishi juda murakkab bo'lgan funksiyalar va vazifalarni tirik organizmda yengil amalga oshirishlari mumkin. Masalan, energiya va axborotlarni qabul qilib olish va qayta ishlash, atrof-muhitni idrok qilish tizimi, murakkab harakatni amalga oshirish tirik organizmlarda tabiiy ravishda amalga oshadi. Mikrosistem texnologiyalarning rivojlanishi natijasida ko'p elementlar (masalan, sensorlar, nerv sistemasi va miya bilan kontaktdagi texnik qurilmalar, elektron sxemalar, ta'minot sistemalari va h.z)ni shunday miniatyur qilib yasash mumkinki, ularni sichqon, kalamush, qush va baliq kabi tirik mavjudotlarning organizmlariga hozirning o'zida implantatsiya qilish mumkin. Nanotexnologiyalarning jadal rivojlanishi, tez orada, nanoo'lchamdagi elementlarni juda mayda hasharotlar, masalan, mayda chivin (moskit) va serpusht mayda pashsha (mushka) larning organizmlariga implantatsiya qilish imkoni tug'iladi. Bunday gibril qurilmalarni yaratish imkoni kelajakda nanotexnologiyalar tirik organizmlar va sun'iy strukturalar orasidagi chegarani yo'qolishiga olib kelishi mumkinligini namoyish qiladi.

Biomimetika va nanotexnologiyalar

Tabiat o'z ob'yektlarini doimo maksimal samaradorlik bilan yaratadi. U o'z vazifasini beqamko'stlik, originallik, g'ayrioddiylik va resurslarni tejash

asosida amalga oshiradi. Albatta, bu hol insonga zavq bag'ishlaydi va u shunday ajoyib va g'aroyib narsalarni va jarayonlarni qaytarishni (nusxasini olishni) xohlaydi. Bunday nusxalash bilan shug'ullanuvchi fan biomimetika (yunoncha bios – hayot mimesis – imitatsiya, taqlid qilish demakdir) deb yuritiladi. Biomimetika termini 1958-yilda amerikalik olim Jek E. Stil tomonidan kiritilgan. O'tgan asrning 70-yillaridan buyon «bionika» termini ham ishlatilib kelinmoqda. Bu fan yuqori texnologiyalar hisoblangan bio va nanotexnologiyalar integratsiyasi tufayli paydo bo'ldi. Biomimetika – tirik tabiat sistemalarining tashkil bo'lish prinsiplari, xususiyatlari, funksiyalari va strukturalarini texnik qurilma va mashinalarda qo'llash haqidagi amaliy fandır. Jonli tabiat haqidagi bilimlarni texnik masalalarni yechishda foydalanish g'oyasi Leonardo da Vinchiga tegishlidir. U, birinchi bo'lib qushlar kabi qanotini qoqib uchuvchi apparat – «ornitopter»ni yaratishga harakat qilgan.

Oxirgi yillarda olimlar tabiat yaratgan mo'jizalarni ilmiy o'rganish bilan bir qatorda tabiatga taqlid qilib, inson hayotini yengillashtirishga qodir tabiiy ob'yekt va jarayonlarni sun'iy ravishda yaratishga harakat qilmoqdalar. Biomimetikadan foydalanishga doir bir necha misollarga to'xtalaylik.

Tabiatda gekkon deb ataluvchi chiroyli kalta-kesakning turi mavjudki, u shift va vertikal joylashgan oyna yoki oynadek silliq buyumlarning sirti bo'ylab osonlik bilan harakat qila oladi (13-rangli rasm). Bu tabiiy mo'jiza ko'p yillar davomida olimlar e'tiborini tortib keladi, uni tushuntirish uchun qator urinishlar bo'ldi, ammo ular ijobiy natija bermadi. Gekkonning xususiyatlarini imitatsiya qilish uchun uning panjasining strukturalari va ishlash mexanizmini yaxshi o'rganish zarur edi. Nihoyat, yaqinda olimlar bu sirni ochishga muvaffaq bo'ldilar. Gekkonning panjasi skanlovchi

elektron mikroskopda tekshirilganda (14-rangli rasm), u o'lchami odam sochidan o'n marta ingichka bo'lgan keratin tuklaridan iborat ekanligi va bu tuklarning har qaysisining uchi esa, yana minglab yostiqchalardan tashkil topganligi aniq bo'ldi. Har qaysi yostiqchadan, o'z navbatida, yuz minglab keratin tuklari chiqib turadi va har bir tukning uchi esa, diametri 200 nm bo'lgan yuzlab kurakchalar bilan tugaydi. Shunday qilib, gekkonning panjasi millionlab mitti kurakchalardan iborat ekan. Olimlar gekkonning silliq sirtlar bo'ylab erkin harakatining negizida molekulyar fizika yotishini aniqlaganlarida ko'pchilik hayratda qoldi. U oldingi sahifalarda bir necha marta tilga olingan, Van-der-Vaals kuchlari ta'sirida harakat qilar ekan. Molekulalar orasidagi bu kuchlarning xarakteri ular orasidagi masofaga bog'liq bo'ladi. Bu kuchlar molekularlar birbirlariga juda yaqin bo'lganlarida itarish xarakteriga ega bo'lsa, uzoqlashganlarida esa, tortish kuchlari sifatida namoyon bo'ladi. Shuni eslash joizki, atom-kuch mikroskopi ham shu prinsip asosida ishlaydi. Gekkon o'z panjasini biror buyumning sirtiga qo'ysa, nanotuklar uchidagi kurakchalar unga yopishadi va gekkon panjasini sal tortganda esa, Van-der-Vaals kuchlari shu onda yo'qoladi va u sirdan osongina ajraladi. Gekkon panjasidagi har qaysi tuk sirt bilan 10^{-7} N (nyuton) kuch orqali bog'lanadi. Bu tuklarning zichligi juda katta bo'lganligi bog'lanish kuchini behad oshiradi. Masalan, keratin tuklari joylashgan 10×10 sm² o'lchamdagi yuzaning sirti 100 kg yukni ushlab tura oladi.

Bu bilimlarga tayangan holda olimlar sintetik materiallar yordamida «gekkon effektini» tikladilar. Manchester (Buyuk Britaniya) nanotexnologiyalari elektron – nur litografiyasi yordamida gekkon panjasidagi tuklarga o'xshash plastik nanotola massivini yaratdilar. Grafenni kashf qilgan, fizika

sohasida Nobel mukofoti laureyati, Manchester universitetining professori Andrey Geym 2003-yilda yelimsiz yopishqoq lenta – «gekko – skotch»ni kashf qildi. Bu lenta gekkon panjasi sirtini sun'iy nusxasi edi. Bu materialshunoslikda biomimetik yondashishning muvaffaqiyatlaridan biri bo'ldi. Geym va uning xodimlari ishini davom ettirib, Germaniyaning X.Albrext nomidagi universitet (Kil shahri) professori S. Gorba boshchiligidagi guruh Gottlieb Binder kompaniyasi bilan hamkorlikda ajoyib adgezion (yopishqoq) xususiyatlariga ega bo'lgan selikon plenka – Gecko Nanoplast ni yaratdilar. Mikrotuklarning zichligi bir sm^2 yuzada 29 000 donaga yetdi. Bu yelimsiz plenkani 20x20 sm^2 yuzasi bemaol bir odamni ko'tarib turish qobiliyatiga ega. Bunday plenkani qayta ishlatish va undan vakuumda, demak, kosmosda ham foydalanish mumkin bo'ladi. Bu prinsip asosida turli xususiyatlarga ega bo'lgan universal «quruq yelim»larning yangi avlodini yaratishda foydalanish ko'zda tutilmoqda.

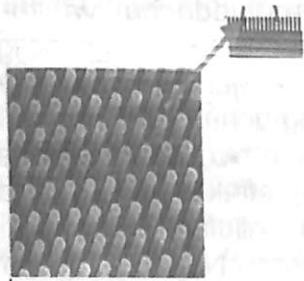
Amerikaning irobot kompaniyasi xodimlari «gekkon effekti» asosida akvarium devorlaridan vertikal harakatlana oladigan robotni yaratdilar. Agar robotga gekkonnidek dum ulansa, u akvariumning o'tkir qirralari bo'ylab ham yugurish imkoniga ega bo'lishi mumkin. Agar gekkonga o'xshash robotlarni yasash bo'yicha tajribalar ijobiy natijalarga olib kelsa, robotlarni baland binolarning oynalarini tozalashdan boshlab, kosmogacha bo'lgan juda ko'p sohalarda ishlatish mumkin. Odamlarni vertikal devorlarga chiqa olishlari uchun gekkon panjasiga o'xshash oyoq kiyimi va qo'lqoplarni yaratish mumkin. Bundan, birinchi navbatda alpinistlar va montajniklar foydalanishi mumkin bo'lar edi.

Dunyodagi ko'p dinlar va falsafiy oqimlarda nilufar («lo-tos») yoki lotincha «Nelumbo») o'simligi tozalik, go'zallik va mukammallik ramzi hisoblanadi (15-rangli rasm). Haqiqatdan ham, nilufar botqoqning loyqa suvidan

o'sib chiqishiga qaramay, doimo top-toza bo'ladi. Yomg'ir tomchilari nilufar o'simligining barg va gullaridan tezda tushib ketadi. Ustiga loyqa suv sepilsa ham u tozaligicha qoladi. Nilufarning barg va gullari suvda ho'llanmaydi va shuning uchun ham suv tomchilari simob sharchalariga o'xshash dumalab pastga tushib ketaveradi. Nilufar barglari sirtida hatto yelim yoki asal tomchilari ham ushlanib qola olmaydi. Bu hodisaning sababi nimada? Ilmiy tekshirishlar shuni ko'rsatdiki, lotos barglarining sirti balandligi 10 μm bo'lgan mikrog'uddachalardan iborat va o'z navbatida, ular juda kichik o'lchamdagi tuklar bilan qoplangan. Mikrog'uddacha va tuklar gidrofob (suvda ivimaydigan) xususiyatiga ega bo'lgan mumga o'xshash materialdan bo'lganligi tufayli suvda lotos bargi ho'llanmaydi. Shuning uchun ham nilufarning tukli sirtlari loy zarrachalaridan o'z-o'zidan tozalanadi. Bu hodisa «nilufar (yoki lotos) effekti» deb yuritiladi. Nanotexnologiyalar yordamida nilufar bargi sirtiga o'xshash yuzani yaratish mumkin. «Nanoo't» deb ataluvchi bunday sirt bir xil uzunlikda va bir xil masofada joylashgan ko'pdan-ko'p parallel nanosim(nanosterjen)-lardan iborat (22-rasm). Bu sirt mikrometr o'lchamidagi massaj cho'tkasini eslatadi. Bunday sirtga tushgan suyuqlik nanosimlar orasidan o'ta olmaydi. Bunga suyuqlikning yuksak sirt tarangligi xalaqit qiladi. Shunday qilib, nanotexnologiyalar yordamida ho'llanmaydigan va o'z-o'zidan tozalanish xususiyatiga ega matolarni «nilufar effekti»dan foydalanib yaratish mumkin. Shunday matolardan tashkil topgan materiallar doimo toza bo'ladi. Hozirgi kunda tashqi sirti nanotuklardan iborat o'z-o'zini tozalaydigan shamol to'sadigan avtomobil oynalari hamda loy va chang yopishmaydigan bo'yoqlar ishlab chiqarilmoqda.

Keyingi misolimiz, biomimetika fanidan foydalanib, polimerdan biotibbiyot materiallarini yaratish bilan bog'liq. 2008-yilda Keys G'arbiy Rezerv Universiteti

(Case Western Reserve University) olimlarida dengizda yashovchi goloturiya (yoki, dengiz bodringi) hayvoni (16-rangli rasm)ning terisi xususiyatlariga ega bo'lgan yangi tibbiyot materialini barpo qilish g'oyasi tug'ildi. Dengiz bodringi o'zining tashqi qobig'ini shakllantiruvchi kollagen(organizm to'qimarini birlashtirishda asosiy rol o'ynovchi yopishqoq hujayra, hayvonlarning terisida ko'proq bo'ladi)ning qattiqligini istalgan paytda o'zgartira olar ekan. Goloturiya biror xavfni sezganda o'z terisining qattiqligini ko'p marta oshiradi va uning terisi pansir rolini o'ynaydi.



22-rasm. O'z-o'zidan tozalanuvchi nanoo't va «nilufar effekti» bir-biridan 1 mkm masofadagi, uzunligi 7 mkm va diametri 350 nm kremniy nanosimlarining elektron mikrofotografiyasi

Agar u tor tirqishga kirmoqchi bo'lsa, terisi elementlari orasidagi bog'lanishlarni juda susaytiradi va oquvchi ilvira(studen)ga aylanadi. Case Western Reserve universiteti olimlari shunga o'xshash xususiyalarga ega bo'lgan selluloza tolalari asosida materialni yaratishga muvaffaq bo'ldilar. Bu material suvda yumshoq bo'lib, suv parlangandan keyin esa, qotadi. Shuning uchun ham bunday materiallar «aqli material» deb nom olgan. Olimlarning fikricha, bunday materialdan miya ichiga kiritiladigan elektrodlar (masalan, Parkinson kasalligini davolashda qo'llanishi mumkin)ni ishlab chiqarishda foydalanish mumkin. Bunday elektrod miya ichiga kiritilganda miya to'qimalarini shikastlantirmaydi. Bioinjener Andjela Belcher (Angela Belcher) va uning guruhidagi xodimlar yaqinda modifikatsiya qilingan virus – M13 bakteriofagi asosida juda katta quvvatga

ega bo'lgan, kompakt batareyaning asosini barpo qildilar. Bu virus oltin va kobalt oksidi kabi noorganik materiallarga yopishish qobiliyatiga ega. Viruslarning o'z-o'zidan yig'ilish qobiliyatidan foydalanib, ular yetarli darajada uzun nanosimlarni olishga muvaffaq bo'ldilar. Andjela Belcher va uning guruhi 2009- yilda genetik modifikatsiya qilingan viruslardan litiy-ion akkumulyatorining anod va katodini yaratish mumkinligini ko'rsatdilar.

