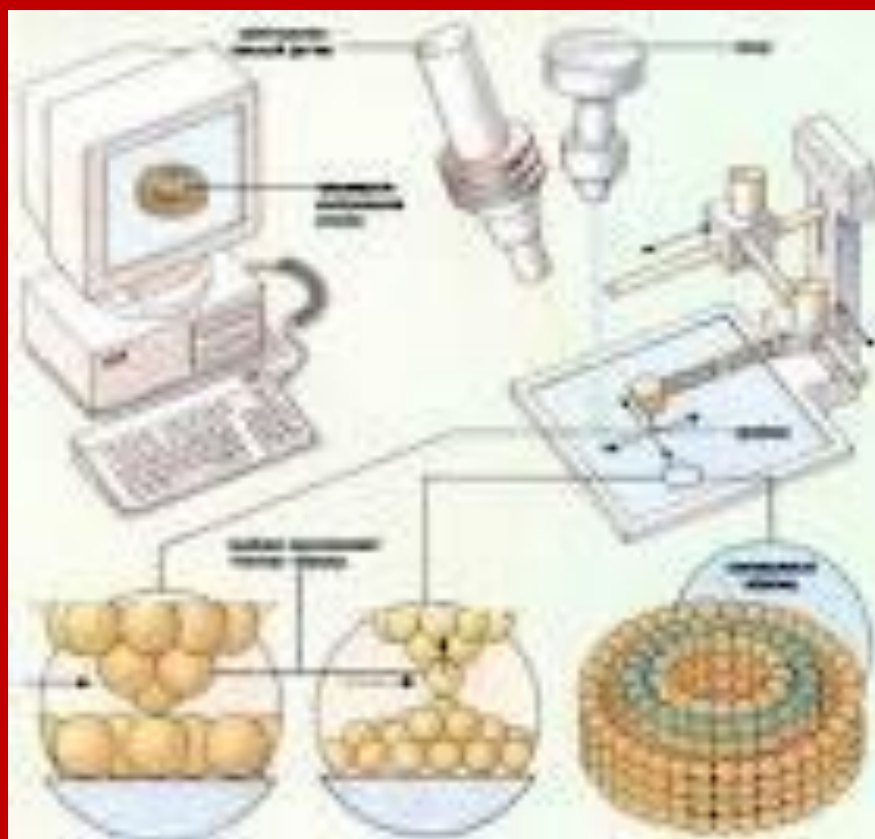


H. O. ABDULLAYEV, S. U. ABDULBORIYEV

NANOTEKNOLOGIYAGA KIRISH



NAMANGAH 2012

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
FIZIKA KAFEDRASI**

H. O. Abdullayev, S. U. Abdulboriyev

NANOTEXNOLOGIYAGA KIRISH

(USLUBIY QO'LLANMA)

© Namangan davlat universiteti 2012 yil

UDK 658.51(075.3)

BBK 30.6 ya 721

B 24

ISBN 978-5-88866-329-5

Taqrizchilar: fiz-mat. f. n. dotsent S. F. G'aybullayev.

fiz-mat. f. n. katta o'qituvchi A. A. Po'latov.

Ilmiy muharrir fiz-mat. f. n. dotsent H.O. Qo'chqorov.

Qo'llanmada fanning yangi "nanotexnologiya" sohasining eng yangi yutuqlari to'plangan. Qisqa va tushunarli shaklda tadqiqotlarning asosiy yo'nalishlari va amaliy qo'llanishlari bayon etilgan. Zamonaviy nanomateriallar bo'yicha ma'lumotlar, ularning guruhlari, hamda olish texnologiyalari berilgan. Ushbu qo'llanmada hozirgi paytga kelib nanotexnologiyada va umuman boshqa nanofanlarda shakllanib aniq tizimga keltirilgan tushunchalarga mohiyatni saqlagan holda sodda shaklda ta'riflar berilgan. Nanotexnologiyalarning rivojlanishidagi muhim kashfiyotlar va hodisalar sanab o'tilgan.

Akademik litseylar, kasb-hunar kollejlari va oily o'quv yurtlarining talabalari hamda fan yutuqlariga qiziquvchilar uchun mo'ljallangan.

Qo'llanma Namangan davlat universitetining fizika-matematika fakulteti fizika kafedrasining 2012 yil 20 mart 12- yig'ilishida muhokama qilindi va chop etishga tavsiya qilingan.

Qo'llanma Namangan davlat universitetining fizika -matematika fakulteti ilmiy kengashining 2012 yil 9 apreldagi 9- majlisida muhokama qilindi, maqullandi va chop etishga tavsiya qilindi.

Qo'llanma Namangan davlat universiteti o'quv-uslubiy kengashining 2012 yil 16 aprel 8 - yig'ilishida muhokama qilib, chop etishga tavsiya qilingan.

So'z boshi

XXI asr fan va texnikada yangi yo'nalishlarning, ularning biri nanotexnologiyaning shakllanib bo'lganligi va rivojlanishi bilan boshlandiki, bu yarimo'tkazgichlar fizikasi oxirgi 15- 20 yillarda texnologiyaning, eng avvalo MBE (Molekular Beam Epitaksi - molekulyar- nurli epitaksiya) ning yutuqlari tufayli asosan yarimo'tkazgichli pasto'lchamli strukturalar (nanostrukturalar) fizikasi bo'lib qolganligidandir.

Nanostrukturalarning muhim afzalligi nanoob'ektlarning geometrik o'lchamlari va shakllarini o'zgartira borib sistemaning xossalarini boshqarish mumkinligida. Nanostrukturalar fizikasi fanning tez rivojlanayotgan sohasi, bu erda fundamental fan bilan texnologiyaning o'zaro aloqadorligi yanada yaqqol namoyon bo'ladi.

Nanostrukturalarni olish texnologiyalari, yani nanotexnologiyalar bo'yicha, ulardagi fizikaviy hodisalar va shu hodisalar asosida ishlovchi nanoelektronika asboblari, qurilmalariga oid ko'p sondagi kitoblar, tahliliy maqolalar paydo bo'di. Ammo, asosan ularning hammasi xorijda chop etigan va o'zbek o'quvchisiga qulay emas.

Ushbu uslubiy qollanmada maxsus fanlarning tushunchalarini sodda qilib ta'riflashga, faning yangi sohalarida ro'y berayotgan o'zgarishlar nanotexnologiyalarga bog'liqligini ko'rsatishda yutuqlarga erishilgan.

O'ylaymanki, ushbu uslubiy qo'llanma tabiiy va texnik fanlar yo'nalishlarida o'qiyotgan oily o'quv yurtlarining talabalari, kasb-hunar kollejlari, akademik litseylar o'quvchilari hamda o'qituvchilar uchun foydali bo'ladi.

NamDU, fizika kafedrasininf dotsenti, fiz.-mat. f. nomzodi R.G'.Ikromov.

MUNDARIJA

bet

Kirish	6
1-bob. Nanotexnologiyalarda kvant effektlar	11
2-bob. Nanomateriallar va ularni olish texnologiyalari.....	19
2.1. Nanomateriallarni guruhlash.....	19
2.1.1. Nanozarrachalar	20
2.1.2. Fullerenlar. Nanotrubkalar va nanotolalar.....	22
2.1.3. Nanog'ovakli moddalar.....	22
2.1.4. Nanodisperslar.....	24
2.1.5. Nanostrukturalangan sirtlar va pardalar.....	25
2.1.6. Nanokristalli materiallar.....	26
2.2. Nanomateriallar olish texnologiyalari ("pastdan yuqoriga va yuqoridan pastga" texnologiyalar).....	27
2.2.1. Litografiya	28
2.2.2. Epitaksiya.....	29
2.3. Nanotexnologiyalarda o'zitashkillanish va o'ziyig'ilish.....	31
2.3.1. O'ztashkillanuvchi sistemalarning asosiy xossalari....	33
2.3.2. O'ztashkillanishdan nanotexnologiyalarda foydalanish	34
3-bob. Nanotexnologiyaning rivojlanish tarixi.....	37
Foydalanilgan adabiyotlar.....	40

KIRISH

Insoniyat madaniyatining rivojlanishi yangi materiallarni o'zlashtirish bilan bog'liq. Yog'och va tosh – odam o'zlashtirgan birinchi materiallar hisoblanadi. Bu materiallardan qilingan mehnat va ov qilish qurollari yovvoyi ibtidoiy jamoadagi odamga tirik qolishning samarali imkonini berdi. So'ngra odamlar mis va bronzani eritishni o'rgandilar. Mehnat va ov qilish qurollari mukammallashib bordi va odam atrof-muhitning "xo'jayini" bo'lib oldi. Temirni o'zlashtirish esa odamzotga sanoatni yaratish va rivojlantirishiga, o'zining taraqqiyotida ulkan sakrash qilishiga olib keldi.

Elektronikaning yutuqlari zamona odamlarining turmush tarzini butunlay o'zgartirib yubordi. Biz hozirgi hayotimizni uyali telefonlar, kompyuterlar, televizorlar va h.larsiz tasavvur eta olmaymiz. Elektronikaning rivojlanishi odamlarning yangi material – **kremni**ni o'zlashtirishlari natijasida yuz berdi.

Materiallarni olishning yangi usullarini o'ylab topib va rivojlantirib odamlar **texnologiyalar** yaratdilar. "Texnologiya" so'zi yunoncha "techne"-san'at, mohirlik, ustalik va "logos"- fan so'zlariidan kelib chiqqan.

Quyidagi ta'rifni berish mumkin: **texnologiya** – mahsulotni ishlab chiqarish jarayonida xom ashyo yoki materialni qayta ishlash, tayyorlash, holatini, xossalarini, shaklini o'zgartirishning vosita va usullarining to'plami. Bolta yoki kompyuterni tayyorlash uchun texnologiyaga –dastlabki materialni qayta ishlash va ulardan tayyor mahsulotni olish vositalari va usullariga ega bo'lish kerak. Texnologiya moddiy mahsulot olish uchun materiyaning dastlabki holatini yoki sifatini o'zgartiradi. **Texnologiyaning vazifasi insonning olam va tabiat haqidagi bilimlarini odamlar uchun zarur va foydali bo'lgan moddiy mahsulotga aylantirishdan iborat.**

Materiallarga ishlov berish va mahsulot tayyorlash jarayonida inson geometrik o'lchamlari turlicha bo'lgan materiallarni o'zlashtiradi.

Makroskopik ("makro" - katta) ob'ektlar deb, odam qurollanmagan ko'zi bilan ko'rishi mumkin bo'lgan ob'ektlarni ataladi. Minglab yillar davomida insoniyat turmushda va texnikada katta miqdordagi atomlardan tashkil topgan makroskopik jismlardan, u yo bolta, yo avialayner bo'lsin, foydalanib keldi. Daraxt, stol, odam, fil va h.larning hammasi makroskopik olam ob'ektlaridir. Piyola, arra, avtomobil va h.larni tayyorlash texnologiyalari makroskopik olam texnologiyalaridir.