Ko'pchilik neyrobionika haqida eshitgan bo'lsa kerak. Uning asosiy yo'nalishlari odam va hayvonlarning nerv tizimi fiziologiyasini o'rganish ham-da nerv hujayra – neyronlar va neyron to'rlarini modelashtirishdan iboratdir. Bu o'z navbatida, elektron va hisoblash texnikasi arxitekturasini takomillashtirish va rivojlantirishga imkon beradi. Neyrobionikaning taraqqiyoti kelajakda sun'iy intellektni yaratishga asos bo'la oladi. Olimlarning biomimetika fanidan foydalanib, qilayotgan kashfiyotlariga yuzlab misollar keltirishimiz mumkin. Ammo, biz bu yerda biomimetika fanining asosiy yo'nalishlarini keltirish bilan chegaralanamiz:

- yangi datchiklar va topib olish sistemalarini (sistema obnarujeniya) ishlab chiqish maqsadida tirik organizmlarning sezgi organlari va qabul qilish sistemalarini o'rganish;
- texnikada foydalanish maqsadida har xil hayvonlarning orientatsiya, lokatsiya va navigatsiya prinsiplarini o'rganish;
- yangi texnik va ilmiy g'oyalarni taklif qilish uchun tirik organizmlarning o'ziga xos morfologik, fiziologik va biokimyoviy xususiyatlarini o'rganish.

Nanobiotexnologiyalar

Avval uqtirganimizdek, XXI asr bir-biri bilan uzviy bog'liq, yuqori texnologiyalar hisoblangan axborot, bio va nanotexnologiyalar asri bo'ladi. Oldingi boblarda

axborot va nanotexnologiyalarning bir-biri bilan yaqinlashayotganini ko'rdik. Endi esa, biotexnologiya va nanotexnologiyalar orasidagi bog'lanishlarga to'xtalaylik.

Biotexnologiya – ishlab chiqarishning har xil sohalarida foydalanish maqsadida biologik ob'ektlarda zarur xususiyatlarni shakllantirish (masalan, modifikatsiya qilish) usullari majmuasidir.

Hozirgi zamon biotexnologiyalari DNK (dezoksiribonuklein kislotasi) molekulasi tuzilishi va funksiyalari haqidagi bilimlarga asoslangandir. Olimlar nanostrukturalarni yaratishda tirik organizmlarda irsiy belgilarni saqlash va nasldan-naslga o'tkazish vazifasini bajaruvchi DNK molekulalaridan qurilish materiali sifatida foydalanmoqdalar. Ma'lumki, bu molekula kengligi 2 nm atrofida bo'lgan, qo'sh spiral hosil qiluvchi ikkita polinukleotid zanjirdan iborat (17-rangli rasm). Spiral zanjirlarning bir-biriga bog'lanishini 4 ta komplementar nukleotidlar juftliklari vodorod bog'lanishlari orqali amalga oshiradi. DNKning strukturaviy modelini kashf qilganlari (1953-yil) uchun 1962-yilda D.Uotson, F. Krik va M. Uilkinslar Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar. Biotexnologiyalar DNK dan tashqari oqsil kabi biomolekulalar va bakteriya, virus, achitqi, zambrug'lar kabi mikroorganizmlar hamda o'simlik, hayvonlar hujayralari va to'qimalari bilan ish ko'radi. Bundan 5 ming yil avval insoniyat mikroorganizmlar yoki nanozarralardan xabari bo'lmagan holda ulardan foydalanib, non, sirka, qatiq, sir (pishloq), vino va pivoga o'xshash ko'p mahsulotlarni olishga muvaffaq bo'lganlar.

Bugungi kunda juda katta tezlikda rivojlanayotgan biotexnologiya va nanotexnologiyalar negizida yangi soha nanobiotexnologiyalar (sinonimi – bionanotexnologiyalar) paydo bo'ldi. Bu sohada ishlaydigan mutaxassislar oldingi yillarda bu fanlarning rivojlanishida to'plangan fundamental bilimlarini jonli sistemalarning

xususiyatlaridan qolishmaydigan yoki ulardan afzal bo'lgan tirik ob'ektlar analoglarini yaratishda qo'llamoqdalar. Biomimetika(bionika)ga bag'ishlangan avvalgi paragrafda ham bu haqda so'z borgan edi.

Hozirgi zamon nanobiotexnologiyalari uchta asosiy yo'nalishlarni o'z ichiga oladi.

Birinchi yo'nalish – jonli sistemalar nanobiotexnologiyalari. Bu yo'nalishtirik sistemalar (birinchi navbatda, mikroorganizmlar)ning xususiyatlarini yo'naltirilgan modifikatsiya qilish (o'zgartirish) yo'li bilan ularni sun'iy nanokonstruktsiyalarni barpo qilishda zarur bo'lgan ma'lum funktsiya (masalan, texnologik sikl) lar bilan ta'minlashga bog'liq. Mikroorganizmlardan nanomateriallarni ishlab chiqarishda foydalanish ham shu yo'nalishga kiradi.

Ikkinchisi, «yarim sintetik» nanobiotexnologiyalar bo'lib, u har xil nanobiotexnologik qurilma (masalan, biomotor, datchik)larni yaratishda oqsil, nuklein kislotalar va boshqa molekulalar hamda ularning komplekslari kabi biopolimerlardan foydalanishni o'z ichiga oladi. Keyinchalik, «o'z-o'zidan yig'ilish» yoki organik va noorganik molekulalarni sintez qilish prinsiplaridan foydalanib, nusxasi olinayotgan biologik sistemaning ta'lim funktsiyalarini bajaruvchi qurilmalar yaratilishi mumkin. Makromolekulalarning «o'z-o'zidan yig'ilish» prinsipi asosida biokompyuterlarni barpo qilish mumkin. Bunday kompyuterlarni kasallikni diagnostikasida qo'llash mumkin bo'ladi.

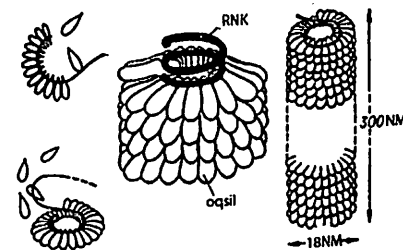
Uchinchi yo'nalish – sintetik nanobiotexnologiyalar. Bu yo'nalish kelajakda molekulyar xatoliklar hamda organizm, to'qima va hujayralar holatini diagnostika qilishdagi nuqsonlarni tuzatishga qaratilgan qurilmalarni yaratish texnologiyalariga zamin tayyorlovchi texnologiyalardir.

Nanotexnologiyalar sohasidagi jiddiy muammolardan biri yaratilayotgan nanoelektron asboblari va qurilmalarning komponentlari o'lchamlari va

shakllarining har xilligidir. Shuning uchun ham, olimlar bu maqsadda tabiat tomonidan yaratilgan qat'iy bir xil o'lcham va shaklga ega bo'lgan biologik ob'yektlardan foydalanishni taklif qildilar. Jonli ob'yektlarni nanobiotexnologik maqsadda ishlatishga («jonli elektronika» yoki bioelektronika) misol tariqasida tabiiy bioreaktor (o'stirilayotgan hujayra va mikroorganizmlarning hayot faoliyati uchun zarur sharoitlarni yaratuvchi qurilma) hisoblangan bakteriyalarning hujayralarini keltirish mumkin. Masalan, magnetotaktit (magnit sezuvchi) bakteriyasi – «Magnetospirillum magneticum»ning hujayrasi magnetit nanozarralari – F_3O_4 ni sintez qilish qobiliyatiga ega ekan. Ularning o'lchamlari bakteriyalarni o'stirish sharoitlariga bog'liq. Bakteriya hujayralari mahsuloti – magnetit membrana bilan qoplangan va shuning uchun ham uning nanozarralarini eritmadan ajratish juda oson. Hozirgi kunda, magnetotaktit bakteriyalarining nanozarralarini sintez qilishga mas'ul genlarning ketma-ketligi aniqlangan va endi genetik injeneriya usullari bilan sintez qilinayotgan nanozarralarning parametrlarini boshqarish mumkin. Bu hol nanozarralarni tirik organizm yoki hujayra ichida (in vivo) sintez qilishning yagona misoli emas. Hozirgi kunda bakterial sintez yordamida kadmiy va lantan metallari nanozarralarini olish mumkin. Bu esa, o'z navbatida mikroelektron qurilmalarning komponentlarini yaratish texnologiyasida katta yutuqqa olib kelishi kutilmoqda.

Qirg'oqoldi toshlardagi suv o'tlari bilan oziqlanuvchi dengiz umurtqasizlari kosali mollyuskalar deb ataladi. Ular toshlardagi o'tlarni o'zining o'tkir tishlari bilan qirtishlab oladilar. Ularning tishlari magnetit kristallaridan iborat ekan. Mollyuskalarda bunday kristallarning o'sishi kompozit materiallarni yaratishda muhim rol o'ynaydi. Bu materialdan katta sig'imga ega bo'lgan elektr akkumulyatorlari, quyosh batareyalari va mexanik qattiq jism sifatida foydalanish mumkin.

Nanobioreaktor sifatida achitqi hujayrasi ishlatiladi. Masalan, Schizosaccharomyces pombe achitqisining hujayrasida o'lchami 2 nanometrdan kichik metall-peptid komplekslarining nanokristallari (kvant nuqtalari) shakllanadi. Bunday kvant nuqtalaridan yarim o'tkazgich qurilmalarida foydalanish mo'ljallanmoqda. Bakteriyalarning sirti har 10 nm da qaytariladigan, S – qatlamlar (inglizcha single – bir) deb yuritiladigan, bir molekula qalinligidagi oqsildan



23-rasm. Tamaki mozaikasi virusi (Rasmda RNK – ribonuklein kislotasi)

tashkil topgan davriy strukturalardan iborat. Nanobiotexnologlar S – qatlamlardan iborat membranani laboratoriyada in vitro (tirik organizmdan tashqarida) yaratdilar. Avstriya olimlari fizikada «kvant o'tapanjarsi» deb yuritiladigan bunday tabiiy strukturadan sun'iy oqsil strukturalarini barpo qilishda foydalandilar. S–qatlamli strukturalar biosensor (biodatchik) va litografiyada fotorezist sifatida ishlatilmoqda.

Noorganik va organik nanomateriallar va qurilmalarni ishlab chiqarishda odamning doimiy dushmani – viruslar nanomaterial sifatida juda yaxshi ishlashi aniqlandi. California Riverside universiteti (AQSh) olimlari nanoelektronikada ishlatish uchun, TMV deb yuritiluvchi, tamaki mozaikasi virusi (virusning nomi zararlangan tamaki barglarida koshinkor dog'lar paydo bo'lishi bilan bog'liq) juda

mos kelishini ko'rsatdilar. TMV o'ziga xos strukturaga ega bo'lib, nanokabelni eslatadi (23-rasm). Bu virus kovak oqsil naydan iborat bo'lib, ichida simga o'xshash RNK molekulasi joylashgan. TMV viruslaridan foydalanishning ustunligi shundaki, bir tipdagi TMV zarrachalarining hammasini strukturasi, shakli va o'lchami bir xil bo'ladi. TMV varionlar (yetilgan viruslar) o'z-o'zini yig'ishni amalga oshirishi va uyushgan strukturalarni shakllantirishi, masalan uchlarini birlashtirib («end-to-end»), zanjirlar hosil qilishi mumkin. Bunday strukturalar kimyoviy, fizikaviy jihatdan stabil bo'ladi va ularni metallar, kremniy dioksidi hamda yarimo'tkazgich materiallar bilan qoplash mumkin. Natijada, tamaki mozaikasi virusini mikroelektronikada nanoelektrodlar sifatida qo'llash mumkin bo'ladi.

Oqsil molekulari issiqlik harakati va kimyoviy kuchlar ta'sirida bir-birlari bilan bog'lanib, nanomashinalarni yig'ish qobiliyatiga ega. Bunday nanomashinalar hujayralar ichida yoki undan tashqarida bo'lishidan qat'iy nazar tabiatning umumiy qonunlariga bo'ysunadi. Odatdagi kimyoviy bog'lanishlar ularning atomlarini bir joyda ushlab tursa, boshqa nanomashinalar tomonidan boshqarilayotgan oddiy kimyoviy reaksiyalar esa, ularni yig'adi. Molekulyar biologlar sinash probirkasida virus oqsillari va DNK molekularini aralashtirib, tirik T4 virusini yig'a oldilar. Ko'z oldiga keltiring: siz avtomobil qismlarini katta korobkaga solib, silkitsangiz korobkada o'z-o'zidan yig'ilgan avtomobilni ko'rasiz. Albatta, bu amalga oshmaydigan hodisa. Ammo, virusning o'z-o'zidan yig'ilishi g'ayritabiiy emasdir. T4 virusi o'z-o'zidan yig'iluvchi ko'pdan ko'p strukturalardan biridir. Molekulyar biologiya sohasida ishlaydigan mutaxassislar aminokislotalardan oqsilni «sintez» qiluvchi ribosomani 50 ta alohida oqsil va RNK

molekulariga ajratdilar va keyin esa, ularni sinash probirkasiga joylashtirganlarida yana avvalgidek ishlayotgan ribosomani oldilar.

Nyu-York universiteti professori N.Simek DNK molekularidan 2 va 3 o'lchamli strukturalarni olishga muvaffaq bo'ldi. Ikkita DNK molekulasi birlashtirilsa, barqaror va chidamli strukturani yaratishda qo'llash uchun yetarli darajada «qattiq» nanostruktura hosil bo'lar ekan. DNK molekularidan barpo etilgan nanostrukturadan olimlar odimlovchi nanorobotni (nanomashina) yaratdilar. Robot o'zining DNK molekulasining fragmentlaridan iborat «oyog'ini» ketma-ket bazaviy DNK ga qo'yadi va undan ajratib oladi. Natijada u oldinga qarab harakat qiladi. Robot harakat qiladigan «yo'l» esa, yana bir bazaviy DNK molekulasidan iborat. DNK molekulari komplementar bo'lganliklari sababli bir-birlari bilan yaxshi birlashadilar va ajraladilar. Yaqinda Perdyu universiteti. (AQSh) olimlari «o'z-o'zidan» yig'iladigan RNK (ribonuklein kislota) – strukturalar yordamida nanomashinalarni yaratish mumkinligini isbot qildilar. Kelajakda RNK molekularidan murakkab nanomashinalarni barpo qilish mumkin bo'ladi. Virus-bakteriofag phi29 RNK molekulasidan tashkil topgan bunday konstruktsiyadan o'z motorini qurar ekan. Motorning ishlash prinsipi avtomobilning ichki yonish dvigateli-ga o'xshaydi.

Odam tanasini ko'p ko'rsatkichlariga ko'ra o'ta samarador kompyuter deb qarash mumkin. U axborotni uzatish va qayta ishlashda DNK molekulasidan foydalanadi. DNK da axborot zichligi hayratda qoldiradigan darajada yuqoridir. DNK ning «bit»lari yoki azot asoslari (adenin – A, guanin – G, sitozin – S va timin-T)ning AT va GS komplementar juftliklari DNK zanjirida davriy ravishda bir-birlaridan 0,34 nm masofada joylashgan. Bu holda, axborot zichligi bir

dyumda (dyuym so'zi katta barmoq degani bo'lib, 2,54 sm ga teng) bir megabit bo'lsa, bir kvadrat dyumda esa, terabit (trillion bit) atrofida bo'ladi. Agar DNK molekulalarini uchunchi o'lchamda ham joylashtirish imkoni topilgandagi zichlikni (bir kub dyumda 10^{18} bit) tassavur qilish qiyin. DNK asosida yaratilgan kompyuterlar kvant kompyuterlariga o'xshash axborotni qayta ishlashni parallel ravishda olib boradilar. Kelajakda yaratiladigan kompyuterlarda universal hisoblarni bajarish uchun bunday yondashuv va prinsiplardan foydalanish nanofanning o'ta istiqbolli sohalaridan biri hisoblanadi. DNK – kompyuterlar erasi kvant kompyuterlariga nisbatan tezroq amalga oshishi kutilmoqda.

Nanotexnologiyalar va tibbiyot yoxud nanotibbiyot

Nanobiotexnologiyalar va tibbiyot fanlari integratsiyasi natijasida vujudga kelgan, jozibali va istiqbolli yangi yo'nalish nanotibbiyot hisoblanadi. Ushbu sohaning yetakchi kashshofi Robert Freytas tomonidan berilgan ta'rifga ko'ra, nanotibbiyot – nanoqurilma va nanostrukturalar hamda axborot texnologiyalaridan foydalanib, odamning biologik sistemalarini molekulyar darajada kuzatish, tuzatish, genetik korreksiya qilish va nazorat qilishdir. Nanotibbiyotni an'anaviy tibbiyot, kvant mexanikasi, yadro fizikasi va supramolekulyar kimyolarning simbiozi deb hisoblash mumkin. Nanotibbiyotning maqsadi odam organizmini davolash, biologik yoshartirish va inson umrini uzaytirishni ta'minlashda nanotexnologiyalar yutuqlaridan foydalanishga qaratilgan.

Hozirgi kunda, nanotibbiyot sohasi shakllanib kelayotgan yo'nalish bo'lib, uning usullari amaliyotga

endigina kirib kelmoqda va ko'pchiligi esa, hali loyiha darajasida. Tibbiyot sohasidagi qator xorijiy ilmiy markazlar diagnostika, davolash, protezlash va implantatsiyalash yo'nalishlaridagi ilk nanotexnologik qurilmalarni namoyish qilmoqlar. Nature Materials jurnalining hisob-kitobiga qaraganda, nanotexnologiyalar asosida 150 dan ortiq dori-darmonlar va ularni manzilga yetkazuvchi vositalar yaratilgan. Nanobiotexnologiyalar sohasidagi ishlanmalarni nanotibbiyotning kasalliklarni erta diagnostikasi, davolashning shaxsiy (personal) strategiyasini tanlash, aholining katta guruhlari sog'lig'i holati monitoringini olib borish, samarali kamdozali terapiya, tibbiyot uchun molekulyar vositalar(instrumentlar)ni yaratish, nanojarrohlik, to'qimalar transplantatsiyasi va regeneratsiya (tiklanishi)si, protezlash va boshqa sohalarida qo'llash mumkin.

Fan, biznes va hukumat organlari vakillaridan iborat Yevropa mamlakatlari ekspertlarining xulosasiga ko'ra, 2015-yilgacha nanotibbiyot rivojlanishining asosiy yo'nalishlari quyidagilardan iborat bo'ldi:

- dori-darmonlarni manzilga yetkazish;
- molekulyar darajadagi terapiya;
- erta diagnostika va molekulyar darajadagi vizualizatsiyalash;
- dezinfeksiyalash;
- lokal termoterapiya;
- monitoring o'tkazish va ommaviy ekspress – analiz qilishni ta'minlash maqsadida «bir chipdagi laboratoriyalar» texnologiyalarini joriy qilish.

Yaqin kelajakda katta samara berishi kutilayotgan yo'nalishlardan biri dori-darmonlarni manzilga yetkazish muammosidir. Ma'lumki, bemor qabul qilgan dorining samaradorligi yuqori bo'lishi uchun uning molekulalari organizmning shikastlangan hujayralariga yetib borish darajasi yuqori bo'lishi

zarur. Bemor qabul qilgan dori-darmonning 65 foizidan ko'pi biologik singish jarayonining sustligi tufayli foydasiz sarflanadi. Masalan, nur terapiyasi va kimyoviy tera-piya orqali rak kasalligini davolashda nosog'lom hujayralarni yo'qotish bilan bir qatorda sog'lom to'qimalarga va umuman odam sog'ligiga katta zarar yetkaziladi. Dorilarni organizmning aynan shikastlangan organi yoki to'qimalariga yetkazib berishga qaratilgan faoliyatni jurnalistlar «sehrli o'q» konsepsiyasi deb atashdilar. Haqiqatdan ham, mishenni mo'ljallab otilgan o'qdek, dori bemorning nosog'lom hujayralari-ga aniq borib yetishi lozim. Yangi ishlab chiqilgan usul va vositalar yordamida, maxsus kompyuter dasturi bo'yicha dorilar mo'ljallangan manzilga yetkaziladi, zarur vaqt davomida u yerda saqlanadi va keyin esa, odam organizmidan chiqarilib tashlanadi. Bu holda bir vaqtning o'zida bir necha ijobiy natijaga erishish mumkin. Birinchidan, shikastlangan to'qima (masalan, rak to'qimasi)-larga dorining katta dozasi bilan ta'sir qilinadi va bu tezda davolanishga olib keladi. Ikkinchidan, sog'lom to'qima va organlar zararli dorilarning ta'siriga uchramaydi. Uchinchidan, organizmga kiritiladigan, ko'pincha qimmatbaho dori miqdori bir necha marta kamayadi va davolash ancha arzonga tushadi.

An'anaviy davolashda, bemor qabul qilgan dorining konsentratsiyasi qonda yoki to'qimalarda asta-sekin ko'payib, terapevtik ta'sir qilish (davolash) darajasiga yetadi va keyin esa, zaharlash chegarasidan oshadi. Bundan so'ng dorining miqdori sekinlik bilan parchalanish natijasida yana kamayadi va organizmdan chiqariladi. Kasallikni yengish uchun bemor yana ketma-ket dori qabul qilishi kerak bo'ladi. Shunday qilib, organizmda dorining konsentratsiyasi doimo optimal miqdordan ko'p yoki kam bo'ladi. Bu esa, albatta organizmning sog'lom

to'qima va organlarini zaharlaydi. Faollashtirilgan (aktivlashtirilgan), manzilga nazorat ostida yetkazilgan dorining konsentratsiyasi ko'p vaqtgacha doimiy bo'ladi va uning terapevtik ta'sirining samaradorligi yuqori bo'ladi. Masalan, rak (saraton) kasalligini davolashda dorining lokal ta'sirini bir necha oyga yetkazish mumkin. Bunday ajoyib g'oyani qanday qilib amalga oshirish mumkin.

Bu yerda nanotexnologiyalar yordamga keladi. Agar jism nanoo'lcham darajasigacha maydalansa, u yangi fizikaviy va kimyoviy xususiyatlarga ega bo'ladi. Hosil bo'lgan nanozarralar katta solishtirma sirtga, kimyoviy va adsorbsion faollikka ega bo'lish bilan bir qatorda, ularning tirik organizmdagi teri, shilliq parda, membrana kabi har xil to'siqlardan o'ta olish qobiliyati oshadi. Shuning uchun ham amalda o'zini yaxshi tomondan ko'rsatgan an'anaviy dorilarni nanoo'lchamda tayyorlash ularning odam organizmiga singdirilishini oshiradi.

Asrimizning boshlarida dunyo bozorida dorilarni organizmga transdermal yo'l bilan (teri orqali) kiritish uchun applikatorlar paydo bo'ldi. Ularning yuzasi balandligi 150 nm atrofida va uchlarining egrilik radiuslari 10 nm ga yaqin bo'lgan kremniy nanoignalari bilan qoplangan. Oldin teriga zarur dori surtiladi va nanoignali applikator bilan yopiladi va unga oddiy plastir yopishtiriladi. Bunday applikatorlar og'riq bermaydi va terining singdruvchanligi bir necha darajaga orttiradi.

Endi, qanday qilib dorini organizmning shikastlangan yeriga to'g'ridan-to'g'ri yetkazish mumkinligiga to'xtalaylik. Bu g'oyani amalga oshirish uchun nanotexnologlar bir-biridan prinsipial farq qiluvchi ikki ta usulni taklif qildilar. Birinchisida, dori molekulalariga «transport» rolini o'ynovchi boshqa molekula yoki molekulalar guruhi kimyoviy yo'l bilan «tikiladi». Bu bi-rlashgan modulmolekulaga shunday xususiyat «ato»

etiladiki, u faqat shikastlangan to'qimalar tomonidan tortib olinadi. Albatta, bu holni amalga oshirish uchun nosog'lom to'qimalardagi biokimyoviy jarayonlar jiddiy o'rganiladi va ular bilan birlasha oladigan dori yetkazuvchi nanozarralar tanlab olinadi. Ikkinchi usulda esa, dori va ferromagnit nanozarralar bir-biri bilan aralashtiriladi, keyin esa ularning organizm bo'yicha «sayohati» tashqi bir jinsli bo'lmagan magnit maydoni orqali boshqariladi. Bu nanozarralar magnit maydoni ta'sirida organizmning nosog'lom to'qimalariga keltirilgach, istalgan vaqtgacha bu joyda saqlanib qolishi mumkin (bu uchun magnit chetlashtiriladi). Ikkala holda ham hujayralar ichiga kiritilayotgan nanozarralar bilan organizm to'qimalari orasida biologik moslik (sovmestimost) bo'lishi shart. Undan tashqari, dorilar belgilangan manzilga yetib borish yo'lida organizmga salbiy ta'sirini o'tkazish bilan birga o'zlari ham ta'sirga uchrab, parchalanishi mumkin. Shuning uchun ham, dori-nanozarralar nanokapsula (yoki nanokonteyner)larga joylashtiriladi.