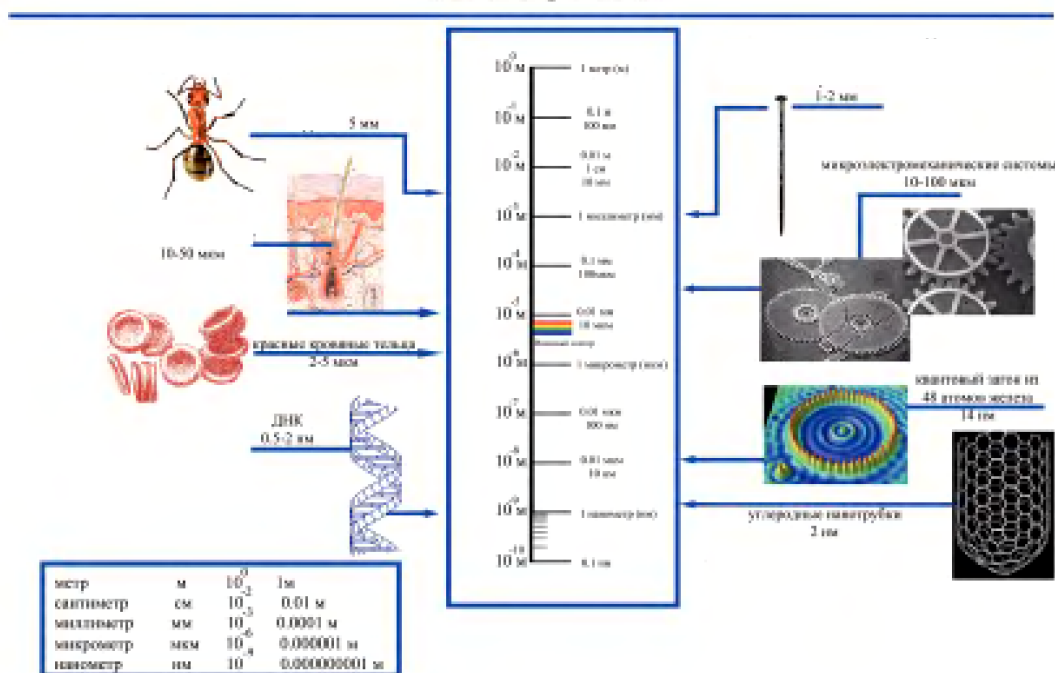
Optik mikroskop kashf etilgandan so'ng odam o'zi uchun mikroolam ob'ektlarini kashf etdi.

Mikroskopik ("mikro"- kichik) ob'ektlar deb, o'lchamlari 1 – 100 mkm oralig'ida bo'lgan ob'ektlarga aytiladi. *Mikro* qo'shimchasi biror narsaning milliondan bir qismini bildirishini eslatib o'tamiz. 1mkm.li uzunlik birligi 10^{-6} m yoki 0,0001sm.ga teng. Biologik hujayra, qon eritrotsiti va h.lar mikroolam ob'ektlari hisoblanadilar. Mikroolam texnologiyalariga misol qilib elektronli mikrosxemalar olishni, genni o'zgartirishni keltirish mumkin.

Nanometrl deb, o'lchamlari 1dan – 100nm.gacha bo'lgan ob'ektlarni aytiladi. *Nano* (yunoncha *nanos*-karlik, gnom, mitti) qo'shimchasi biror birlikning milliarddan bir (10^{-9}) ulushini anglatadi. Masalan, nanometr

metrning milliarddan bir qismi ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$). Tushuntirish sifatida quyida keltirilgan rasmda tabiiy va sun'iy olam ob'ektlarining o'lchamlari logarifmik masshtabda ko'rsatilgan.

NANOOLAM



Nanometr tushunchasiga illyustratsiya: ob'ektlar va ularning o'lchamlarini logarifmik masshtabda solishtirilishi.

Atomlar va kichik molekulalar 0,1dan 1nanometr tartibidagi o'lchamlarga egalar (solishtirish uchun: odam sochi molekuladan taxminan 60 000 marta yo'g'onroq). O'lchamlarning bunday bosqichida fizika, ximiya, biologiya kabi fanlarning orasidagi chegara yo'qoladi.

Nanotexnologiyalar termini orqali nanometr o'lchamli materiallar, qurilmalar, sistemalarni yaratish va foydalanishni tushuniladi. Nanotexnologiyalar atom va molekulyar masshtabdagi ob'ektlar bilan ishlashga imkon beradilar.

Odam har doim o'zi uchun qulayl texnik qurilmalar yaratishga intililadi. Ko'pincha qulaylik u yoki bu qurilmaning o'lchamlarini kichraytirish bilan bog'liq. Haqiqatan ham, yassi televizor kub shaklidagi televizordan qulayroqligi hammaga ma'qul. Agar dastlabki kompyuterlar bir necha xonalarni egallagan bo'lsalar, zamonaviy kompyuterlar sumkaga yoki kiyim cho'ntagiga ham joylanaveradi. Zamonaviy ilg'or texnologiyalarning rivojlanishi miniatyuralashuv - texnologiya mahsuloti o'lchamining kichrayib borishi bilan bermoqda.

Elektronika sohasida ishlayotgan olimlar va mutaxassislariga G. E. Mur aniqlagan qonuniyat ma'lum. Bu qonuniyatga ko'ra, mikroprotsessorlarning hisoblash imkoniyatlari chiplarning zichligini kattalashtirish va ularning o'lchamlarini kichraytirish hisobiga har ikki yilda ikki marotabaga ortadi. Bu qonun universal bo'lib chiqdi va 40 yildan beri boshqa, molekulyar biologiya, mikromexanika, mikrosistemali texnika kabi "kritik" texnologiyalar sohasida bajarilmoqda. Bu qonunning davom etishi yaqin kelajakda elektronikani mikrostrukturadan nanostrukturaga so'zsiz olib keladi:

tranzistorlar va elektronikaning diskret boshqa elementlari tez orada sanoqli atomlardan tashkil topgan bo'ladilar.

Bugun nanotexnologiyalar mikroelektronli, optik, biologik va boshqa zamonaviy texnologiyalarning davomi hisoblanadilar.

Insoniyat taraqqiyotining tarixida yangi materiallar va texnologiyalarni o'zlashtirish bilan bog'liq bo'lgan bir necha tarixiy bosqichlarni ajratish mumkin.

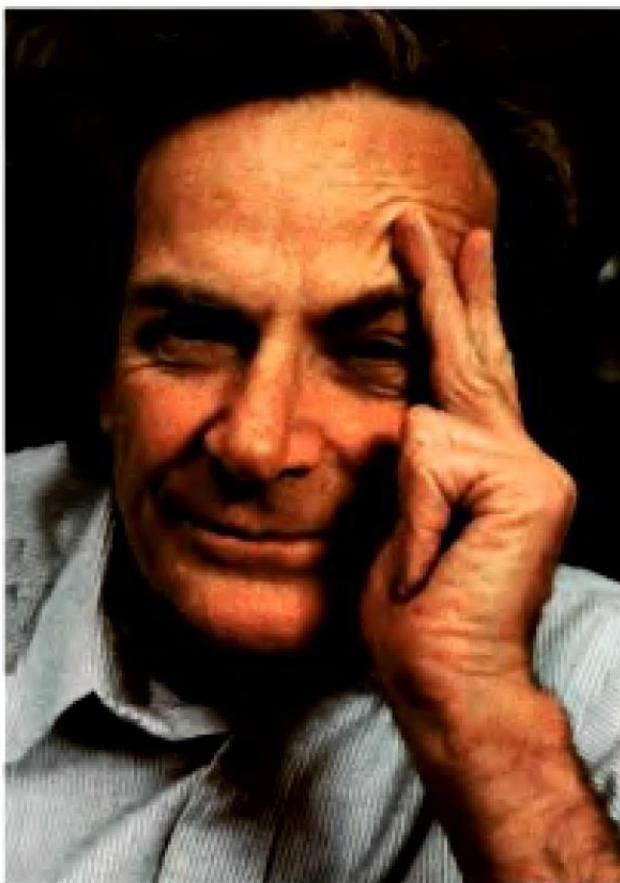
Birinchi ilmiy - texnikaviy inqilob - **industrial** , yoki **energetik** – D. Uatt 1769 yilda mukammallashtirilgan bug' dvigateliga asosiy patent olgan vaqtdan boshlanadi, bu ishlab chiqarishning hamma turlarida, qishloq xo'jaligida va transportda mehnat samaradorligini keskin oshirdi. Ilmiy-texnikaviy inqilob temirdan mahsulotlar tayyorlash texnologiyalari evaziga amalga oshdi. Bu texnologiyalarning mahsulotlari bizga odatiy makroolam bilan bog'liq.

XX asrning 60-yillarida , mikroelektronikaning rivojlana boshlashi bilan, ikkinchi (**axborot**) ilmiy- texnikaviy inqilobi boshlandi. Avtomobillar va boshqa harakatlanish vositalari, stanoklar, asboblarni makroskopik jismlarligicha qoldilar (chunki, masshtab birligi bo'lib odam tanasining o'lchamlari ishlatiladi) , ammo, boshqaruvchi elementlar, axborotni uzatish va qabul qilish qurilmalari nihoyatda murakkablashib bordi, ularni tashkil etuvchi birlamchilari (tranzistorlar, kondensatorlar, qarshiliklar) esa tobora miniyuralashdi. Ikkinchi ilmiy-texnikaviy inqilob mikromuhitda amalga oshirilgan kremniyli texnologiyalar bilan bog'liq.

Olimlar, yaqin on yilliklar nanotexnologiyalar – uchinchi ilmiy-texnikaviy inqilob davri bo'ladi deb, taxmin qilmoqdalar. Amerikalik olim E. Teller aytganidek: “Kimki nanotexnologiyani boshqalardan oldin egallasa, XXI asr texnosferasida etakchi o'rinni egallaydi”.

Nanotexnologiyalar nima?

Birinchi marta, keyinchalik nanotexnologiyalar deb atalgan metodlar haqidagi fikrni, g'oyani R. Feynmannning 1959 yilda Kaliforniya texnologiya institutida Amerika fiziklari jamiyatining



Richard Fillips Feynman

har yillik uchrashuvida aytgan “Mening ko’rishimcha, fizikaning printsiplari yakka atomlar bilan ish ko’rishni ta’qiqlamaydi” so’zlari bilan bog’laydilar. U **nanotexnologiya tushunchasini atomlar va molekulalarni manupulyatsiyalash yo’li orqali aytilgan atomar tuzilishli mahsulotni ishlab chiqarish metodlarining majmuasi sifatida kiritdi.** “Nanotexnologiya” termini inglizcha “nanotechnology” so’z birikmasining o’zbekcha ekvivalentidir. Nanotexnologiyalar o’lchamlari fazofiy o’lchamlarning hech bo’lmaganda bittasida 100 nm dan kichik materiallar va ob’ektlar bilan ish ko’radi.

Biroq o’lcham omili yoki nanometrlar masshtabiga “yopishib” olish – nanotexnologiyalarda eng asosiysi emas. Eng muhim va hal qiluvchi bo’lib, ob’ektlar o’chamlarining nanoo’lchamlargacha kichiklashuvi bilan bo’g’liq bo’lgan yangi kvant xossalarning mavjudligidir.

1-bob. NANOTEXNOLOGIYALARDA KVANTLI EFFEKTAR

Nanomateriallarning e'tiborli, noyob xossalari 100 nm.dan kichik o'lchamlardan boshlab kvantli effektlar ahamiyatli bo'lib qoladigan, kvantli mexanika qonunlariga bo'ysinadigan faktorlar bilan aniqlanadi. **Kvantli mexanika**ning tug'ilgan kuni qilib 14 dekabr 1900 yil hisoblanadi. Shu kuni Maks Plank Nemis fiziklari jamiyatining majlisida yorug'lik energiyasi kvantlanib (kvant lotincha *quant* – qancha so'zidan olingan) nurlanadi degan taxminini aytdi. Bu taxmin – gipotezaga ko'ra bitta kvantning energiyasi chastotaga proportsional bo'lishi kerak:

$$E=h\nu=\hbar\omega \quad (1.1)$$

bu erda $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s – Plank doimiysi; $\hbar = h/2\pi$ va $\omega = 2\pi\nu$. Yorug'lik oqimining energiyasi mos holda :

$$E_n = nh\nu \quad (1.2)$$

ga teng bo'ladi, bu erda $n = 1, 2, 3, \dots$ – butun sonlar yoki kvantlar miqdori.

“Kvant” so'zi kvant mexanikaga nom berdi. Energiyaning kvantlanishi deyilganda, biror- bir ruxsat etilgan qiymatlarning to'plamidan energiya faqat diskret qiymatlarnigina qabul qila olishlik fakti tushuniladi. Bu fakt atom va molekulalarni, hamda kvant nuqtalarni qaralayotganda dolzarb, ahamiyatli bo'lib qoladi. Kvant nuqtalarning energiyasi, atomlarniki kabi, diskret qiymatlarni qabul qiladi, shuning uchun kvant nuqtalarni sun'iy atomlar deb ham aytiladi.

1927 yili fizikada kvantli inqilob yuz berdi – elektronning to'lqin xossalari tajribalarda namoyon bo'di. Ikki tadqiqotchi K. D. Devisson va Jorj Tomsonlar bir-biridan mustaqil holda elektronlarning nikel monokristalidagi difraktsiya hodisasini kuzatdilar. Zarrachalarning to'lqin tabiatlari haqidagi gipotezani 1924 yilda frantsuz olimi Lui de Broyl oldinga surgan, va u uch yildayoq tasdiqlandi. Uning faraziga ko'ra m massali va v tezlikdagi zarrachaning erkin harakatini monoxromatik to'lqin sifatida tasavvur etish mumkin. Bu monoxromatik to'lqinni **de Broyl to'lqini** deb ham aytiladi. Uning uzunligi

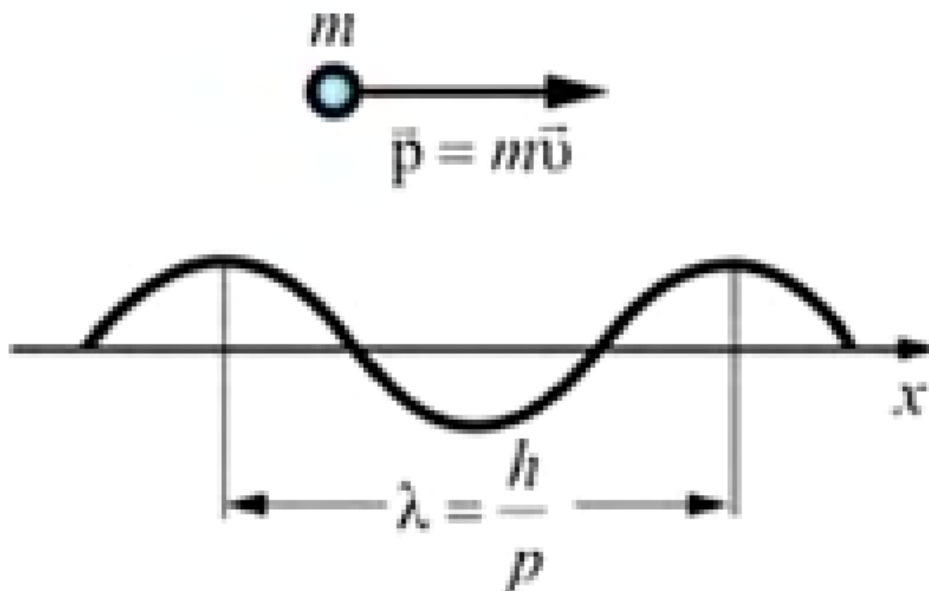
$$\lambda = \frac{h}{mv} , \quad (1.3)$$

tarqalish yo'nalishi esa zarracha harakati yonalishi bo'yicha bo'ladi (1.1-rasm).

Massasi 0,20 kg, tezligi 15 m/s bo'lgan to'pning to'lqinini uzunligi $2,2 \cdot 10^{-34}$ m. Bunday kichik kattalikni aniqlaydigan asbob dunyoda yo'q, shuning uchun, bizga to'pning to'lqin xossalari ko'rinmaydi. Aksincha, 100 V potentsiallar farqida tezlashtirilgan elektronning to'lqinini uzunligi $1,2 \cdot 10^{-10}$ m,

yoki 0,12 nm, bu esa, nikell kristalidagi atomlararo masofaga rosa mos keladi.

(1.3) formuladan ko'rinadiki, elektronning energiyasini o'zgartirib, uning to'liqini uzunligini o'zgartirish mumkin. Bu fakt zamonaviy elektronli mikroskoplarda muvoffaqiyat bilan foydalanilmoqda, bunda, elektronlarning energiyasini boshqarib, uning to'liqini uzunligini o'zgartiriladi, va shu orqali mikroskopning ajratish qobiliyatini ham boshqariladi.

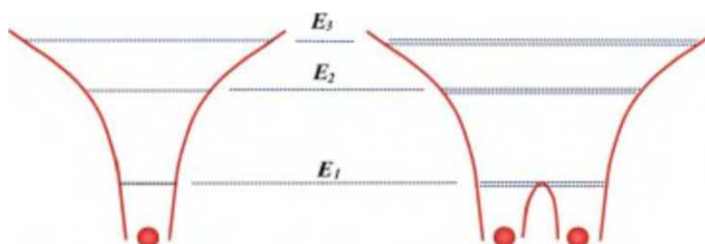


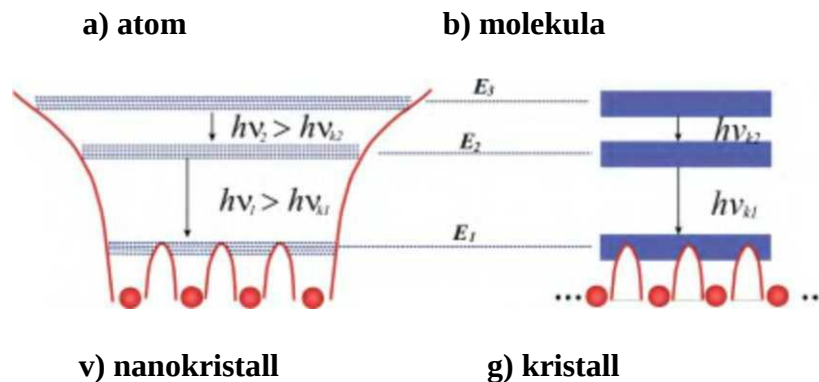
1.1-rasm. de-Broyl to'liqining sxematik tasviri.

Elektronning to'liqin xossalari kashf etilgandan so'ng kvantli mexanika, so'ngra yadro fizikasi jadal rivojlandi. Kvantli mexanika asosida atom energetikasi, qattiq jism fizikasi shakllaandi, rivojlandi. Qattiq jism fizikasi makro-, mikro- va nanobosqichdagi moddalarning tuzilish qonuniyatlarini o'rganadi. Nanotexnologiyalarda qo'llaniladigan asosiy effektlar zonali nazariya, yoki, energetik zonalar nazariyasi bilan bog'liq.

Nanotexnologiya, yadro fizikasidan farqli holda atomlar bilan emas, balki, molekulalar, klasterlar va nanokristallar bilan ish ko'radi. Molekula, qoidaga ko'ra, bir necha atomlardan tashkil topgan, klaster – bir necha o'n va yuz atomlardan, nanokristall – bir necha yuz va minglab atomlardan, monokristall 10^{18} dan ham ko'proq atomlardan tashkil topgan. Qizig'i shundaki, yakka atomdan molekulaga, klasterga yoki nanokristallga o'tilganda energetik sathlarning joylashuvida muhim o'zgarishlar ro'y beradi.

Yakka atomning energetik qiymatlari to'plamidan, yoki spektridan uchtasini qiymati 1.2a – rasmda keltirilgan.





1.2-rasm. Atomda (a), molekulada (b), nanokristallda (v), kristallda (g) sathlarning joylashuvi.

Pauli printsipiga ko'ra bitta energetik sathda ikkitadan ortiq elektronning bo'lishi ta'qiqlanadi. Buning natijasida bir atom boshqasiga yaqinlashganda sathlar ikkiga ajraladi (1.2 a, b- rasm). O'nta, yuzta va minglab atomlar qo'shilganda sathlar o'shancha miqdorga ajraladalar (1.2 v- rasm). Shunday qilib, nanokristall hosil bo'ladi, sathlar orasidagi masofa kichrayadi, ammao ular diskretligicha, bir- biridan farqlanadigan holda qoladi. Monokristall hosil bo'ladigan holda (1.2 g- rasm) atomlar miqdori 10^{18} ga teng va undan ham ko'proq bo'lib qoladi, sathlar orasidagi masofa esa, 10^{-18} eV, natijada sathlarni farqlab bo'lmay qoladi.

Energetik sathlarning uzluksiz guruhini **zona** deb atash qabul qilingan.

Zonalarni ruxsat etilgan va ta'qiqlanganga ajratiladi.

Ruxsat etilgan zona - elektronga joylashish ruxsat berilgan energetik sathlar joylashgan zona.

Ta'qiqlangan zona - energetik sathlar yo'q bo'lgan zona, va elektron u erda bo'lishi ta'oiqlangan.

Kristalldan nanokristallga o'tilganda sathlar orasidagi oraliq kattalashib borishi ko'rinadi (1.2 g, v- rasm). Bu fakt kvant-o'lchamli effekt nomini olgan- nanozarrachalarning o'lchamlari kichrayganida energetik oraliqlar orasidagi energiya, demakki, nurlanish kvantlari energiyasi ham kattalashadi. Xuddi shu sababli, nanozarrachalarning kolloid eritmalarini tuslanish va nurlanish ranglari ularning o'lchamlariga bog'liq. Kvanto'lchamli effektlar nanotexnologiyalarda katta rol o'ynaydi. Masalan, nanokristallar o'lchamlarini texnologik parametrlarini o'zgartirib, yani, variatsiyalab elektrolyuminestsentsiyaning turli ranglarini olish mumkin.

Valent elektronlar tashkil etgan energetik zonani **valent zona** deb ataladi.

Valent zonadan yuqoridagi zonani **o'tkazuvchanlik zonasi** deyiladi.

Kristallar valent va o'tkazuvchanlik zonalarining qanday to'ldirilganiga bog'liq holda dielektriklar yoki o'tkazgichlar (metallar) hisoblanadilar.

Dielektriklarda valent zona elektronlar bilan to'ldirilgan, o'tkazuvchanlik zonasi esa- bo'sh.

Metallarni dielektriklardan farqi shuki, ularda o'tkazuvchanlik zonasi qisman, valent zonasi esa butunlay to'ldirilgan.