Nanokapsula – ichi kovak, ko'pincha, sferik zarracha bo'lib, qobig'i polimer yoki lipid (hamma tirik hujayralar tarkibiga kiruvchi, moyli kislotalar va ularning hosilalari)ga o'xshash kimyoviy jihatdan stabil, biofaol, organizmga biologik mos keluvchi materialdan iborat. Bundan 30 yillar avval tirik hujayralar tarkibida tabiiy nanokapsulalar topilgan edi. Ammo, hozirgacha ularning roli aniq emas. Ilmiy izlanishlar ko'rsatdiki, nanokapsulalar oqsil molekulalaridan tashkil topgan ichi kovak, duksimon shaklga ega bo'lib, hujayra ichida hech qanday funksiyani bajarmas ekan. Olimlarda bunday tabiiy nanokapsulalardan nanotexnologiyalarda foydalanish g'oyasi paydo bo'ldi. Haqiqatdan ham, ulardan dori, DNK va RNK molekulalarini «tashish» uchun ideal transport sifatida foydalanish mumkin. Chunki, tabiiy

nanokapsulalar hujayra membranalaridan to'siqsiz o'ta oladi va odamning immun sistemasi ularni «o'ziniki» deb hisoblab, unga hujum qilmaydi. Bu yerda, nanokapsulani «troyan oti»ga o'xshatishimiz mumkin. Organizm uni «o'zimniki» deb hisoblaydi, ammo u o'z ichida biz xohlagan yukni olib bora oladi. Kaliforniya universiteti biokimyogarlari Leonard Rom boshchiligida tabiiy oqsil molekulalari va RNK zanjirlaridan shunday nanokapsulalarni olishga muvaffaq bo'ldilar. Ular kapsulaning bir tomonidan daricha ochib, uning ichidagi bo'shliqqa zarur «yuk»larni jumladan, nanokapsulaning hujayra ichidagi harakatini kuzatish maqsadida fluorestsent metkabelgi (yoritilganda, yarqirab nur chiqaruvchi molekulalar)larni joylashtirdilar. Hozirgi kunda, olimlar nanokapsula manzilga yetganda, uni qanday bo'shatish ustida ish olib bormoqdalar.

Yuqorida DNK molekulalarini qurilish bloki sifatida ishlatish mumkinligi haqida so'z borgan edi. Hozirgi kunda oddiy DNK zanjirlaridan kub, tetraedr (to'rt qirralik) va oktaedr (sakkiz qirralik) kabi ko'pqirrali strukturalarni tayyorlash mumkin. Hindiston olimlarining ilmiy izlanishlari shuni ko'rsatdiki, ikosaedr (yigirma qirralik) shakliga keltirilgan DNK molekulalaridan tayyorlangan kapsula dorilarni manzilga yetganiga qadar himoya qilish bilan bir qatorda dorilarni kapsuladan chiqib ketishiga yo'l qo'ymas ekan. Olimlar DNK dan tayyorlangan ikosaedr kapsulasi ichiga diametri 50 nm ga teng oltin nanozarralarini joylashtira oldilar. Bu nanozarralar yordamida ilk onkologik kasalliklarni juda tez va aniq diagnoz qilish mumkin. Perdu universiteti (AQSh) olimlari professor Peyxuan Gu rahbarligida bir-biriga uchburchak shaklida birlashtirilgan RNK molekulasi uchta zanjiridan hujayra ichiga dori olib boradigan yangi nanokapsula olishga muvaffaq

bo'ldilar. Nanokapsula o'z-o'zidan yig'ilish yo'li bilan olindi. RNK nanokapsulalarining o'lchamlari ularni istalgan hujayra ichiga kirishiga imkon bersa, strukturasi esa ularning ichiga rak hujayralarini o'sishini to'xtatishga mas'ul RNK zanjirlarini joylashtirish mumkin bo'ladi.

Bakteriyalar tabiiy ravishda tirik hujayralar ichiga kirish qobiliyatiga ega bo'lganligi uchun dori-darmonni istalgan manzilga yetkazishda ulardan transport sifatida foydalanish mumkin. Odatdagi bakteriyaga dori-darmon «yuklangan» nanozarrachani joylashtirib, uni kasallikka yo'liqqan hujayralarga yetkazish mumkin. Olimlar maxsus molekulalar yordamida o'lchami 40 – 200 nm ga teng bo'lgan nanozarralarni bakteriyalarning sirtiga yopishtirib qo'yishni o'rgandilar. Bir bakteriyaga yuzlab har turdagi nanozarralarni joylashtirish mumkin. (18-rangli rasm). Bu holat DNK fragmentlarini (jumladan, genlarni), sog'lom hujayralarni halok qilmasdan, zarur manzilga yetkazishda gen terapiyasida juda muhimdir. Genlar hujayra yadrosiga borib yetgach, genetik kasallikni bartaraf qilish uchun maxsus oqsillarni ishlab chiqara boshlaydi. Bu gen terapiyasi uchun yangi imkoniyatlarni yaratadi. Bundan tashqari, bakteriyalardan zahar joylashtirilgan nanozarralarni istalgan manzilga, masalan rak hujayralariga yetkazishda foydalanish mumkin.

Sfera shaklidagi ichi kovak fulleren – C_{60} molekullaridan dorilarni va boshqa zarur ob'yektlarni manzilga yetkazishda foydalanish mumkin. Sferaning sirtiga oldindan aniq bo'lgan biologik mishenlarga bog'lana oladigan kimyoviy birikmalar o'rnashtiriladi. Fulleren nanosferasi manzilga yetganda bu birikmalar mishen bilan birlashadi. Bu yo'l bilan qon tomiri va virus kasalliklari (masalan, gripp, VICH (spid)), neyrodegenerativ (miya hujayralarining halok bo'lishi bilan bog'liq kasalliklar), onkologik va boshqa

kasalliklarga qarshi kurashda foydalanish mumkin. Masalan, rak kasalligini radioaktiv nur bilan davolashda fulleren nanosferasi ichiga radioaktiv element atomi joylashtiriladi va uning sirtiga rak hujayralari bilan bog'lanuvchi kimyoviy guruhlar biriktiriladi.

Nanotexnologiyalar va tibbiyotda tashxis qo'yish

1953-yili, 28 fevral kuni Frensis Krik Kembrij (Buyuk Britaniya) universitetining Kavendish laboratoriyasiga kirib, «Biz hozirgina hayotning sirini topdik» degan iborasi tarixda o'z o'rnini egalladi. Bu kashfiyotning mualliflari Jeym Uotson (Watson), Frensis Krik va Moris Uilkins (Wilkins) 1962-yili Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar. Bu mukofot DNK molekulasiining strukturasi modelini yaratish bilan bog'liq edi. Busiz, faqat zamonaviy fannigina emas, balki zamonaviy hayotimizni ham ko'z oldiga keltirish qiyin. Qaysi mutaxassislik sohibi bo'lishimizdan qat'iy nazar, bu haqda ma'lum tasavvurga ega bo'lishimiz kerak. Avvalo, kashfiyotning tarixiga to'xtalaylik. XX asrning 50-yillarida DNK molekulasiining strukturasi hamda oraxborotni nasldan naslga, hujayradan hujayraga va organizmdan organizmga qanday qilib o'tishi noma'lum edi. Shu yillari Kavendish laboratoriyasini Lorens Bregg boshqarardi. U otasi Genri Bregg bilan hamkorlikda rentgen nurlarining kristalldagi difraksiyasini kuzatib, kristall tarkibidagi atomlar bir-biriga parallel tekisliklarda davriy ravishda joylashganini aniqladi. Ota-o'g'il Bregglarga bu uchun 1915-yili Nobel mukofoti berildi. Hozirgi kunga qadar rentgen strukturaviy analiz nanometr va atom darajasida ob'yektlarning tuzilishi haqida axborot olishning muhim usullaridan biri hisoblanadi. Kavendish laboratoriyasi da Lorens Bregg boshchiligida rentgen nurlari difraksiyasidan foydalanilib DNK, globulyar protein (sharsimon oqsil)

lar, jumladan gemoglobinning strukturasi o'rganilardi. Britaniya qirolligi kollejida esa Moris Uilkins va Rozalind Franklinlar DNK molekulasini kristallashtirib uning rentgenogrammasini o'rganishardi. Birinchi bo'lib, Rozalind Franklin DNK kristall strukturasi rentgen difraksiya kartinasini olishga muvaffaq bo'ldi. Shunday qilib olimlar rentgen nurlari yordamida DNKni ko'rish imkoniyatiga ega bo'ldilar. R. Franklin olgan rentgenogrammadan foydalanib, Jeym Uotson va Frensis Krik DNKning molekulyar strukturasi va uning tirik materiyada axborotni uzatishdagi o'rnini ko'rsatuvchi modelni yaratdilar (afsuski, R. Franklin bu ish uchun Nobel mukofoti berilganda hayotdan ko'z yumgan edi va shuning uchun unga mukofot berilmadi). Bu modelga ko'ra, DNK molekulari qo'sh spiral hosil qiluvchi va bir umumiy o'qqa ega ikkita polinukleotid zanjirlaridan (qalinligi 2 nm atrofida) tashkil topgan (17-rangli rasm). Ularning o'ramlari 10 ta nukleotiddan tashkil topgan bo'lib, davriy ravishda har 3,4 nm da qaytariladi. Tarkibidagi azot asoslari adenin(A), guanin (G), sitozin(S) va timin(T) nomlari berilgan nukleotidlar spiralning ichki tomonida joylashgan. Adenin bilan timin, guanin bilan sitozinlar vodород bog'lanishlari orqali bir-biri bilan tutashadi. Bu bog'lanishlar zanjirlarni komplementar (bir-birini to'ldiruvchi)ligini hamda ikkinchi zanjirdagi nukleotidlarning ketma-ketligini ta'minlaydi. DNK molekularining komplementarligi ularning replikatsiyasi (ko'payishi)da, RNK molekularini sintez qilinishida va axborotni uzatishda muhim rol o'ynaydi. Nukleotidlardagi ketma-ketlik oqsildagi aminokislotalarning joylashish tartibini yoki uning strukturasi belgilaydi. Nukleotidlarning bunday ma'lum tartibda ketma-ket joylashishi DNKning kodi bilan bog'liq. Shunday qilib, DNK ning kodi har qaysi aminokislota mos keluvchi nukleotidlarning

kombinatsiyasidan iborat. Bir aminokislota kodlash uchun to'rttadan uchta nukleotidning kombinatsiyasi yetarli bo'ladi. Bunda kombinatsiyalar soni $4^3 = 64$ taga teng. Uchta nukleotiddan iborat kombinatsiya triplet yoki kodon deb yuritiladi. Har qaysi triplet bir oqsilning strukturasi va funksiyasiga javob beradi. DNK molekulasini zanjiridagi nukleotidlarning hech bo'lmaganda birortasining joyi almasha yoki chetlashtirilsa sintez qilinayotgan oqsilning strukturasi buziladi. Bu esa genetik kasalliklarga olib keladi. Oqsil sintez qilinayotganda uning strukturasi haqidagi ma'lumot DNKdan oqsillarni ishlab chiqaruvchi «fabrika» – ribosoma molekulasiga RNK orqali yetkaziladi.

Nanoob'yektlar bilan manipulyatsiya qilishdan oldin nanodunyoni ko'z bilan ko'rish istagi tug'ilishi tabiiydir. «Yuz marta eshitgandan, bir marta ko'rgan yaxshi» deganlaridek, tibbiyotda bemorga tez va to'g'ri tashxis qo'yish uchun kasallikni qo'zg'atuvchi mikroorganizmlarni ko'rish muhimdir.

Dunyo tibbiyot xodimlari orasida «Ignoti nulla curatio morbi» (lotincha «Aniqlanmagan kasalning davosi yo'q») degan ibora mavjud. Shuning uchun ham kasalni to'la davolash uchun birinchi navbatda aniq tashxisga ega bo'lish zarur. Keyingi yillarda kasallikni aniqlash maqsadida odam organlarini va undagi o'zgarishlarni ko'z bilan ko'rishda (vizuallashtirishda) zamonaviy rentgen, magnit rezonans, ultratovush va kompyuter tomografiyasi kabi usullardan keng foydalanilmoqda. Ammo bu uskunalar qimmatbaho va katta gabaritga ega bo'lishlaridan tashqari ularning fazoviy (~1 mm) va vaqt bo'yicha (~1s) ajratish qobiliyati (razreshenie) juda past. Skanlovchi zond elektron mikroskoplarning ajratish qobiliyati juda yuqori bo'lib, alohida molekularni ko'rishga imkon bersada, ularning juda katta gabaritlari, qimmatligi va biologik ob'yektlar bilan ishlashning qiyinligi ommaviy tarzda

tashxis qilishda qo'llash imkonini bermaydi. Albatta, kasallikni har bir istalgan klinikada, kasalxonada, bemor to'shagida arzon narxda va tezda aniqlashni ta'minlash hamda kasallikning tabiati haqida chuqur va to'liq tasavvur hosil qilishga imkon beruvchi va tezda tashxis qiluvchi asbob va qurilmalarning o'lchamlarini miniatyurlashtirish (kichraytish) zarur. Bu yo'nalishda nanotexnologiyalardan foydalanish katta yutuqlarga olib kelishiga shubha yo'q. Yaqin kelajakda o'lchov uskunalari o'lchamlarining kichrayishi bilan molekularning konsentratsiyasining emas, balki **ularning sonini ham aniqlash imkoniyati tug'iladi.** Konsentratsiyani o'lchaganimizda bir vaqtning o'zida yuzlab trillion molekular bilan ish ko'ramiz. Kasallikka o'z vaqtida tashxis qo'yish uchun patologik jarayon bilan bog'liq ilk paydo bo'lgan molekularning sonini va ularning xususiyatlarini tezda aniqlash zarur. Kasallik boshlanganda bunday molekularning soni ko'p bo'lmaydi. Kamdan-kam molekularni qayd qilish imkoniyati tug'ilganda, kasallikning ilk bosqichida aniq tashxis qo'yish va o'z vaqtida davolash mumkin bo'ladi. Shuning uchun ham kasallikni tezda aniqlash uchun alohida molekularni qayd qilish usullari takomillashtirilmoqda. Bu esa kelajakda hujayra va subhujayra darajasida tashxis qo'yishning prinsipial imkonini yaratadi.