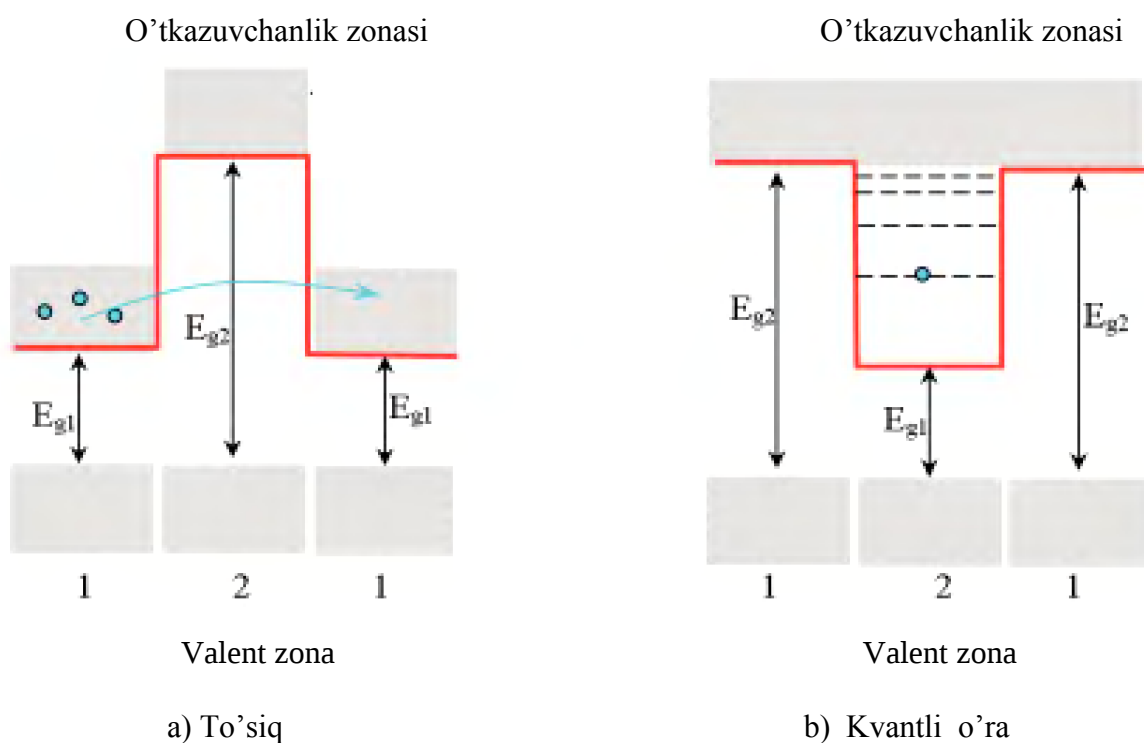
Yarimo'tkazgichlar - dielektriklarning xususiy holi: past temperaturalarda (150 - 200 K dan kichik) ularda valent zona to'ldirilgan, o'tkazuvchanlik zonasi esa bo'sh bo'ladi. Yrimo'tkazgichlarning dielektriklardan yana bir

boshqa farqi ularning ta'qiqlangan zonasining nisbatan kichikligidir. Issiqlik harakatining energiyasi hisobiga xona temperaturasidayoq elektronlarning bir qismi ta'qiqlangan zonadan o'tib, o'tkazuvchanlik zonasida bo'lishi mumkin. Bu holat suyuqlikning bug'lanishiga o'xshaydi, eng tezkor molekulalar suyuqlik sirtini tark etib havoga o'tadilar. O'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar elektr maydonida yo'nalishli harakat qilib tok hosil qila oladilar, valent zonadagi elektronlar esa – hosil qila olmaydilar. Shuning uchun ham, yarimo'tkazgichlar past temperaturalarda tok o'tkazmaydilar, yuqori temperaturalarda esa - o'tkazadilar. Shundan yarimo'tkazgich degan nom berilgan.

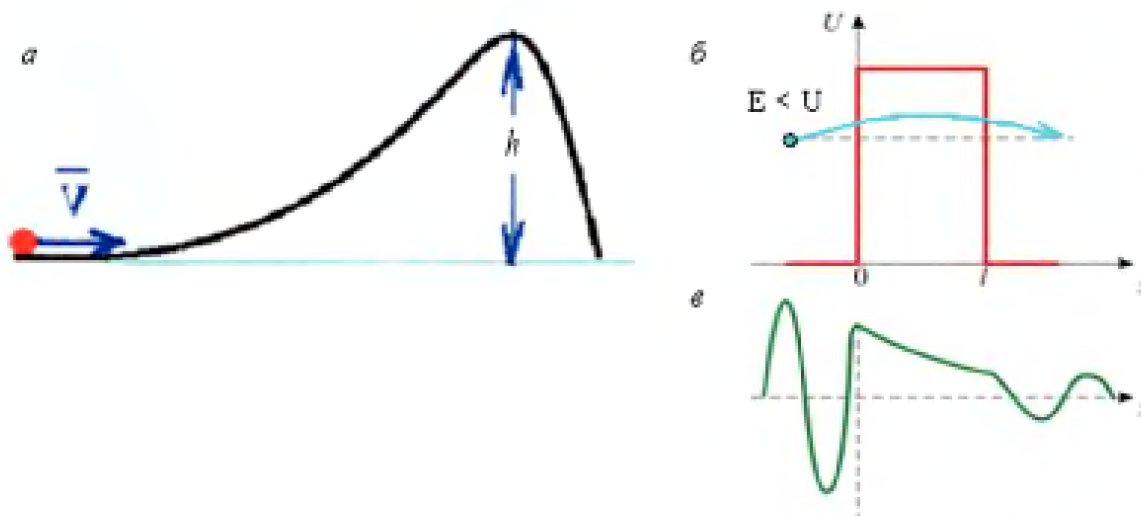
Ta'qiqlangan zonalar E_{g1} va E_{g2} bo'lgan ikki turdagi yarimo'tkazgichlarni kombinatsiyalab yo potensial to'siq, yo kvantli o'rani olish mumkin(1.3rasm).

Dastlab, sodda misol sifatida klassik holdagi potensial to'siqni - og'irlik kuchi maydonida harakatlanayotgan sharchani qarab chiqamiz.

1.4a-rasmdagi egri chiziq uning traektoriyasini tasvirlaydi, “tog'cha” **potentsial to'siq** deb aytiladi, negaki, h balandlikka ko'tarilguncha sharchaning potentsial energiyasi ortib borishi kerak, kinetic energiyasi esa kamayishi kerak. Potentsial balandligi deb, sharchaning “tog'cha tepasidagi” potentsial



1.3-rasm. Kvantli to'siqlar va kvantli o'ralar hosil qilish.



1.4-rasm. Zarrachaning potentsial to'siqdan o'tish sxemasi: a) klassik zarrachaning potentsial to'siqdan o'tishi, b) potentsial to'siq, v) electron to'lqini

energiyasi $U = mgh$ (m - zarraching massasi, g - erkin tushish tezlanishi) ga aytiladi.

Agar zarrachaning kinetic energiyasi E_{kin} potentsial to'siqning balandligi U dan katta bo'lsa, zarracha nargi tomonga oshib o'ta oladi. Agar E_{kin} U dan kichik bo'lsa, zarracha *tog'cha qiyaligining* faqat biror qismigacha ko'tarila oladi xolos va orqaga qaytadi, ya'ni to'siqdan qaytadi.

Potentsial to'siq potentsial energiyaning ixtiyoriy turiga (masalan, har xil ta'qiqlangan zonali yarimo'tkazgichlarning kombinatsiyasidan hosil qilingan potentsial to'siq (1.3 a- rasm)) mos kelishi mumkin. To'siqdan chap tomonda turgan elektronlarning energiyasi to'siqni engishga etarli emas. Yarimo'tkazgich 2 ning ichiga tusha olmaydi, chunki, ular energiyalarining qiymatlari to'siq ichida ta'qiqlangan, - ular ta'qiqlangan zonada bo'lib qoladilar. Shunday bo'lishiga qaramasdan, agar to'siq o'lchami bir necha atomlar qatlamini tashkil etsa, elektronlar oqimining bir qismi to'siq ortiga "tashib" o'tishi mumkin. Bu effektni **tunnellanish**- to'siq ichida go'yo tunnel boru, elektronlar u orqali o'tishi, deb nomlandi.

Tunnellanish effekti favqulodda kvantli tabiatga ega, va u elektronning to'lqin xossalari bilan bog'liq. To'siq geometric qancha "yupqa" va to'siq balandligi U bilan kvantli zarracha E_{kin} orasidagi farq qancha kichik bo'lsa, elektronning bu to'siqdan o'tish inkoniyati shuncha katta bo'ladi. De-Broyl gipotezasiga muvofiq, m massali v tezlikli zarrachaga $\lambda_0 = 2\pi\hbar/mv$ to'lqin uzunlik mos keladi. Masalan, 106 m/s tezlikka ega bo'lgan electron uchun (electron vakuumda 3 V potentsiallar farqi hisobiga bu tezlikni egallaydi) λ_0 bir necha atomlararo masofaga teng. Agar to'siqning kengligi d λ_0 dan kichik yoki unga teng bo'lsa, zarrachaning to'siq orqali o'tish holi mumkin bo'lib qoladi.

Bizni qiziqtirayotgan sodda holda tunnelli effekti quyidagini anglatadi. Agar kvantli zarrachaning to'la energiyasi U dan kichik bo'lsa ham, u potentsial to'siq U ni bir tomonidan boshqa tomoniga o'ta olish imkoniyatiga ega bo'ladi. **Tunellanish, zarrachalarning to'lqin xossalari,**

spin va energiya sathlarining kvantlanishi - bularning hammasi kvahtli tabiatning namoyon bo'lishidir.

Qizig'i shundaki, energiya sathlarining kvantlanishi faqat atomlardagina sodir bo'lmasdan, balki, kvantli o'ralarda (1.3 b- rasm) ham, ularning o'lchamlari bir necha atomlar qatlamiga teng bo'lgan holda, sodir bo'laveradi. Ko'rinib turibdiki, elektronning to'siq ichidagi harakati chap va o'ng tomondan chegaralangan, chunki uni energiyasini qiymatlari bu sohalarda taqiqlangan. Agar o'ra devorlari juda baland bo'lsa, o'ra ichida faqat turg'un to'lqinlar mavjud bo'lishi mumkin, ya'ni, o'rada faqat yarimto'lqinlarning butun sonlidagisi joylashishi mumkin:

$$l = \frac{\lambda}{2}n, \Rightarrow \lambda = \frac{2l}{n},$$

bu erda l - o'raning kengligi, n – butun son.

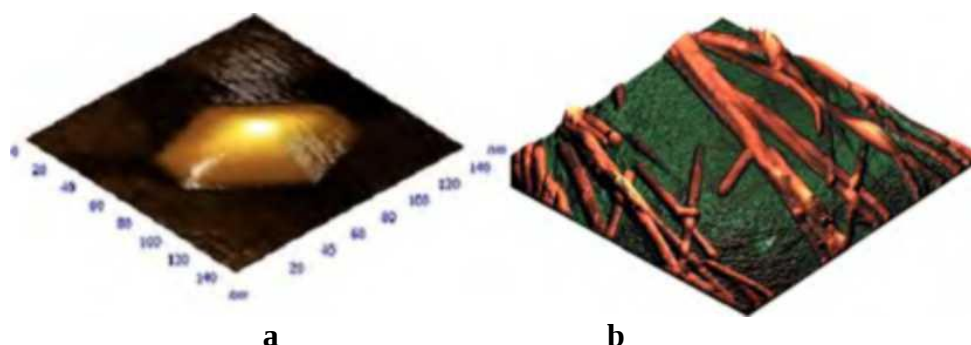
Impuls va de Broyl to'qini $p = h/\lambda$ munosabat orqali bog'langanliklarini esga olib, kvantli o'radagi ruxsat etilgan energiyalarni topish mumkin:

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2m\lambda^2} = \frac{h^2}{8ml^2}n^2,$$

bu erda p - elektron impulsi, m – uning massasi, h - Plank doimiysi.

Elektron minimal energetik holatni olishga intilgani uchun, u quyi sathda bo'ladi va o'radan mustaqil chiqa olmaydi. Bunday jarayonni elektronni tutish (tuzoqqa tushirish) yoki blokadalash deyiladi. Elektron ozod bo'lishi uchun unga o'radagi energetik o'tishlar farqiga teng energiyani, masalan, yorug'lik kvantlari ko'rinishida, berish kerak. Aksincha, bunday sistemadan tok o'tkazilganda elektronlar to'lqin uzunligi energiya sathlari orasidagi o'tishlar bilan qat'iy aniqlanadigan yorug'lik kvantlari nurlaydilar. Zamohaviy yarimo'tkazgichli nurlanuvchi diodlar va lazerlarning ishlash printsiplari ana shu effektga asoslangan.

Geometrik nuqtai nazardan kvantli o'ra “sandvich” tuzilishiga ega, yani turli yarimo'tkazgich materiallardan qilingan uchta tekislikdan tuzilgan. Elektronning harakatini cheklash bu



1.5-rasm. Kvantli iplar va kvantli nuqtalarga misollar: InP taglikda olingan InAsning kvantli nuqtasi (tasvir o'lchami (140 x140) nm); metilfosfor kislota, etanol va alyuminiylarning reaksiyasidan olingan kvantli iplar (tasvir o'lchami (8 x8)mkm).

holda tekisliklarga perpendikulyar yonalishlarda sodir bo'ladi. Qolgan ikki yo'nalishlarda harakatni cheklovlar yo'q, va elektronlar tekislik bo'lab erkin

harakatlanadilar. O'xshash manzara kvantli iplarda va kvantli nuqtalarda kuzatiladi (1.5- rasm).

Kvantli iplarda elektronlarning harakati ip yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalishlarda cheklangan. Ip bo'ylab elektronlar erkin harakatlanadilar. Kvantli nuqtada cheklov harakatning hamma yo'nalishlarida mavjid. Elektronlar bunday strukturada xuddi qamalib qolganday. Agar kvant nuqtani manfiy zaryadlansa, tashqi ta'sirlar bo'lmaganda bu zaryad keragicha uzoq saqlanadi. Bunday strukturalardan bo'lg'usi o'tatezkor kompyuterlarning yarimo'tkazgichli xotira elementlari uchun foydalanish ko'zda tutilmoqda. Nanomateriallar nihohatda turli- tuman, negaki, bitta strukturada ma'lum xossalari materiallardan bir nechasini muvofiqlashtirish yangi xossalarni keltirib chiqarishi mumkin. Shuning uchun nanomateriallarning xossalari ko'p hollarda ularning strukturalari va buning natijasida kelib chiqadigan **kvantli cheklovlar** bilan aniqlanadi. Keyingi bob nanomateriallarni olish, ularning xossalari va qo'llanilish sohalariga bag'ishlangan.

Nazorat savollari

1. Yorug'likning va elektronning to'lqin xossalari tajribalardagi kuzatishlarda qanday namoyon bo'ladilar?
2. De Broyl gipotezasi nimadan iborat?
3. Materialda energetik zonalar qanday shakllanadi?
4. Ruxsat etilgan va ta'qiqlangan zonalarining farqi nimadan iborat?
5. Metallar, dielektriklar va yarimo'tkazgichlarda energetik zonalarining to'ldirilishidagi fundamental farqlar nimadan iborat?
6. Ko'p qatlamli yarimo'tkazgichli strukturalarda kvantli o'ralar va potentsial to'siqlar qanday qilib shakllanadi?
7. Tunnellash hodisasining mohiyati nimadan iborat?
8. Kvantli o'rada energiya sathlari qaysi sabablarga ko'ra diskretlashadi?
9. Kvant o'lchamli effekt nimadan iborat?

2- bob. NANOMATERIALLAR VA ULARNI OLISH TEXNOLOGIYALARI

2.1 Nanomateriallarni guruhlash

Struktura deyilganda materialning tuzilishidagi, shaklidagi, o'lchamidagi xususiyatlarni tushuniladi. Tabiatda shar, igna, disk, daraxt, ip va h. strukturali materiallar uchraydi. Nanostrukturali materiallar (yoki soddagina nanomateriallar) deb nanometr o'lchamli strukturaga ega bo'lgan materiallarga aytiladi.

Modda makroo'lchamdan nanoo'lchamga o'tganida uning xossalari keskin o'zgaradi. O'zgarishlar ikki asosiy sababga bog'liq: sirt ulushining ortishi va kvantli effektlar hisobiga elektronli strukturaning o'zgarishi.

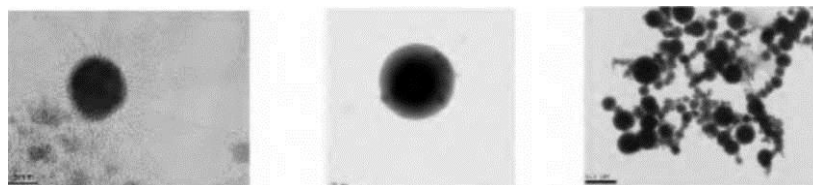
Sirt yaqinida joylashgan atomlarning xossalari material hajmida joylashgan atomlarning xossalaridan farq qiladi, shu sababli materialning sirtini moddaning alohida holati deb qaralishi mumkin. Sirtida joylashgan atomlarning ulushi qancha ko'p bo'lsa, sirt bilan bog'liq effektlar shuncha kuchli bo'ladi. Nanoobjektning elektronli strukturasini alohida xususiyatlari o'lchamlarning kichrayishiga bog'liq kvantli xossalarning kuchayishi bilan tushuntiriladi. Zarra –to'lqin dualizmi har-bir zarrachaga ma'lum to'lqinning uzunligini kiritishga imkon beradi. Xususan, bu kristalldagi elektronni xarakterlovchi to'lqinga, elementar atom magnetiklarning harakati bilan bog'liq to'lqinlarga va h. tegishli. Nanostrukturalarning g'ayrioddiy xossalari texnikada oddiy, odatiy qo'llanilishini qiyinlashtiradi, va bir vaqtning o'zida butunlay kutilmagan texnikaviy istiqbolni ochib beradi.

Ma'lumki, ba'zi moddalarning nanozarrachalari yomon bo'lmagan katalitik va adsorbtsion xossalarga egalar. Ba'zi nanomateriallar noyob optik xossalarga egalar, masalan, organik moddalarning o'tayupqa pardalari quyosh batareyalarini tayyorlashda foydalanilmoqda.

Hozirgi vaqtda texnologlar etarlicha katta sondagi turli-tuman nanomateriallar olishni o'rgandilar. Zamonaviy fan nanomateriallarning quyidagi turlarini guruhlaydi: nanozarrachalar, fullerenlar, nanotrubka (nanoquvurlar) va nanotolalar, nanog'ovakli strukturalar, nanodispersiyalar, nanostrukturalangan sirtlar va pardalar, nanokristalli materiallar. Ularni batafsil qarab chiqamiz.

2.1.1. Nanozarrachalar

Nanozarrachalar deb, o'lchamlari 100 nm dan kichik bo'lgan zarrachalarni aytiladi. Nanozarrachalar 10^6 yoki undan ozroq miqdordagi atomlardan tashkil topgan, va ularning xossalari xuddi shu atomlardan tashkil topgan hajmiy moddaning xossalaridan farq qiladi (2.1-rasmga qarang). O'lchamlari 10 nm dan kichik nanozarrachalarni **nanoklasterlar** deyiladi. Klaster so'zi inglizcha "cluster" – to'da, uyum so'zidan kelib chiqqan. Nanoklasterda odatda 1000 tagacha atom bo'ladi.



Uglerodli nano- Temirning Temir klaster-
trubkalari o'sa- yakka larinig uyumi
yotgan temir klasteri klasteri

2.1-rasm. Metall klasterlari.

Makroskopik fizikada o'rinli bo'lgan ko'pgina qonunlar (makroskopik fizika o'lchamlari 100 nm dan ancha katta bo'lgan ob'ektlar bilan "ish ko'radi") nanozarrachalar uchun ishlamaydi. Masalan, o'tkazgich qarshiliklarini parallel va ketma-ket ulashdagi ma'lum formulalar ishlamaydilar. Tog' jinslarining nanog'ovaklaridagi suv $-20 \dots -30^0$ C gacha muzlamaydi, oltin nanozarrachalarining erish temperaturasi massiv namunaniqiga nisbatan sezilarli kichik.

Keyingi yillarda ko'plab maqolalarda u yoki bu moddaning zarrachalarini o'lchamlari uning elektrik, magnit, optik xossalariga ta'siriga oid effektiv misollar keltirilmoqda. Masalan, rubin shihsasining rangi oltinni **kolloid** (mikroskopik) zarrachalarining o'lchamlari va miqdoriga bog'liq. Oltinning kolloid eritmalarining rangning hamma turlarini – zarg'aldoqdan (zarrachaning o'lchamlari 10 nm dan kichik) va rubindan (10-20nm) to ko'kkacha (40nm atrofida) bre oladi. Podsholik institutining London muzeyida XIX asrda, zarrachalar o'lchamlari bilan rang o'zgarishlarini bo'g'liqligini birinchi bo'lib topgan Maykl Faradey tomonidan olingan oltinning kolloid eritmalarini saqlanmoqda.

Sirdagi atomlarning ulushi zarrachalar o'lchamlarining kichraya borishi bilan tobora kattalashib boradi. Nanozarrachalar uchun hamma atomlar amalda "sirtiylar", shuning uchun ularning ximiyaviy faolligi juda yuqori. Shu sababga ko'ra metallarning nanozarrachalari birlashishga intiladilar. Shu bilan birga tirik organizmlarda (o'simliklarda, bakteriyalarda, mikroskopik zamburug'larda) metallar ko'p hollarda nisbatan oz sondagi atomlarning birlashuvidan tashkil topgan **klasterlar** ko'rinishida mavjud bo'lar ekanlar.

Sferik geometriyali, i atomlardan tashkil topgan klasterni qarab chiqamiz. Bunday klasterning hajmini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 = v i, \quad (2.1)$$

bu erda R - nanoklasterning radiusi, v – bitta zarrachaga to'g'ri keluvchi hajm.

Bitta zarrachaga to'g'ri keluvchi hajmni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$v = \frac{4}{3}\pi a^3, \quad (2.2)$$

bu erda a – bitta zarrachaning o'rtacha radiusi.

Bu holda ushbuni yozish mumkin:

$$R = a i^{1/3}. \quad (2.3)$$

Juda kopchilik nanoklasterlar uchun a o'lcham taxminan 0,1 nm ga teng. (2.3) dan foydalanib 1000 ta zarrachadan tashkil topgan klaster 1 nm tartibidagi o'lchamga egaligini baholash mumkin.

Nanoklasterlarning muhim xarakteristikasi bo'lib ular sirtining yuzasi hisoblanadi:

$$S = 4\pi R^2 = 4\pi a^2 i^{2/3}. \quad (2.4)$$

Sirdagi atomlarning soni i_s sirt yuzasi bilan quyidagi munosabat orqali bog'langan:

$$S = s i_s = 4\pi a^2 i_s, \quad (2.5)$$

bu erda s – klaster sirtida bitta atom egallagan yuza.

Sirdagi atomlar sonini hajmdagi atomlar soniga nisbatini qaraymiz:

$$\frac{i_s}{i} = \frac{Sv}{sV} = \frac{v}{Rs} = \frac{a}{R} = \frac{1}{i^{1/3}} \quad (2.6)$$

(2.6) formuladan ko'rinadiki, klaster sirtidagi atomlarning ulushi klaster o'lchamining ortishibilan bilan tez kamayadi. Sirtning sezilarli ta'siri klasterlarning o'lchami 100 nm dan kichik bo'lganida namoyon bo'ladi.

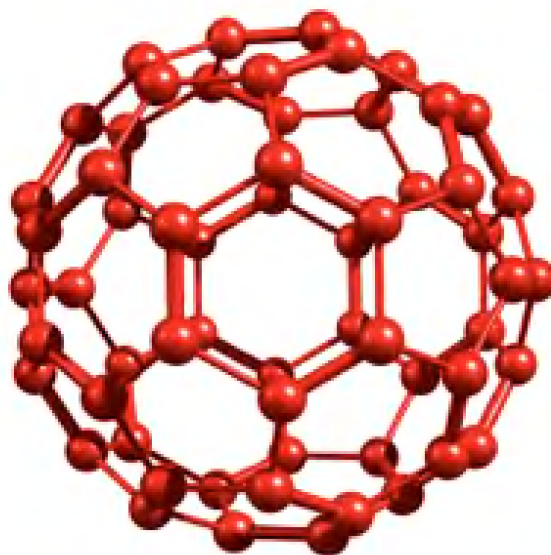
Misol tariqasida ajoyib antibakteritsidli xossaga ega bo'lgan kumushning nanozarrachalarini keltirish mumkin. Kumushning ionlari zararli bakteriyalar va mikroorganizmlarni neytrallash xossasiga egaligi qadimdayoq ma'lum edi. Kumushning nanozarrachalari juda ko'p boshqa moddalarga nisbatan bakteriya va viruslarga qarshi kurashishi ming marotaba samaraliroq ekanligi aniqlangan.