Birinchi navbatda, keng tarqalgan zamonaviy DNK – tashxis usullariga to'xtalaylik. Bu usullar DNK molekulari qo'sh zanjirlarining komplementarligiga asoslangan. Bulardan eng muhimi polimeraz zanjir reaksiyasi (PCR, polymerase chain reaction) usuli DNKni tahlil qilishda eng ko'p tarqalgandir. Bu usul DNK molekulasining komplementarligidan foydalanib, uning zarur fragmentini probirkada (in vitro) ko'paytirishga asoslangan. Bu yerda polimeraz deb yuritiluvchi ferment katalizator sifatida ishlatiladi.

Polimeraz tabiatda(in viva) bir zanjirli RNKni DNK dan nusxa sifatida olishda asosiy rolni o'ynaydi. PCR texnologiyasidan fundamental fanlarda, ayniqsa, tibbiyotda va yuqori texnologiyalarda keng qo'llanilmoqda. Tibbiyotda PCR usuli yordamida virus kasalliklari tez va aniq tashxis qilinadi. Bu uchun bemordan analiz uchun olingan DNK massasida kasallikni qo'zg'atuvchi virus genlarining sonini juda ko'p marta oshirishga to'g'ri keladi. PCR yordamida bir necha soat davomida bir dona virus genidan 50 milliarddan ko'proq nusxa olish mumkin. Bu esa kasallikni o'songina aniqlashga imkon beradi. Zamonaviy nanotexnologiyalar yaqin kelajakda analiz qilinadigan genning nusxalarini ko'paytirmasdan bir vaqtning o'zida millionlab genlarni tekshirish imkonini beradi. Bu maqsadda bir qator tashxis qiluvchi katak-maydonlarni yaratish lozim. Bunday katak-maydonlarning zichligi 1 sm^2 da 1 million nuqtadan iborat bo'ladi. Har qaysi nuqta analiz uchun olingan namunadan iborat. Bunday biochipga istalgan tirik sistemaning to'liq genomini joylashtirish mumkin bo'ladi. Hozirgi kundagi zamonaviy DNK-maydonlarning bir chipida 10 minggacha gen joylasha oladi. Mikro va nanoelektronika yordamida yaratiladigan bunday biochipning bittasi katta bir laboratoriya o'rnini bosa oladi. Chipdagi laboratoriya (ingl.lab-on-a-chip, LOC) yoki to'liq analiz sistemasi – maydoni bir necha mm^2 dan bir necha sm^2 gacha bo'lgan integral sxemali plastinkada bir yoki bir necha ko'p bosqichli biologik va kimyoviy jarayonlarni amalga oshirishga imkon beruvchi miniatyur qurilmadir (19-rangli rasm). LOC analizlarni yuqori tezlikda o'tkazishi, natija olish uchun zarur bo'lgan namuna va reagent (kimyoviy reaksiyaga kiruvchi modda)larni ko'p talab qilmasligi, analizlar qaytarilganda natijalarning o'zgarmasligi va ishlatishning osonligi bilan ajralib turadi. Kelajakda

onkologik va infeksiyon kasalliklarni maxsus laboratoriyalarda qimmatbaho qurilmalarda emas, balki bemor to'shagi oldida tashxis qilish, dala sharoitida atrof-muhitning ifloslanish darajasini aniqlash uchun ekspress-analiz o'tkazish mumkin bo'ladi. Yaqinda Kolumbiya muxandislari o'lchami kredit kartasiga teng bo'lgan yangi «Mchip»ni ixtiro qilishdi. Laboratoriya o'rnini to'la bosuvchi bunday mobil mikrogidrodinamik chipga analiz uchun faqat barmoqdan olingan bir tomchi qon yetarli. Bu qurilma zarur operatsiyalarni tezda amalga oshirib, 15 minut davomida analiz natijasini berishga qodir. Multiform glioblastoma (miyada paydo bo'lgan onkologik shish) juda ko'p uchraydigan kasallik bo'lishiga qaramay, u Evropa va Shimoliy Amerikaning 100 000 aholisidan atiga 2-3 kishida o'z vaqtida tashxis qilingan, xolos. Bu hol, hozirgi kunda bu kasallikni o'z vaqtida aniqlash masalasi katta muammo ekanligidan darak beradi. Boston (AQSh)dagi kasalxonaning bir guruh mutaxassisleri Ralf Uayslder rahbarligida birinchi bo'lib, chipdagi laboratoriya yordamida bemorning qon namunalari miyadagi agressiv shish(rak)dagi o'ziga xos glioblastoma hujayralarini aniqlashga muvaffaq bo'ldilar. Amalga oshirilgan ilmiy ishlar natijalari Nature Medicine jurnalida chop etilgan. Massachuset texnologiya instituti (AQSh) ilmiy xodimlari nanoqurilma va DNK asosidagi biochiplarni ommaviy ravishda ishlab chiqarishni boshlashga imkon beruvchi nanobosma («nanoprinting») texnologiyasini yaratdilar. Bu texnologiya asosida yaqin kelajakda har xil kasalliklarni ekspress-tashxis qilishga mo'ljallangan DNK-matritsalar ishlab chiqariladi. Bunday DNK-biochiplar yordamida bemorlarda Altsgeymer yoki SPID kasalliklarini bir necha minutda aniqlash mumkin. Hozirgi kunda bunday DNK-matritsa qurilmalaridan biri odam DNKsini analiz qilishda

qo'llanilmoqda. AQShning Jorjiya texnologik instituti va Kaliforniya universiteti olimlari oltin nanokapsulasi yordamida onkologik kasalliklarni tashxis qilishning yangi oddiy usulini ishlab chiqdilar. Bu tashxis prinsipi rak hujayralari sirtida paydo bo'lgan o'ziga xos yot tana(antitelo)lar oltin nanokapsulalarini bog'lab olishiga asoslangan. Bunda nanozarralar sog'lom hujayralarga ta'sir ko'rsatmaydi. Nanozarralarning o'lchamlari 35 nm bo'lganda eng yaxshi natijalarga erishildi. Shunday qilib, bir necha hujayra aniqligida organizmdagi rak shishlarining xaritasini tuzish mumkin. Shuni qayd etish joizki, bu usul yordamida tashxis qo'yishda qimmatbaho mikroskop yoki lazerlar emas, balki optik mikroskop va oq yorug'lik beruvchi lampa kerak bo'ladi, xolos. Olimlar o'zlarining tekshiruv natijalarini Nano Letters jurnalida e'lon qildilar.

Ekologiyada nanotexnologiyalar

O'tgan asrning ikkinchi yarmidan boshlab atrof-muhitni himoya qilish masalasi global muammoga aylandi. Dunyo miqyosidagi bu masalaning uzil-kesil yechimini topish dunyo xalqlari orasidagi hamjihatlik va tinchlikka bog'liq bo'lib qoldi. Birinchi navbatda, XX asrda jadal tezlik bilan rivojlangan odam faoliyatining tabiatga yetkazgan salbiy (antropogen) ta'sirini eng zararli tomonlariga asosiy e'tiborni qaratish zarur bo'ladi. Ekolog olimlarning fikricha, xalq xo'jaligining turli sohalari tomonidan tabiatga yetkazilgan zararning ulushiga qarab, ularni quyidagi ketma-ketlikda o'ziga xos ro'yxatga kiritish mumkin.

1. Qishloq xo'jaligi sohasi. Yerni chuqur haydash, tuproqning shamol va suv ta'siridagi eroziyasi, sutuproqning maydonlarda yerni tuzlanishi, katta g'oriladigan kimyoviy o'g'itlar va zaharli ximikatlar, miqdordagi chiqindilari va boshqalar katta maydonlarda tabiatga katta zarar yetkazmoqda.

2. Energetika sohasi. Organik yoqilg'ilarning barcha turlarini qazib olish va katta masofalarga transport orqali yetkazish jaroyonida tabiatga ziyon keltirish hamda yoqilg'i yonishi tufayli ajralib chiqqan va kanserogen xususiyatga ega oksidlar – uglerod dioksidi (CO_2), uglerod monooksidi (CO), azot dioksidi (NO_2), sera dioksidi (SO_2) energetika sohasini yuqorida qayd qilingan ro'yxatning ikkinchi o'rniga olib chiqadi.

3. Transport sohasi. Hayvonlar yashaydigan o'rmon, ekin ekiladigan yer va aholi yashaydigan joylarni kesib o'tuvchi avtomobil va temir yo'llar hamda daryo va dengizlar bo'ylab harakatlanuvchi transport vositalari tomonidan atrof-muhitga zaharli, kanserogen gazlarni chiqarilishi va neft mahsulotlarining to'kilishi va boshqalar tabiatga katta talofat yetkazmoqda.

Nanotexnologiyalar tabiatga ko'rsatiladigan bunday negativ antropogen faktorlar ta'sirini tubdan kamaytirishga qodir. Masalan, nanotexnologiyalar yordamida sanoat ishlab chiqarishida material va energiyani jiddiy tejovchi yuqori texnologiyalar joriy etilmoqda. Yuqori samaradorlikka ega energiya manbalari va tejamkor texnologiyalarni, ekologik toza mahsulotlarni ishlab chiqarish texnologiyalarini, transport vositalari tomonidan atmosferaga chiqariladigan zararli gazlarni sezilarli darajada kamaytirish, sanoat oqava suvlarini tozalash usullari va tabiatni saqlab qolishga qaratilgan boshqa juda ko'p innovatsiyalarni joriy eta oladi. Hozirgi kunda nanotexnologiyalar yordamida atrof-muhitni tozalash bo'yicha ko'p loyihalar amalga oshirilmoqda. Masalan, nanotexnologiyalar asosida tayyorlangan filtrlar, membranalar suvni tozalashda va dengiz suvini chuchuklashtirishda keng qo'llanmoqda. Kimyoviy va biologik ifloslanish darajasini tezkorlik bilan aniqlashda nanobiosensrlar yaratilgan.

Nanotexnologiyalar asosida ekologik toza, yangi materiallar sintez qilinmoqda va ishlab chiqarish chiqindilarini qayta ishlash yo'lga qo'yilmoqda. Radiatsion va kimyoviy zararlangan tuproq namunalari ustidan olib borilgan ilmiy-tekshirish ishlari ko'rsatdiki, nanopreparatlar yordamida ularning tabiiy holatini tiklash mumkin ekan.

Hammaga ayonki, odam organizmiga ichimlik suvi bilan juda ko'p zararli moddalar kiradi. Statistika sohasidagi mutaxassislarining hisob-kitobiga ko'ra, 25 yil davomida bizning organizmimiz 109 kg xlor, 25 kg nitratlar, 3 kg temir, 500 g alyuminiy, bir litr benzin va 27 g bor va boshqa zararli elementlardan o'zini tozalashga to'g'ri kelar ekan. Ichimlik suvini tozalashning hozirgacha mavjud bo'lgan usullari samaradorligi talabga javob bera olmaydi. Hozirgi kunda olimlar ichimlik suvni tozalashda zamonaviy nanotexnologiyalar yutuqlaridan foydalanishni yo'lga qo'ymoqdalar. Masalan, XX asrning oxirlarida butunlay yangi, tabiatda uchramaydigan yuksak reaksiyon qobiliyatga ega uglerod aralashmasi kashf qilindi. Bu aralashma juda katta solishtirma sirt va uglerod nanostrukturasi ega bo'lgan noyob sorbentdir. AQShda o'tkazilgan ilmiy-tekshirish ishlarining natijalariga ko'ra, bu yangi uglerod aralashmasi tomonidan ichimlik suvini tozalanishi koks yong'og'ining faollashtirilgan ko'miridan iborat eng yaxshi Amerika sorbentidan 100 – 350 marta sifatliroqdir.

Bundan tashqari nanotexnologiyalar yordamida suvni tozalashning boshqa bir qancha usullari mavjud. Ulardan birida og'ir metallar ionlarini suvdan chiqarib tashlash yoki metallarni tortib olish texnologiyasi ishlab chiqilgan. Bu texnologiyada metallar ionlarini o'ziga tortib oluvchi nanouglerod-polimer nanokompozitlari tozalanadigan suv ichiga solinadi. Bu nanokompozit zarralar dispers muhitda zararli aralashmalarni o'ziga

tortib olish evaziga kattalashadi va pastga cho'kadi. Keyin esa cho'kindi massa filtr va sentrifuga (markazdan qochirma kuch ta'sirida qorishmani mexanik ravishda ajratuvchi qurilma)dan o'tkazilib, suvdan osongina ajratiladi. Qolgan massadan qizdirish yo'li bilan metall chiqarib olinadi. Hozirgi kunda nanotexnologiyalar yordamida ichimlik suvini mishyak, har xil kolloid zarralar va boshqa aralashmalardan ajratib olish usullari mavjud.