Kumushning nanozarrachalari kosmetikada, tish pastalarida, dezinfektsiyalovchi vositalarda keng qo'llanilmoqda. Ularning unikal xossalari yuqori kimyoviy faolligi bilan tushuntiriladi.

2.1.2 Fullerenlar. Nanoquvurlar va nanotolalar.

Nanoximiyada uglerodning ahamiyati juda katta, fullerenlar va nanoquvurlarning kashf etilishi ham ko'p jihatdan ana shunga bog'liq. Fullerenlar – shakliga ko'ra futbol to'pini eslatadigan sharsimon karkas strukturali 40 tadan ko'proq uglerod atomlaridan iborat klasterlardir (2.2-rasm). Fullerenlar o'z nomlarini arxitekturada shunga o'xshash strukturalardan foydalanishni o'ylab topgan arxitektor Fuller nomidan olishgan.

Eng turg'un fulleren C_{60} bo'lib, uni 1985 yilda Kroto xodimlari bilan topgan. Fullerenlarni tadqiq eta borib turli



2.2-rasm. Fulleren modeli

miqdordagi - 36 dan 540 gacha uglerod atomlaridan iborat klasterlar olindi.

1991 yili yapon olimi Sumio Iijima uglerodli uzun strukturalarni aniqladi, keyinchalik ularni **nanoquvurlar** deb ataldi.

Fullerenlar va nanoquvurlar nanotexnologiyalarning eng ko'p tadqiq etiladigan, bir qator g'aroyib xossalarga egabo'lgan va fan va texnikada keng qo'llanilayotgan ob'ektlari hisoblanadilar.

Fullerenlar va nanoquvurlar nanotexnologiyalarning eng ko'p tadqiq etiladigan, bir qator g'aroyib xossalarga egabo'lgan va fan va texnikada keng qo'llanilayotgan ob'ektlari hisoblanadilar.

2.1.3. Nanog'ovak moddalar

Oshxonadagi qozon yuvg'ichni (mochalka, gubka) qanday ko'rinishini eslab ko'ring. Bu g'ovak (yunoncha *porus* – o'tish, yo'l) materiallarga misol (2.3-rasm). Suv o'tlari, po'panak ham g'ovak materiallar hisoblanadilar. G'ovak materiallar o'larining hajmlarida ko'p miqdorda bo'shliqlari borligi bilan tafsiflanadilar.

G'ovak materiallarning miqdoriy xarakteriskasi ρ g'ovaklilik hisoblanadi:

$$\rho = \frac{V_{g'ov}}{V} 100\%,$$

bu erda $V_{g'ov}$ - g'ovaklarning hajmi, V – materialning hajmi.

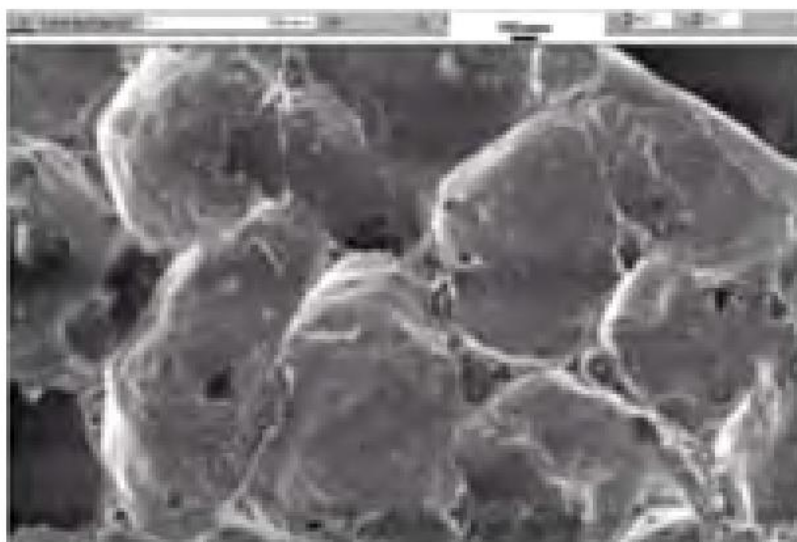
Ba'zi bir g'ovakli materiallar uchun g'ovaklilik 80-90%gacha erishishi mumkin. G'ovak materiallar o'zlarining hajmlaridagi bo'shliqni suv, boshqa suyuqlik yoki gaz bilan to'ldirishlari mumkin. Shu sababli g'ovakli materiallar fil'trlar, suzg'ichlar, sorbentlar sifatida qo'llaniladilar. *Sorbentlar* - turli ximiyaviy elementlarni yutish uchun foydalaniladigan moddalardir. Sorbentga aktivlashtirilgan ko'mirni misol qilish mumkin.

Nanog'ovak moddalar g'ovaklarining o'lchami nanometrli bo'lgan g'ovakli moddalardir. Nanog'ovaklarning o'lchamlari 1-100 nm oraliqlarda bo'ladilar. O'lchamlari mikrometrli diapozonda yotuvchi **mikro-, mezo- va makrog'ovakli** materiallar ham mavjud (2.1-jadval).

2.1-jadval

G'ovakli materiallarning nomlari bilan ulardagi g'ovaklarni o'rtacha o'lchamlari orasidagi munosabatlar

G'ovaklarning turi	G'ovaklarning diametrlari (d), mkm
Mikrog'ovaklar	$d < 2$
Mezog'ovaklar	$2 < d < 50$
Makrog'ovaklar	$d > 50$



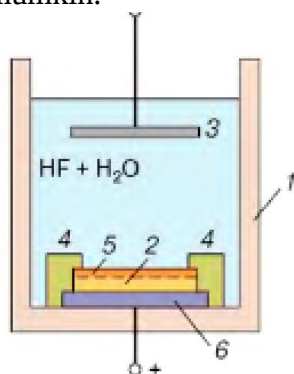
2.3-rasm. Elektron mikroskopda olingan penoshisha strukturasining tasviri.

Nanomateriallarning o'lchamlari kichrayganida ularda turlicha ximiyaviy elementlarni fil'trlash va sorbtsiyalash yangi xossalari paydo bo'ladilar.

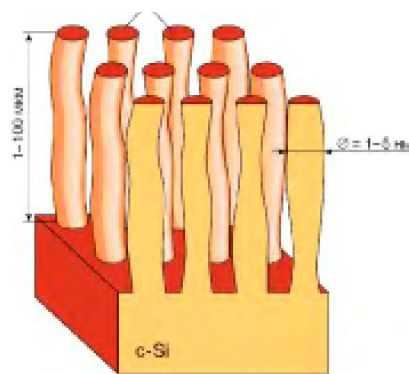
G'ovakli materiallarga qiziqarli misol qilib g'ovakli kremniyni keltirish mumkin. G'ovakli kremniy elektronikaning juda ko'p sohalarida, shu jumladan kremniyda ko'rishli nurlar manbaalarini yaratish uchun sof kremniyda yaratish

mumkin bo'lmaganligidan istiqbolli hisoblanadi. Govakli kremniyni anodli o'yish yo'li bilan olinadi. Buning uchun kremniyning monokristalini o'yuvchan kislotaning kuchsiz eritmasi quyilgan elektroximiyaviy yacheykaga joylanadi. Musbat elektrod - anodga ulanadi va kuchsiz o'zgarmas tok o'tkaziladi(2.4-rasm).

Vaqt o'tishi bilan elektr toki va fluor ionlari sirtini o'yadilar. kremniyning ichiga kiruvchi vertikal g'ovaklar shakllanadilar (2.5-rasm). Qo'shni g'ovaklar kremniyning diametri bir necha nanometrli bo'lgan ustunchalarini qoldirib birlashishlari mumkin. O'yish jarayonini tok kuchini va fluor ionlarining konsentratsiyasini o'zgartirib boshqarish mumkin.



2.4-rasm. G'ovakli kremniyni anodli olish: 1-korpus, 2- kremniy plastinasi, 3- katod, 4-izolyator, 5-o'sayotgan g'ovakli kremniy, 6-anod

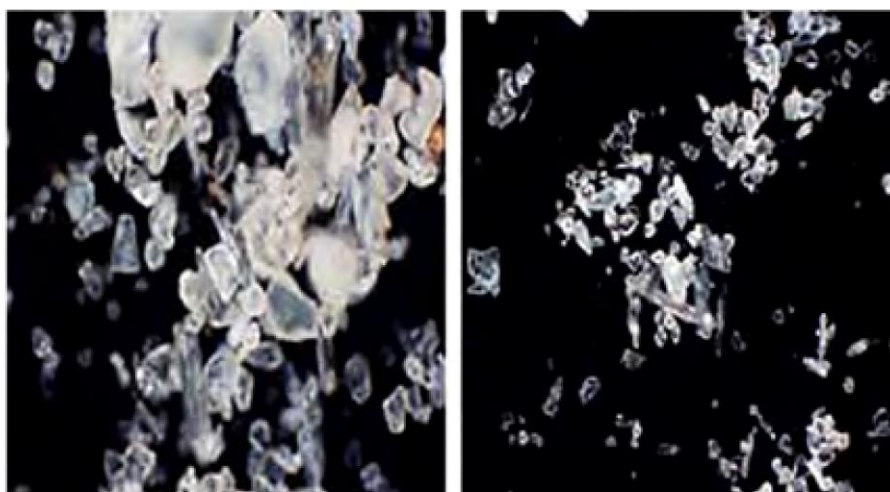


2.5-rasm. G'ovakli kremniyni modellini tasvirlash

2.1.4. Nanodisperslar

Nanodisperslar - nanozarrachalari bir tekis erigan suyuq fazadan tashkil topgan sistemalaridir (2.6-rasm). Nanodisperslar hozirgi vaqtlarda asosan meditsina va kosmetikada qo'llanilmoqda.

Suyuq fazada eritilgan nanozarrachalarni dorilarni ko'chirish uchun foydalanish mumkin. Dorilarni nanozarrachalarning sirtiga "ulanadi" yoki ularaning hajmiga joylashtirilad. Nanozarrachalar dorilar uchun "tramvay" fazifasini bajaradi, ularni "kasal organga" olib boradi va o'sha erda tushiradi.



2.6-rasm. Tabiiy qatlamsimon serpentinit mineralini qunt bilan maydalash yordamida olinadigan, zarrachlarining o'lchamlari 10 mikrondan katta bo'lmagan upqa dispersli poroshok (turli masshtabda kattalashtirilgan)

Nanodisperslar kosmetikada keng qo'llanilmoqda. Kosmetik yoshartiruvchi va tiklovshi preparatlarni maxsus *nanokonteynerga* joylansa, ular biologik to'qimalarning hujayralariga oson kirib borar ekan.

2.1.5. Nanostrukturalangan sirtlar va pardalar

Siz, ehtimol, ko'lmak sirtidagi kamalak ranglarini kuzatgandirsiz. Bu suvning sirti bo'lab bir tekis "tarqalgan" benzindan hosil bo'gan pardaga misol. Pardalarning qalinligi bir necha atom qatlamlaridan tashkil topgan bo'lishi mumkin. Bunday pardalar nanotexnologiyalarning ob'ektlaridan biri hisoblanadi.