Xrom, kadmiy, mis, sink ionlari bilan ifloslangan tuproqni yuqorida qayd qilingan, ichimlik suvini tozalashda ishlatiladigan nanouglerod-polimer nanokompozitlari yordamida remediatsiya (suv, tuproq va atmosferani tozalash usullari majmuasi) qilish usuli ishlab chiqilgan. Kompozitlarning tuproqqa kirish chuqurligi 1 dan 100 sm gacha o'zgarsa, remediatsiya zonasi esa 1 dan 100 metrgacha bo'lgan masofani o'z ichiga oladi.

Xitoy olimi Chjan Veysyan Amerika universitetlarining birida temir nanozarralari bilan o'tkazgan tajribasining ijobiy natijasi tuproqni arzon va samarali tozalash va juda ko'p mablag'ni tejash imkonini beradi.

Shuni qayd qilish joizki, nanotexnologiyalarning yuqorida ko'rsatilgan tabiatni himoya qilishdagi inkor qilib bo'lmaydigan yutuqlari bilan bir qatorda ularning xalq xo'jaligida keng qo'llanishi, atrof-muhitning holati va odamlarning sog'lig'i bilan bog'liq bo'lgan noaniqlik va yangi xavf-xatarlar tug'dirmoqda.

Oldin bir necha marta qayd qilganimizdek, moddalar nanoo'lchamdagi zarralarga maydalanganda ularning fizikaviy, kimyoviy va mexanik xususiyatlari keskin o'zgaradi. Haqiqatan ham modda bo'laklari qancha kichrayib borsa, uning sirtida joylashgan atomlarning soni ichkaridagilarga qaraganda ko'payib boradi. Sirtida joylashgan atomlar nanozarraning tashqari tomonida bo'sh valentlikka ega bo'lganliklari uchun kimyoviy

jihatdan juda faollikka ega va boshqa atomlar bilan tezda reaksiyaga kirishadi. Shuning uchun ham makroo'lchamda umuman zararsiz deb hisoblangan moddalarning nanozarralari odam sog'lig'i uchun xavf tug'dirishi mumkin. Nanozarralar hujayralarga kirib, uning tarkibidagi organellarga yopishishi va DNK molekulasini strukturasi yemirishi va mutatsiyaga sabab bo'lishi mumkin. Qadim zamonlardan ma'lumki, sink eritish bilan shug'ullangan kishilar sink oksidining aerozoli (nanozarralari) bilan nafas olganlari uchun sink lixoradkasi kasalligiga yo'liqqanlar. Avtomobil dvigateli va elektrostantsiyalarda ayniqsa, chekish jarayonida to'liq yonib ulgurmagan uglerod nanozarralari odam sog'lig'iga eng ko'p zarar yetkazadi. Bu uglerod nanochanglari nafas yo'li orqali o'pkaga o'tadi va o'pkaning himoya mexanizmlari ularni qayta ishlash va o'pkaning himoya mexanizmlari ularni qayta ishlash yoki neytrallashtirishga ojizlik qiladi. Shuning uchun ham olimlar yangi nanomateriallarni yaratish va foydalanish jarayonida jamiyat oldidagi o'z mas'uliyatlarini yaxshi sezgan holda nanozarralarni odam sog'lig'iga va sayyoramiz ekologiyasiga zararini puxta o'rganishlari va uning oqibatlarini oldindan ayta bilishlari hamda zarur tadbirlarni amalga oshirishlari kerak. Bu uchun ular endigina paydo bo'layotgan nanotoksikologiya fanidan xabardor bo'lishlari lozim. Nanoholatdagi moddalarning o'ziga xos xususiyatlaridan biri organizmning himoya sistemasidan «o'tish» qobiliyatidir. Masalan, bir necha yuz nm dan kichik bo'lgan nanozarralar o'pka ichiga kira oladi va bir nm atrofidagi zarrachalar esa o'pkadan qon tomirlariga osongina o'tadi. Tabiiy nanozarra hisoblangan gripp virusi odam organizmiga shu yo'l bilan kiradi. Ko'pchilikka ma'lumki, dermatolog va kosmetologlar tomonidan tavsiya etilgan ultrabinafsha nurlarni yutuvchi, badanni oftobda qoraytiruvchi kremlarning bozori chaqqon. Ko'pchilikning xabari yo'qki, bu kremning tarkibidagi titan dioksidi TiO_2 va sink dioksidi ZnO odam

organizmiga juda katta zarar yetkazadi. Bu kremlarning ommaviy qo'llanilishi natijasida AQSh da terining rak kasalliklari 90 foizga oshgan.

Har xil nanozarralarning xususiyatlari haqida hozirgacha to'plangan bilimlar asosida ularning odam sog'lig'iga salbiy ta'siri sabablarini uch guruhga bo'lish mumkin. Birinchidan, nanozarralarning o'zi zararli. Masalan, berilliy oksidining ultradispers nanozarralari, berilliy metalli va uning birikmalari nanozarralari bilan nafas olinganda o'pka kasali – berilloz paydo bo'ladi va u o'limga olib kelishi mumkin. Ikkinchidan, organizmga kirgan ba'zi nanozarralar zararsiz bo'lsa ham zaharli moddalarning paydo bo'lishida katalizator rolini o'ynaydi. Uchinchidan, moddaning organizmni zaharlashi uning nanoholatda bo'lishi bilan bog'liq. Masalan, kimyoviy inert hisoblangan ftoroplast polimeri idish-tovoqlarni yasashda qo'llaniladi. Havodagi ftoroplast nanozarralarining juda kam miqdordagi konsentratsiyasi 30 minutda kalamushni o'ldiradi. Ftoroplast nanochangi V_x – zaharlovchi moddadan 10 marta zaharlidir. Makro holatda zararsiz bo'lgan SiO_2 -kremniy dioksidi (plyajdagi oddiy qum) nanozarra holatida o'pkadagi birlashtiruvchi to'qimalarning kengayishiga sabab bo'luvchi silikoz kasalligiga olib keladi. Sichqonlarda o'tkazilgan tajribalar ko'rsatdiki, uglerod nanonaylarining aerezoli (masalan, tutun yoki tuman) sichqonning o'pkasida tolalar o'sib chiqishiga va birlashtiruvchi to'qimalarning yo'g'onlashishiga olib keladi. Nanonaylar epidermis (terinig tashqi qatlami) ga tushganda teri hujayralarini yallig'lantirishga olib keluvchi sikotikni ajratib chiqaradi. Odam yashashi uchun zarur bo'lgan foydali gaz kislorodni ham katta dozada qabul qilinsa zaharlidir. Uch kechayukunduz toza kislorod atmosferasida bo'lgan kishi hayotdan ko'z yumadi. Ko'p nanozarralarning zararli

konsentratsiyasi hali aniqlanmagan. Shuning uchun ham nanozarralar bilan ishlashda birinchi navbatda ehtiyotlik choralarini ko'rish kerak bo'ladi. 2008-yili Shvetsariyada o'tkazilgan xalqaro anjumanda qilingan ma'ruzalardan birida uglerod nanonaylarining zaharlash xususiyatiga ega ekanligi haqidagi natijalarga uning tarkibidagi metallar aralashmasi o'z ta'sirini o'tkazishi mumkin degan xulosaga kelingan. Bu holda nanonaylarning zarari haqidagi fikrlar noto'g'ri bo'lishi mumkin. Shuning uchun ham tabiatga yetkazilgan zararni baholashda faqat nanomateriallarnigina emas, balki tekshirishda qo'llanilgan usullarni ham tavsiflash zarur.

Neyro-kompyuter interfeysi

Taniqli olim va ixtirochi, Google kompaniyasining texnik direktori, futurolog Reymond Kutsvelning fikricha, insoniyat imkoniyatlarini keskin kengaytirishga erishish uchun, birinchi navbatda odam ongini miyadan kompyuterga o'tkazish zarur. Chunki, odam shaxsi deganimizda birinchi navbatda uning ongi, xotirasi, fikrlashi va his-tuyg'usini ko'z oldiga keltiramiz. Nima uchun odam ongini kompyuterga kiritish kerak? Odam miyasidagi fikrlashga mas'ul bo'lgan neyronlar atiga 200 gerts chastotada ishlaydi va signallarning tezligi 150 m/s dan oshmaydi. Bu esa zamonaviy kompyuterlar tezligidan 10 mln.marta kamdir. Odam xotirasining hajmi chegaralangan, chunki neyronlarning soni tug'ilishdan so'ng o'zgarmaydi. Aksincha, odam qarishi bilan neyronlar soni kamayib boradi va natijada miya yangi axborotlarni saqlab qola olmaydi. Biologik evolyutsiya jarayonida shakllangan miya o'zgarmas bo'lgani uchun uning faoliyatini takomillashtirib bo'lmaydi. Miyadagi axborotning nusxasini olib bo'lmaydi. Fikrni bir miyadan ikkinchisiga

o'tkazish va boshqa yerga uzatishning imkoni yo'q. Kompyuter esa hozirgi kunda trillionlab faktlarni eslab qola oladi va xotirasining hajmi va ishlash tezligi jadalik bilan oshib bormoqda. Kompyuterdagi axborotni internet tarmog'i orqali dunyoning istalgan nuqtasiga tezda yetkazish mumkin. Shuning uchun ham odam intellekti ulkan imkoniyatlarga ega bo'lgan kompyuter bilan birlashtirilsa, odam ongi uchun misli ko'rilmagan ufqlar ochilar edi.

Miya faoliyatining algoritmi topilganda bu jarayonni sintetik ekvivalent neyronlarda amalga oshirish imkoniyati tug'iladi. Bunday neyronlarning tezligi tabiiy neyronlarnikidan 10 mln. marta yuqori bo'ladi. Bu muammoni hal qilish uchun odam miyasidagi 100 milliard neyronning har qaysisining holati skanlash yo'li bilan o'rganiladi. Hozirgi kunda neyronlar muzlatilgan miyani kesib, qatlam-qatlam skanlash orqali o'rganilmoqda. Kelajakda, tirik neyronlar holatini o'rganishning samarali usullaridan biri uglerod nanonaylari asosida tayyorlangan o'ta yupqa elektrodlar massivini miyaning ichiga kiritishdan iborat.

Endigina o'z ongini kompyuterga o'tkazgan odamning fikrlash qobiliyati biologik miyadagidek bo'ladi. Ammo, takomillashtirilgan kompyuter dasturi va yangi asboblarni qo'llanilishi bilan odam o'ta intellektga ega bo'ladi. Bu holda biologik miyada bir yillik fikrlash 31 sekundda va bir asr xayol surish bir soatdan kamroq vaqtda amalga oshadi.

Ong qanday qilib miyadan tashqi kompyuterga o'tkaziladi?

Ong kompyuterga o'tishi uchun ruhiy emas, balki moddiy substansiya bo'lishi kerak, albatta. Hozirgi kunda, fikr va so'z (demak ong) haqiqatan ham moddiy ekanligiga ishonch hosil qilinmoqda. Odam ongi va kompyuterni birlashtirish haqida umumiy

tasavvurga ega bo'lish uchun odam miyasining tuzilishi va funksiyasiga qisqacha to'xtalamiz. Ma'lumki, odamning nerv tizimi 100 milliarddan ortiq nerv hujayralari – neyronlardan tashkil topgan (20-rangli rasm). Neyronlar nerv sistemasining asosiy strukturaviy va funksional birligidir. Ular axborot almashinuvi, retseptorlardan markaziy nerv sistemasiga va undan effektorlarga boshqaruv impulslarini uzatish uchun nerv tolalari orqali bir-birlari bilan bog'langan. Neyronning nerv tolalari orqali o'tuvchi impulslarning tabiati elektrokimyoviy xarakterga ega. Neyron irsiy axborotni saqlovchi yadro, dendritlar deb ataluvchi paypaslagichsimon kalta o'simtalar va uzun o'simta – aksondan iborat (20-rangli rasm). Dendritlar tashqaridan va boshqa neyronlardan signallarni qabul qiladi. Akson esa nerv signallarini kuchaytiruvchi va tekislovchi sinapslar orqali boshqa neyronlarning dendritlari bilan bog'lanadi. Shunday qilib, bizning miyamiz uzluksiz ravishda axborotni qayta ishlovchi o'ziga xos hisoblash tarmog'idir. Ma'lumki, odamning miyasi fikrlash jarayonida kuchsiz elektr impulsini ishlab chiqaradi. Elektr toki kompyuter «so'zlaydigan til» desak bo'ladi. Ammo, odam miyasidagi elektr toki o'ziga xos xususiyatlarga ega. Neyro-kompyuter interfeysi (NKI) deb yuritiladigan qurilma neyronlardan olingan elektr impulslarini kompyuter tomonidan komanda sifatida qabul qilinadigan signallar tizimiga «almashtiradi» (21-rangli rasm).

Yaqin kelajakda takomillashtirilgan NKIning ishlash prinsipi quyidagicha bo'ladi: Miyani entsefalogrammasini olishdagiga o'xshash NKI va kompyuter bilan bog'langan datchik odam boshiga o'rnatiladi. Keyin esa odam kompyuterda bajariladigan ishlar haqida o'ylaydi. Masalan, u kursor strelkasini fikran siljitib, kerak bo'lgan faylda to'xtaydi, tugmachani bosishni o'ylasa, fayl ochiladi. Xuddi shunday tarzda xayolan

klaviaturadagi harflar bosilsa kompyuterda matn paydo bo'ladi. Uzoq kelajakda esa NKI yordamida bir necha odamlarning miyasida kechayotgan neyroelektrik jarayonlarni birlashtirib tarmoq yaratish mumkin bo'ladi. Bu tarmoqda har qaysi foydalanuvchi o'zining fikri bilan ish ko'radi va boshqalarning fikrini (signal va simvollar shaklida) «ko'ra oladi». Bu yangi aloqa turi emasmi? NKI ning bir necha o'n yillardan keyingi yaratishi mumkin bo'lgan imkoniyatlarni ko'z oldiga keltiraylik. Neyron – kompyuter interfeyslari asosida internetga o'xshash global tarmoq vujudga keladi.

«Psixonet» deb nom berilgan bu tarmoqda dunyodagi ko'p odamlarning psixik jarayonlarini birlashtirish mumkin bo'ladi. Albatta, bunday tarmoqni barpo qilish uchun ko'p yillar kerak bo'ladi. Ammo, bu yo'nalishda ilk qadam qo'yildi va bunday tarmoqni yaratish imkoniyati mavjudligi isbotlandi. Albatta, «psixonet» tarmog'i fantastikaga o'xshaydi. Ivan-Yefremovning 1956-57-yillarda yozilgan «Andromed tumanligi» kitobini o'qiganlar roman qahramonlari qo'llagan televideofonni eslashlari mumkin. Aql bovar qila olmagan bu aloqa vositasidan bugungi kunda foydalanmaydigan odam juda ham kam. «Psixonet» da har qaysi odamning individual aql-idroki kollektiv tafakkuri bilan qo'shiladi. Bunday tarmoqni total ratio – umuminson tafakkuri deb atash mumkin bo'ladi. «Psixonet» global tarmog'i to'la amalga oshganda odamzot o'z rivojlanish tarixida ulkan qadam qo'ygan bo'lar edi.

Ko'z oldingizga keltiring, 2040-45-yillarda suhbatdoshingizning intellektual faoliyati bir-biri bilan chambarchas bog'liq bo'lgan biologik va elektron tipdagi fikrlashlarning gibrididan iborat bo'lishi mumkin. Hisoblashlar ko'rsatadiki, 2050-yilda bitta kompyuter bir milliard odam miyasining funksiyasini bajarishga qodir bo'ladi. Shuning uchun ham XXI asrning o'rtalarida

odam va mashinalar intellektlari bir chipda mustahkam bog'langan bo'lishi haqiqatdan uzoq emas.

Reymond Kurtsveyl xalqaro anjumanlardan birida bu haqda shunday degan edi:

«Cho'ntagimdagi smartfonning quvvati 40 yil avval universitetda o'qiganimda men foydalangan kompyuterdan milliard marta yuqoridir. 25 yildan so'ng uning o'lchami 100 ming marta kichik va milliardlar marta quvvatliroq bo'ladi va bizning miyamiz bilan integratsiyada bo'ladi.

Endi, neyrokompyuter interfeysi loyihasining amalga oshirishini ta'minlovchi ba'zibir tajribalarga to'xtalaylik.

Yaqinda Tel-Aviv universitetining professori Yel Xanin xonim xodimlari bilan birga biologik tirik neyronlar va elektrodlarni bir-biriga bog'lash imkoniyatiga ega bo'lgan, biologik moslikka ega bo'lgan interfeysni ishlab chiqdilar. Ular avval uglerod nanonaylaridan spagettiga o'xshash sharni sintez qildilar, keyin esa bu sharning sirtida elektr toki yordamida kalamush neyronlarini o'stirishga muvaffaq bo'ldilar. Sun'iy substratda tirik hujayralarni o'stirish juda murakkab va nozik ish bo'lishiga qaramay, olimlar neyronlar va nanonaylar orasida turg'un ishlaydigan neyroelektrik interfeysni yaratdilar. Ular o'stirgan kalamush neyronlari nanonay – shar orqali signallar bilan o'zaro almashishlarini kuzatdilar. Nanomateriallarga ba'g'ishlangan paragrafda uglerod nanonaylari katta elektr va issiqlik o'tkazuvchanlikka ega ekanligi haqida so'z borgan edi. Bundan tashqari ular yuksak biologik moslikka ega. Shuning uchun bu tajribada uglerod nanonaylari neyronlarni o'stirishda asos (fundament) sifatida ishlatildi. Shunday qilib, olimlar sun'iy asosda tashqi elektr signallarini qabul qiluvchi va unga javob bera oladigan turg'un ishlaydigan neyrotarmoqni barpo qildilar. Bu ixtirodan nerv to'qimalari uchun implantlar tayyorlashda foydalanish mumkin.

Odamning har bir harakati, idrok qilishi va ichki fikrlashi bilan bog'liq bo'lgan faoliyati elektr impulslari orqali bir-biri bilan o'zaro aloqada bo'lgan neyronlarning ma'lum bir faollashuvi bilan bog'liqdir. Bu toklar hosil qilgan elektromagnit maydonini elektr entsefalografiyasi (EEG) va magnit entsefalografiyasi (MEG) usullari yordamida qayd qilish mumkin. Ko'p olimlar hozirgacha EEG usulidan odamning fikrlarini «o'qish» va tashqi qurilmalarni fikr kuchi bilan to'g'ridan-to'g'ri boshqarishda foydalanish haqida bosh qotirganlar.

Nanota'lim – intellektual taraqqiyotning eng muhim shartlaridan biri

Mamlakat iqtisodiyoti raqobatbardoshligi, ilmiy va texnologik ishlanmalar samaradorligi hamda yuqori turmush darajasiga erishish imkoniyatlari ko'p jihatdan mavjud ta'lim tizimiga bog'liq. Shuning uchun ham mustaqilligimizning dastlabki yillaridan boshlab mamlakatimizda ta'lim tizimini isloh qilish dolzarb masalalar qatoriga kiritildi.

Mustaqilligimizning ikkinchi yili – 1992-yildayoq «Ta'lim to'g'risida qonun» qabul qilindi. 1997-yili yangi tahrirda qabul qilingan «Ta'lim to'g'risidagi qonun» hamda «Kadrlar tayyorlash Milliy Dasturi» mamlakatimiz tarixida misli ko'rilmagan voqea bo'ldi.

2005-yili Milliy dasturning 3-bosqichini amalga oshirish boshlandi. Ma'lumki, bu bosqichning asosiy maqsadi «mamlakatni ijtimoiy-iqtisodiy rivojlantirish istiqbollari muvofiq kadrlar tayyorlash tizimini takomillashtirish va yanada rivojlantirish»dan iboratdir.

Mamlakatimizning ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishi yildan yilga jadallashib bormoqda. Iqtisodiyotda intensifikatsiya va modernizatsiya jarayonlari jadallik bilan amalga oshmoqda. Bunday sharoitda «Kadrlar

tayyorlash Milliy Dasturi» talablaridan kelib chiqqan holda, mehnat bozorining ehtiyojlarini e'tiborga olib, yangi istiqbolli yo'nalishlar bo'yicha kadrlar tayyorlashni va qayta tayyorlashni tezkorlik bilan yo'lga qo'yish vazifasi qo'yilmoqda.

Bu borada nanotexnologiyalar eng muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Oldin qayd qilganimizdek, 2015-yilda jahon bozorida nanotexnologiya mahsulotlarining hajmi bir trillionga yetishi kutilgan edi. Rivojlangan mamlakatlar sanoatida nanotexnologiyalar yordamida ishlab chiqarilayotgan mahsulotlarning ulushi yildan yilga oshib bormoqda. Ayniqsa, elektron, mashinasozlik va kimyo sanoatlari, tibbiyot, farmasevtika va boshqa bir qancha sohalar ehtiyojlari uchun zarur bo'lgan nanomateriallarning salmog'i jadallik bilan ko'payib bormoqda. Shuning uchun ham ko'p xorijiy mamlakatlarda bu yo'nalishlar bo'yicha yuqori malakali kadrlarni tayyorlashga juda katta e'tibor berilmoqda.

Nanotexnologiyalar sohasida mutaxassislar tayyorlashda yuqori samaraga erishish uchun mamlakatimizda muayyan nanotexnologik muhitni shakllantirish zarur. Bunday muhitni yaratishda va nanotexnologiyalar sohasida kadrlar tayyorlashni tashkil qilishda rivojlangan xorijiy mamlakatlar tajribasiga tayanish muhimdir. Shuning uchun ham xorijiy mamlakatlarda nanotexnologiyalar sohasida kadrlar tayyorlash masalasiga qisqacha to'xtalaylik.

Rivojlangan xorijiy mamlakatlar ta'lim tizimida islohotlar yuz bermoqda. Ko'p ta'lim yo'nalishlari bo'yicha ilmiy kadrlarni kasbiy tayyorlashga yondashish tubdan o'zgarimoqda. Bu mamlakatlar ta'lim tizimidagi o'zgarishlar birinchi navbatda magistr va doktorantlarni tayyorlashga tegishlidir. Maxsus o'quv markazlarida nanotexnologiyalar sohasida o'quv kurslarini tashkil qilish va ularda olimlar va ilmiy xodimlarni o'qitishga katta e'tibor qaratilmoqda.

Nanotexnologiyalar sohasidagi mutaxassislarga ehtiyojning oshishi munosabati bilan bu yo'nalishda fundamental ilmiy tekshirish ishlari bilan shug'ullanuvchi olimlar pedagogik faoliyat bilan shug'ullanib, o'quv kurslari, seminar va konferensiyalar o'tkazmoqdalar. Qator mamlakatlarda nanotexnologiyalarga tegishli asosiy bilimlar ta'limning barcha bosqichlaridagi o'quv dasturlariga kiritilmoqda.

Nanotexnologiyalar yo'nalishida kadrlar tayyorlaydigan universitetlar soni yildan yilga oshib bormoqda. Bu sohada juda ko'p maxsus kurslar, o'quv qo'llanma va darsliklar, jumladan, elektron o'quv darsliklari paydo bo'lmoqda. AQSh, Yaponiya, Buyuk Britaniya, Germaniya, Fransiya, Daniya, kabi mamlakatlar nanotexnologiya bo'yicha kadrlar tayyorlashda jahon ta'lim bozorida peshqadamlik qilmoqdalar.

AQSh Milliy ilmiy fondi(NSF) mamlakatning 50 ta shtatini qamrab olgan 12 ta o'quv nanomarkazlarini tashkil qilgan. Bu markazlar yagona set orqali axborot almashish imkoniyatiga ega. AQSh ning zamonaviy boy eksperimental bazaga ega bunday yirik ilmiy-tekshirish markazlari nanotexnologiyalar sohasida malakali kadrlarni tayyorlashda katta rol o'ynamoqda.

Bu nanosistema 500 dan ortiq universitet, shaxsiy institutlar, hukumat laboratoriyalarini qamrab olgan. Markazlarda o'rta maktablarning tabiiy fanlar (fizika, kimyo, biologiya) o'qituvchilari nanotexnologiyalar sohasida o'z malakalarini oshirish imkoniga ega bo'ldilar.

AQSh mamlakatda nanotexnologik muhitni barpo qilish maqsadida nanotexnologiyalarni o'qitish, uni tashviqot va targ'ibot qilish jamiyatning barcha qatlamlarini qamrab olgan. Bu yerda 2007-yili «Milliy nanotexnologik tashabbus (NNI)ning yangi strategik rejasi qabul qilindi. Bu hujjatning «Ijtimoiy aspekt» bo'limi doirasida NNI ning asosiy vazifasi nanotexnologiyalar sohasida maktablar va oliy o'quv yurtlari talabalari uchun o'quv materiallari ishlab

chiqishdan iborat. Bundan tashqari ushbu rejaga asosan nanotexnologiyalar sohasida texnik kadrlar tayyorlash va ijtimoiy yo'naltirilgan dasturlar qabul qilingan. Bu bo'limda o'qitishning ko'p funksiyali tizimi va yuqori malakali kadrlarni tayyorlash dasturlarini yaratishga qaratilgan investitsion siyosatni qo'llash haqida so'z boradi (<http://www.nano.gov>).

Yaponiyada 2004-yili «Nanotech VOT Program» dasturi qabul qilindi. Bu dastur ta'limning barcha bosqichlarida maktab o'quvchilaridan doktorantlar (PhD) gacha nanotexnologiyalarni o'rgatishga yo'naltirilgan. Xitoyda mamlakatning har xil hududlarida joylashgan 60 ta universitetda nanofan va nanotexnologiyalar sohasida kadrlar tayyorlanmoqda.

Shunday qilib, xorijiy mamlakatlarda nanofan va nanotexnologiyalar sohasida mutaxassislar tayyorlash maktablar, maxsus kurslar, kollejlar, universitetlar, shaxsiy institutlar, ilmiy-tekshirish markazlari, hukumat laboratoriyalarida amalga oshirilmoqda. Internet uchun maxsus o'quv dasturlari loyihalari ishlab chiqilmoqda. Nanota'lim muammolari bo'yicha tajriba almashish maqsadida AQSh, Yevropa Ittifoqi, Yaponiya, Koreya, Hindiston, Shveytsariya, Germaniya, Lotin Amerika mamlakatlari, Osiyo-Tinch okeani mamlakatlari ish-tirokida muntazam ravishda xalqaro uchrashuvlar o'tkazilmoqda.

Germaniyada ta'lim va fan federal vazirligi tomonidan maktab va maktabgacha yoshdagi o'quvchilar uchun «Nanotreyler» (treyleryashash uchun moslashtirilgan avtomobil yoki avtobus) loyihasi amalga oshirildi. Bu treyler mamlakatning istalgan yerida yosh o'quvchilarga nanotexnologiya to'g'risida oddiy tushunchalarni singdiradi.