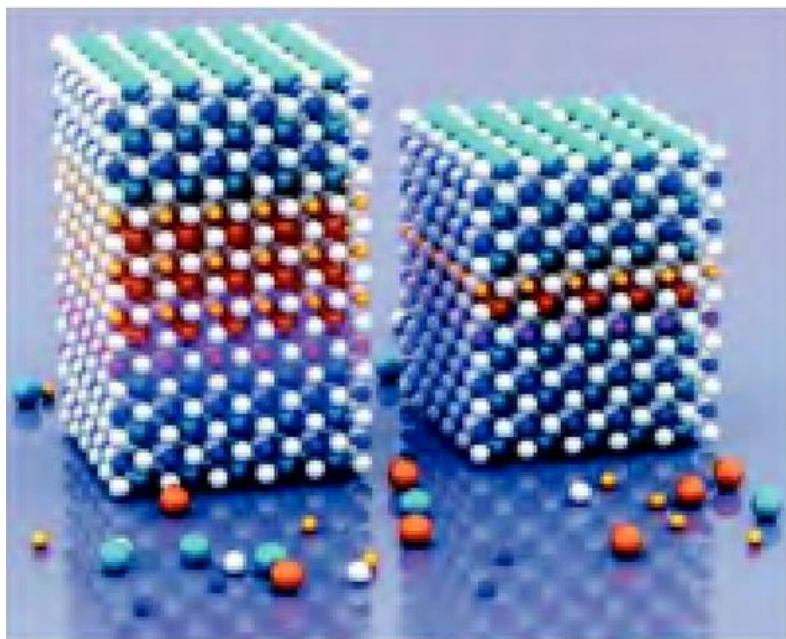
Eng yupqa parda qattiq yoki suyuq sirtga surtilgan bitta atom qatlamidan iborat bo'ladi. Bunday pardalarni *Lengmyur – Blojett pardalari* deb ataladi.

Yarimo'tkazgichli materiallardan tuzilgan parda yoki qatlamni **geterostrukturalar** deyiladi (2.7-rasm). Geterostruktura qalinliklari bir necha nanometr qalinlikdagi o'nlab yarimo'tkazgichli qatlamlarning ketma-ketligidan tashkil topishi mumkin. Yarmo'tkazgichli geterostukturalar yorqin yorug'lik diodlari, lazerlar va zamonaviy mikroelektronikaning boshqa yarimo'tkazgichli asboblarni yaratishda foydalanilmoqda.

2000 yilda rossiyalik olim J.I.Alfyorov geterostrukturalarni yaratish texnologiyalarini ishlab chiqqanligi uchun fizika bo'yicha Nobel mukofotini oldi.

Geterostrukturalarni molekulyar-nur, gazfazali, suyuq fazali epitaksiyalar metodlari hamda o'zyig'ilish (o'z-o'zidan yig'ilish) metodi bilan olinadi.

2.7-



rasm.

Geterostruktura modeli.

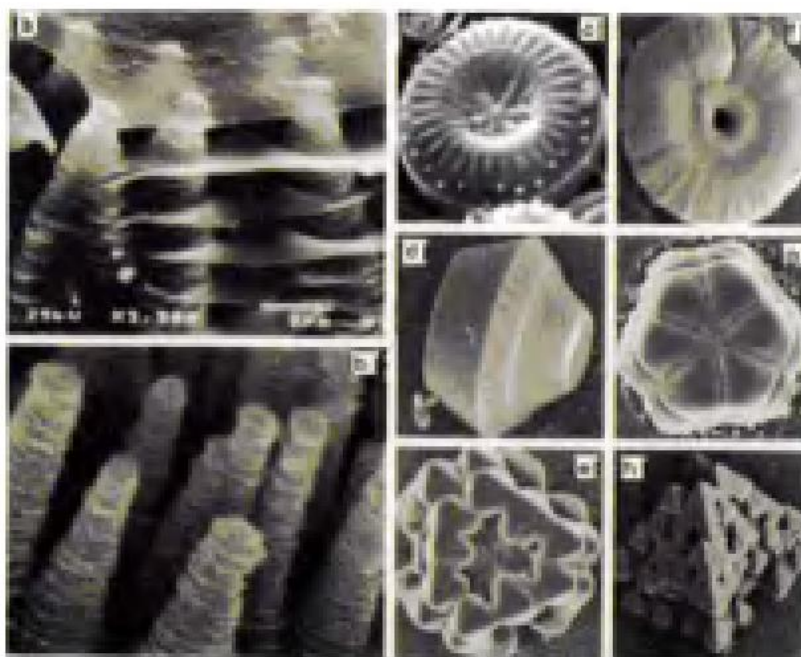
2.1.6. Nanokristalli materiallar

Biz “atom” va “molekula” tushunchalari ostida modda quriladigan eng kichik qurilish “g’ishtchalarini” tushunamiz. Moddani faqat g’ishtchalardan emas, balki, butun bloklardan ham qurish mumkin ekan. Bloklar sifatida nanoklasterlar va nanozarrachalar bo’lishlari mumkin. Nanoo’lchamli bloklardan tashkil topgan kristalli materiallarni hajmiy **nanokristalli materiallar** deb ataladi.

Nanonokristall materiallar g’aroyib xossalarga ega bo’lishlari mumkin ekan. Biz bilamizki, agar material mustahkam bo’lsa, mo’rtlik xossasiga ega bo’ladi. Nihoyatda mustahkam, ammo mo’rt materialga shishani misol qilish mumkin. Bir qator nanokristall materiallar bir vaqtda yaxshi mustahkamlikka va plastiklikka ega ekanlar.

Nanonokristall materiallarning tengsiz g’aroyib xossalari moddani tashkil qilgan nanozarrachalar bo’limlarining chegaralari mavjudligiga bog’liq. Bo’lim chegarasi o’zini hajmiy moddadan farq qiluvchi alohida xossali modda kabi tutadi.

Keyingi yillarda nanokristallarni olish texnologiyasida sezilarli yutuqlarga erishildi. Kolloidli ximiyaning metodlaridan foydalanib nanokristall shakldagi ko’plab moddalar, shu jumladan metallar, yarimo’tkazgichlar va magnitli materiallar olishga muvaffaq bo’lindi. Bu sohadagi rivojlanish sezilarli darajada yarimo’tkazgichlarda oson qayd etiladigan xarakteristikalar (masalan, yorug’lik nurining intensivligi) zarrachalarning o’lchammlariga kuchli bog’langanligi holati bilan engillashgan. Bu holat esa nanokristallarni ba’zi kutilmagandagi qo’llanilishini, masalan, biologik markirovkani topishga imkon berdi. Ba’zi nanokristallarga misollar 2.8-rasmda keltirilgan.



2.8-rasm. Turli moddalarning o’stirilgan nanokristallariga misollar.

Nanonokristall materiallarga tarkibida nanometrik diapozondagi kristallga ega bo’lgan qotishmalarni ham kiritish mumkin.

2.2. Nanomateriallarni olishning texnologiyalari (“yuqoridan – pastga” va “pastdan - yuqoriga” texnologiyalar)

Nanotexnologiyalar nanometr o'lchamlardagi materiallar va qurilmalarni yaratishga va foydalanishga imkon beradilar. Nanometrli ob'ektlarni va mahsulotlarni olishda ikkita yondashuv mavjud. Bu yondashuvlarni "yuqoridan – pastga" va "pastdan - yuqoriga" texnologiyalar deb atash qilingan.

"Yuqoridan-pastga" texnologiyasi jismlarning o'lchamlarini mexanik yoki boshqa ishlov bilan kichraytirishga asoslangan bolib, ynda nanometrli olchamdagi ob'ektlar olinadi. Masalan, makroskopik o'lchamdagi materialni maxsus tegirmonda maydalab nanozarrachalar olish mumkin.

2.2.1. Litografiya

Hozirgi vaqtda litografiya elektronikada nanostrukturalar olishning asosiy uskunalaridan biri hisoblanadi (2.9-rasm). "Litografiya" nomi yunoncha "lotos"-tosh va "grafo" –yozaman so'zlaridan kelib chiqqan bo'lib, so'zma-so'z "toshda yozaman" deyilganidir. Litografiya qattiq jismlarning sirtlarida nanostrukturalar olishga imkon beradi.

2.9-rasm.Litografiya yordamida olingan struktura

Litografiya eng sodda holda bir necha bosqichlardan iborat.

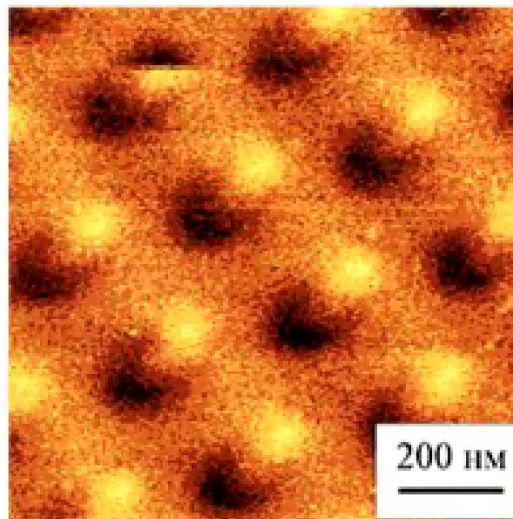
Birinchi bosqichda qattiq jism sirtiga fotorezist qatlami surtiladi.

Fotorezist- yorug'likka sezgir modda bo'lib, nyrlanish ta'siri ostida surtilgan sirtning strukturasi o'zgartiradi. So'ngra sirtga fotoshablon syrtiladi. Fotoshablon qattiq jismning sirtida "o'ymakorlik" qilish uchun trafaret bo'lib, sirt qismlarini nurlash uchun shaffof va noshaffof maskadan iborat.

Litografiyaning keyingi bosqichi **eksponirlash** deb ataladi. Ustiga fotorezist va uning tepasidan fotoshablon qo'yilgan qattiq jismning sirti nurlanishning optik manbaai (lampa yoki lazer) bilan yoritiladi. Natijada fotoshablonning nurlanish uchun shaffof qismlari qismlari ostidagi fotorezistning ta'sridan sirtning strukturasi o'garadi. Fotorezist o'zgartirgan sirtning biror qismi fotorezist bilan birgalikda **o'yish** jarayoni yordamida yoqotilishi mumkin. Ximiyaviy o'yish maxsus ximiyaviy moddalar (o'yuvchilar) da yoritilgan fotorezist ta'sirida o'zining strukturasi o'zgartirgan sirtni eritishga asoslangan. Shunday qilib "o'ymakorlik" bilan qattiq jismning sirtida etarlicha murakkab strukturalarni olish mumkin.

Litografiya elektronli texnikani boshqaruvchi qurilmalar – mikrosxemalarni yaratishda asosiy bosqichlardan hisoblanadi. Mikrosxemalarning o'lchamlarini kichraytirish litografiyada shakllantiriladigan "rasmlar"ning o'lchamlarini kichraytirilishi bilan erisilishi mumkin.

Fotoshablon orqali fotorezistni yoritish uchun foydalaniladigan optik nurlanish manbaaining xarakterisksi bo'lib nurlanishning to'lqin uzunligi hisoblanadi. Difraktsiya hodisasi tufayli litografiya yordamida qirqib olinadigan detalning



o'lchami to'liq uzunlikdan kichik bo'la olmaydi. Agar biz litografiya to'liq uzunligi 1 mkm bo'lgan nurlanish manbaidan foydalansak, biz chiza oladigan detalning eng kichik o'lchami ham 1 mkm bo'ladi. Litografiya yordamida nanometer o'lchamli ob'ekt chizish uchun to'liq uzunligi bir necha o'n nanometrlar bo'lgan uzoq ul'traqiz nurlanish manbaalaridan foydalanish kerak.

2.2.2. Epitaksiya

“Pastdan-yuqoriga” texnologiyasi yig'ish yoli bilan alohida atom va molekulalardan nanoo'lchamli ob'ektlarni olishdan iborat. Alohida atomlardan nanomateriallarni yig'ish texnologiyalarining ko'pchiligida kondensatsiya hodisasi yotadi.

Kondensatsiya (yunoncha *condenso*-zichlayman, quyqlashtiraman so'zidan olingan)- moddaning gazsimon holatidan suyuq yoki qattiq holatiga uni sovutish yoki siqish natijasida o'tishi.