Dunyodagi ko'pchilik kollej va universitetlarda bakalavriat tizimida nanotexnologiyalar sohasining aktual yo'nalishlari bo'yicha mutaxassislar tayyorlanmoqda. Masalan, AQSh yirik o'quv markazlaridan biri Dakota

texnik kolleji va Minnesota universiteti bilan hamkorlikda nanotexnologik materiallar va nanoelektronika yo'nalishida mutaxassislar tayyorlamoqda.

Shtatdagi 50 dan ortiq kompaniyalarda bunday mutaxassislarga ehtiyoj sezilmoqda. Luizanadagi texnik universitet 2005-yildan buyon nanosistemalar sohasida muxandislar yetishtirib chiqarmoqda. AQSh Olbani universitetida fizika, kimyo, informatika, biologiya, matematika va texnika fanlarini o'qitish bilan bir qatorda nanofanlar, nanomuhandislik, nanotexnologiyalar va nanoiqtisodiyot kabi fanlarni chuqur o'rganish tashkil qilingan.

Yevropa Ittifoqi mamlakatlarida ta'limning ikki bosqichli tizimiga o'tilganligi munosabati bilan bakalavriat dasturi (3-4 yil) asosida fizika, kimyo, elektronika yo'nalishlari amalga oshirilsa, magistraturada esa nanofizika, nanokimyo, nanoelektronika sohasida mutaxassislar tayyorlanadi.

Dunyodagi ko'plab universitetlarda nanotexnologiyalar yo'nalishida magistrlik dasturlari ishlab chiqilgan va mutaxassislar tayyorlanmoqda. Masalan, bu yo'nalishda magistrlar tayyorlash Buyuk Britaniya, Shveysariya, Germaniya, Shvetsiya, Ispaniya, Irlandiya, Fransiya, Italiya, Belgiya, Niderlandiya, Rossiya va boshqa qator mamlakatlarda yaxshi yo'lga qo'yilgan.

Yuqorida qayd etilganidek, yaqin kelajakda mamlakatimizda rivojlanayotgan sanoat va ta'lim tizimi uchun nanotexnologiyalar sohasida yuqori malakali kadrlarga katta ehtiyoj tug'iladi. Shuni e'tiborga olgan holda mamlakatimizda nanotexnologiyalar bo'yicha kadrlar tayyorlash konsepsiyasini ishlab chiqish va shu asosda maxsus dastur tayyorlash maqsadga muvofiq bo'lur edi.

Konsepsiyada bu yo'nalish bo'yicha kadrlar tayyorlash uchun birinchi navbatda mamlakatimizda nanotexnologiyalar sohasida innovatsion muhitni yaratish ko'zda tutilishi lozim. Bu uchun ta'lim tizimining barcha bo'g'inlarida ta'lim oluvchilar ongida

nanotexnologiya haqidagi bilimlarni shakllantirish zarur bo'ladi. Albatta, bu g'oyani amalga oshirishda har xil alternativ yo'llarni tanlash mumkin. Rivojlangan xorijiy mamlakatlar tajribasiga tayangan holda quyidagi takliflarni kiritishni lozim topdik.

Oliy ta'lim tizimida nanotexnologiyalar sohasida kadrlar tayyorlash maqsadida yoshlarni kasbga yo'naltirish maktabdan, akademik litsey va kasb-hunar kollejlari amalga oshishi lozim bo'ladi. Umumta'lim o'rta maktablar o'quvchilari va o'rta maxsus ta'lim yurtlari talabalarida nanotexnologiyalar haqida ta'lim darajada bilimlarni shakllantirish davr talabidir. Albatta, hozirgi kunda ta'limning bu bosqichlarida nanotexnologiyalarni alohida fan sifatida o'qitish ancha murakkab masa-ladir. Chunki, bu predmetni o'zlashtirish uchun ta'lim oluvchilar fizika, kimyo va biologiya fanlaridan yetarli darajada bilimga ega bo'lishlari hamda bu sohada yuqori malakali o'qituvchilarni tayyorlashga to'g'ri keladi.

Shuning uchun ham eng to'g'ri yo'l «Nanotexnologiyalar» elektiv kursini alohida fan sifatida o'qitmasdan, uning tegishli qismlarini, fizika, kimyo va biologiya fanlarining tarkibiga modul sifatida kiritish ma'quldir. Bunday modul materiallari asosiy darslikning mazmuniga zid bo'lmasligi va bayon qilinish tarzi bir xil bo'lishiga alohida e'tibor berilishi zarur bo'ladi. Modulning asosiy vazifasi nanoob'yektlarning xususiyatlarini o'rganish orqali o'quvchi va talabalarining olamning fizik manzarasi haqidagi tasavvurini boyitish, nanotexnologiyalar misolida fizika, kimyo, biologiya va boshqa fanlarning o'zaro bog'liqligiga ishonch hosil qilish hamda nanomateriallarning o'ziga xos xususiyatlari, ularni qo'llash sohalari va bu yo'nalishning rivojlanish istiqbollari haqida ma'lum tushunchaga ega bo'lishdan iboratdir.

Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari yoshlarning xohishiga qarab nanotexnologiyalar bo'yicha

to'garaklar tashkil qilinishi juda foydali bo'lur edi. Tabiiy fanlarni chuqur o'rganishga ixtisoslashgan akademik litseylarda bulardan tashqari alohida «Nanotexnologiyalarga kirish» kursini o'qitish maqsadga muvofiq bo'ladi. Oliy o'quv yurtlarida nanotexnologiya sohasida ilmiy va pedagogik kadrlarga bo'lgan ehtiyojni hisobga olgan holda, bakalavriat va magistratura orqali mutaxassislarni tayyorlashni yo'lga qo'yish muhim vazifadir.

Yuqorida ko'rsatilgan vazifalarni amalga oshirishda birinchi navbatda nanotexnologiyalar sohasida pedagog kadrlarni, fizika, kimyo va biologiya o'qituvchilarini qayta tayyorlash lozim bo'ladi. Bu muammoni mavjud malaka oshirish va qayta tayyorlash markazlari yordamida qisman hal qilish mumkin bo'ladi. Bunda albatta, o'quv maskanlari yetarli darajada zarur o'quv-uslubiy adabiyotlar bilan ta'minlanishi va muayyan moddiy bazaga ega bo'lishi lozim bo'ladi.

Bakalavriat va magistratura orqali nanotexnologiyalar sohasida kadrlar tayyorlash jiddiy eksperimental baza hamda yuqori malakali professor-o'qituvchilarni talab qiladi. Shuning uchun ham, birinchi navbatda, O'zbekiston Milliy universiteti va Toshkent texnika universitetida zamonaviy nanofan (nanofizika, nanokimyo va nanobiologiya)lar hamda nanotexnologiyalar bo'yicha o'quv-ilmiy markazlar tashkil qilinsa, maqsadga muvofiq bo'lur edi. Bu markazda mamlakatimizning barcha oliy o'quv yurtlari va korxonlari uchun bakalavriat, magistratura va doktorantura orqali mutaxassislar tayyorlash bilan bir qatorda muhim fundamental ilmiy-tekshirish ishlarini yuqori darajada bajarishga imkon tug'iladi. Bu markazda barcha o'quv mussasalari o'qituvchilari nanotexnologiyalar sohasida o'z malakalarini oshirishlari va ilmiy-tekshirish ishlarini olib borishlari mumkin bo'lur edi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. M. Ribalkina. Nanotexnologii dlya vsex, Moskva, 2005 g.
2. Ch. Pul – ml., F. Ouens. Nanotexnologii, 2-nashri, Moskva, 2006-y.
3. R.A.Andrievskiy, A. V. Ragulya. Nanostrukturnie materialy, Moskva, 2005 god.
4. N.V. Menshutina. Vvedenie v nanotexnologiyu, Kaluga, 2006 god.
5. Nanomaterialy. Nanotexnologii. Nanosistemnaya texnika. Mirovie dostizheniya za 2005 g., Sbornik pod redaktsiyey d.t.n., professora P.P. Maltseva, Moskva, 2006.
6. Fizika – ximiya nanoklastero, nanostruktur i nanomaterialov, Moskva, 2006 god.
7. Yu. Altman. Voennie nanotexnologii. Vozmozhnie primeneniya i preventivnogo kontrolya vooruzheniy, Moskva, 2006 god.
8. L.Foster. Nanotexnologii. Nauka, innovatsii i vozmozhnosti. Texnosfera, Moskva, 2008 god.
9. Kennet Deffey, Stefen Deffey. Udivitelnie nanostrukturnie, Binom, Moskva, 2011 god.
10. Genrix Erlix. Malie ob'ekti – bolshie idei. Binom. Moskva, 2012 god.

Veb saytlar:

www.rusnano.com
www.nanolux.ru
www.nanoware.ru
nano.com.ua
nanodigest.ru
www.nanonewsnet.ru
www.nanometer.ru
www.rusnanoforum.ru
nanorf.ru
www.ntmdt.ru



KOMIL MUQIMOV

O'zbekiston fanlar akademiyasining haqiqiy a'zosi (akademigi), fizika-matematika fanlari doktori, professor.

1940-yili Buxoro viloyati G'ijduvon tumanida tug'ilgan. 1957-yili O'rta-Osiyo davlat universitetining (hozirgi O'zbekiston Milliy universiteti) fizika-matematika fakultetiga o'qishga kirdi va 1964 yili Lomonosov nomidagi Moskva davlat universitetining fizika fakultetini tamomladi. 1964-1967-yillarda Moskva davlat universiteti fizika fakulteti aspiranti. 1968-yili nomzodlik va 1988-yili doktorlik dissertatsiyalarini yoqladi. 1967-yildan 1992 yilga qadar Toshkent davlat universiteti (hozirgi O'zbekiston Milliy universiteti) da o'qituvchi, dotsent, professor, ilmiy laboratoriya va kafedra mudiri hamda fakultet dekani vazifalarida ishladi.

1992-yildan 2005-yilgacha Buxoro davlat universiteti rektori lavozimida faoliyat ko'rsatdi. 2005-yildan 2017-yilga qadar O'zbekiston Milliy universiteti qoshidagi Amaliy fizika ilmiy-tekshirish institutida ilmiy laboratoriya mudiri lavozimida ishladi. U 250 dan ortiq ilmiy maqolalar, bir nechta monografiya va o'quv qo'llanmalar muallifi. 18 ta fan nomzodi va 3 ta fan doktori tayyorlagan.

Hozirda O'zbekiston Milliy universiteti fizika fakultetining fotonika kafedrası professori lavozimida ishlamoqda.

MUNDARAJA

Nanotexnologiyalar nima?.....	3
Nanotexnologiyalar tarixi.....	8
Pasayib boruvchi (yoki «yuqoridan pastga») va ko'tarilib boruvchi (yoki «pastdan yuqoriga») texnologiyalar.....	12
O'lcham effektlari.....	18
Nanotexnologiyalar vositalari.....	24
Nanomateriallar.....	33
Nanotexnologiyalar energetikada.....	41
Vodorod energetikasi.....	48
Nanobataveya va superkondensatorlar.....	51
Mikroelektronikadan nanoelektronikaga.....	55
Kvant kompyuterlari.....	68
Nanotexnologiyalar aerokosmik sohasida.....	74
Nanorobotlar yoxud assemblerlar.....	80
Mitti bunyodkorlar qurilishda.....	85
Nanotexnologiyalar harbiy sohada.....	91
Biomimetika va nanotexnologiyalar.....	97
Nanobiotexnologiyalar.....	103
Nanotexnologiyalar va tibbiyot yoxud nanotibbiyot.....	110
Nanotexnologiyalar va tibbiyotda tashxis qo'yish.....	117
Ekologiyada nanotexnologiyalar.....	123
Neyro-kompyuter interfeysi	129
Nanota'lim – intellektual taraqqiyotning eng muhim shartlaridan biri.....	134

Ilmiy-ommabop nashr

Komil Muqimov

Mitti bunyodkorlar yoxud nanotexnologiyalar nima?

Muharrirlar: O'ktamoy Xoldorova
Gulnoza Quvondiqova
Musahhih: Aziza Murodova
Sahifalovchi: Abduaziz Nabiev

Nashriyot litsenziyasi II № 193. 10.05.2011 yil
Bosishga ruxsat etildi 04.01.2017 yil. Ofset qog'ozi.
Bichimi 84x108 $\frac{1}{32}$. «Arial» garniturası.
Ofset usulida bosildi. Shartli b. t. 9.0 Nashr t. 8.6
Adadi 1000 nusxa. Buyurtma № 17-17.
Bahosi shartnoma asosida.

«**Kamalak**» nashriyotida nashrga tayyorlandi.
Toshkent shahri, Navoiy ko'chasi, 30-uy.
tel: +99895-303-05-60

Ozbekiston Matbuot va axborot agentligining
«O'zbekiston» nashriyot matbaa ijodiy uyida chop etildi.
100011, Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30-uy.

Telefon:(371) 244-87-55, 244-87-20
faks: (371) 244-37-81, 244-38-10
e-mail: iptduzbekistan@mail.ru
www.iptd.uzbekistan.uz

С
С
ф
р
ф
д
н
у
у
д
в
іс

S
d
q
іс
o
q
d

k
is