Yomg'ir, qor, shudring, qirov – tabiatning bu hamma hodisalari atmosferadagi suv bug'larining kondensatsiyasi natijasidan iborat. Bug'ning kondensatsiyasi berilgan modda uchun kritik bo'lgan temperaturadan pastidagina sodir bo'lishi mumkin xolos. Suvning molekulalari kabi boshqa ximiyaviy elementlarning molekulalarini ham “kondensatsiyalash” mumkin. Kondensatsiya va unga teskari jarayon - bug'lanish moddaning fazaviy aylanishlariga misol hisoblanadi.

Gazning suyuqlikka yoki suyuqlikning qattiq jismga fazaviy aylanish jarayoni ma'lum bir vaqt ichida sodir bo'ladi. Aylanish jarayonining boshlang'ich bosqichida nanozarrachalar tashkil bo'ladi, shuning uchun ular makroskopik ob'ektlarga o'sadilar. Agar fazaviy aylanishni boshlang'ich bosqichida “muzlatilsa” nanozarrachalar olinishi mumkin.

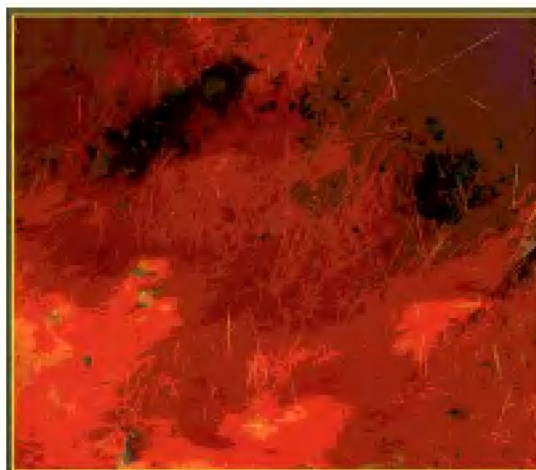
Nanozarrachalarni kondensatsiyalash metodi bilan olinganda makroskopik jismdan nanozarrachada yig'iladigan atomlarni bug'lash zarur. Bug'lanishni makroskopik jismni termik yoki lazerli qizdirish yoli bilan amalga oshirish mumkin. Bug'langan atomlarni past temperaturali sohalarga o'tkazish kerak, u erda ular nanozarrachalarga kondensatsiyalanadi. Texnologik jarayonning murakkabligi shundaki, nanozarrachalar o'sib, yani kattalashib makroskopik jismlarga aylanib qolmasliklarini ta'minlaydigan sharoitni yaratishdan iborat.

Kondensatsiya hodisasi asosida fullerenlar, uglerodli quvurlar, nanoklasterlar va turli o'lchamlardagi nanozarrachalar olinadi.

Kristallning (taglik) sirtida atomlarni boshqariladigan kondensatsiyasi epitaksiya texnologiyasining asosi hisoblanadi.

Epitaksiya (yunoncha *epi* –ustidagi, ustida va *taxis*-joylashuv, tartib so'zlaridan olingan) – bir kristallning (taglikning) sirtida boshqa kristallning yo'nalishli o'sishi (2.10-

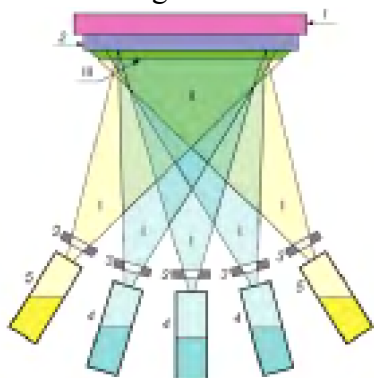
rasm).



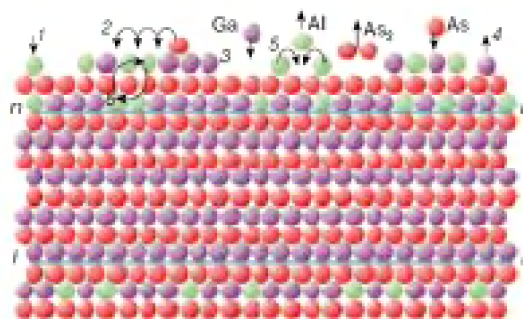
2.10-rasm. Gematitda rutil kristalining epitaksiyasi:

a) kristalning o'zi (foto); b) kristallning alohida strukturasi (elektronli mikroskop)

Kristallning sirtiga kerakli atomlarni gaz fazadan ham, suyuq fazadan ham epitaksiyasini amalga oshirish mumkin. Epitaksiya jarayoni odatda taglikda alohida kristallchalarining paydo bo'lishi bilan boshlanadi, bu kristallchalar bir-biriga o'sib uzluksiz pardani hosil qiladilar. Epitaksiyaning zamonaviy metodlari qalinligi birnecha (hatto bitta) atomlar qatlamlarini, hamda turlicha fizik-ximiyaviy xossalari qatlamlarni ketma-ket o'stirishga imkon beradilar.



2.11-rasm. Legirlangan uchta birikmalar olish uchun molekulyar-nurli epitaksiya qurilmasining sxemasi



2.12-rasm. Parda o'sishining jarayoni

Epitaksiya mikroelektronikada (tranzistorlar, integral sxemalar, yorug'lik texnikasida (xotiraning magnitli elementlari) keng qo'llanilmoqda.

Epitaksiya jarayonini amalga oshirishning eng zamonaviy metodi molekulyar-nur epitaksiyasi hisoblanadi. Bu metodda tayyorlangan va tozalangan taglikka alohida atomlarning oqimlari yo'naltiriladi (2.11-rasm).

Taglikning sirtiga etib borib atomlar u yoki bu usul bilan tartiblanadilar va bizga kerakli strukturani hosil qiladilar (2.12-rasm).

2.3. Nanotexnologiyalarda o'z-o'zidan tashkillanish

(o'ztashkillanish) va o'z-o'zidan yig'ilish (o'zyig'ilish)

Zamonaviy fanni doimo qiziqtirib kelgan savollar : Alohida atomlar va molekulalardan qanday qilib murakkab organizmlar va sistemalar paydo bo'ladilar? Erda birinchi jonli mavjudotlar qanday qilib paydo bo'lganlar? Bu savollarga javob berish uchun soddadan birmuncha murakkabning paydo bo'lish printsipini tushunish kerak. Tartiblangan murakkab strukturalarning ancha soddalardan paydo bo'lashini ***o'ztashkillanish*** deb aytiladi.

Bu tushunchani nemis olimi German Xaken kiritgan: **“O'ztashkillanish - ochiq sistemada ko'lab elementlarning – uni tashkil etadiganlarning kelishilgan o'zarota'sirlashuvi hisobiga tartiblanish jarayonidir”**. O'ztashkillanish boshdagiga nisbatan ancha murakkab bo'lgan strukturaning shakllanishi bilan



bog'liq. Fizika va ximiyada o'ztashkillanish atom va molekulalarning tartiblanmagan harakatidan tartiblangan strukturaga **2.13-rasm. Asalari uyasi (foto).**

o'tishini namoyon etadi.

O'ztashkillanuvchi sistemalar haqidagi fanni ***sinergetika*** (yunoncha *sinergetike* – hamkorlikdagi faoliyat) deb ataladi. Sinergetikaning bosh g'oyasi - tartibsizlik va xaocdan o'ztashkillanish jarayoni natijasida tartib va tashkillashuvning spontan holda paydo bo'lishi mumkinligi g'oyasidir.

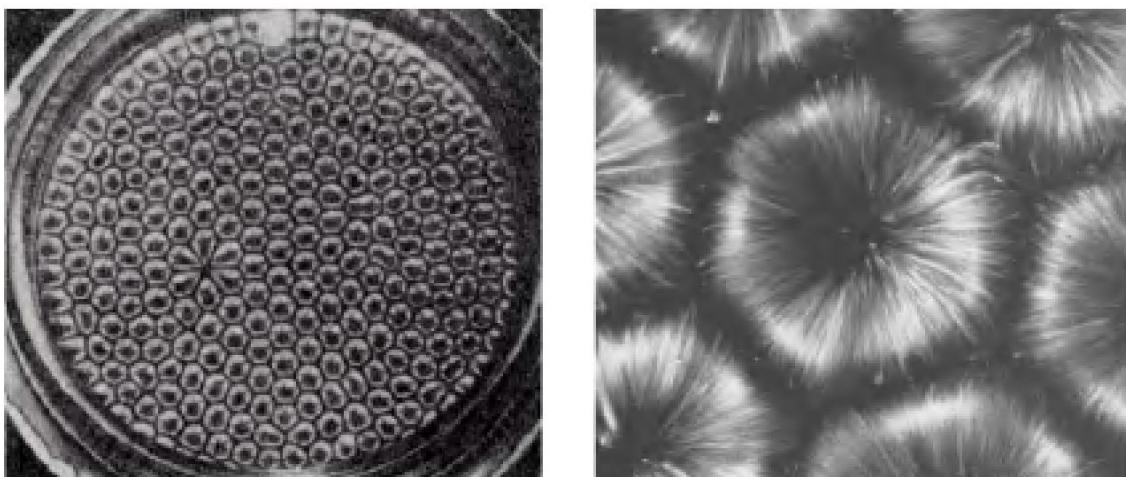
Sinergetika metodlaridan amalda hamma fanlarda: fizika va ximiyadan tortib to sotsiologiya va filologiyalarda ham

foydalanilgan.

O'ztashkillanish - tabiatniny eng ajablanarli hodisalaridan. Tabiatda o'ztashkillanuvchi sistemalarning ko'pi ma'lum. Hayvonot olamida, misol sifatida, asalarilarning oltiburchakli uyalarini qurilishini (2.13-rasm), chumolilarning jamoaviy harakatlarini v.h.larni keltirish mumkin.

Fazoviy tartiblangan strukturalarga klassik misol bo'lib Benar yacheykalari (2.14-rasm) hisoblanadi.

1900 yili bu avtorning asalari uyalarini eslatuvchi struktura fotografiyasi bor maqolasi paydo bo'ldi. Bu struktura pastidan isitiladigan, simob bilan to'ldirilgan keng yassi idishda paydo bolgan. Simobning qatlamida (yoki boshqa qovushoq suyuqlik) isitilganda pastki va yuqori sirtini orasida temperatura farqi hosil bo'ladi. Temperatura farqi biror kritik qiymatga erishganida simob qatlamida bir xil oltiqirrali prizmalar shakllanganligini kuzatish mumkin. Bunday prizmaning markaziy qismida pastdan isitilgan suyuqlik yuqoriga ko'tariladi, qirg'oqlar bo'ylab esa sovugan suyuqlik pastga tushadi.



2.14-rasm. Benar yacheyskalari

Bunday struktura suyuqlik qatlami qalinligi bo'ylab temperatura bir jinsli bo'lmasligi hisobiga ta'minlanadi. Temperaturaning bir jinsli bo'lmasligini suyuqlik qatlamining pastki tomonidan energiya oqimi kelishi (isitish) va qatlamning yuqori sirtidan energiya oqimining ketishi orqali yaratiladi.

2.3.1. O'ztashkillanuvchi sistemalarning asosiy xossalari

O'ztashkillanish nazariyasi ochiq, noxiziqli dissipativ (*dissipativlik*- sitemaning maxsus dinamik holati bo'lib, uni mikrosathda (mikromuhitda) o'tayotgan jarayonlarning sifat jihatdan o'ziga xos makroskopik namoyon bo'lishi tarzida ta'riflash mumkin) muvozanat holatidan uzoq bo'lgan sistemalar bilan ish ko'radi.

Termodinamikada *yopiq sistema*, yani muhit bilan modda va energiya almashmaydigan sistema tushunchasi mavjud. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra yopiq sistemada energiya turli shakllarni olsada, ammo saqlanadi. Yopiq sistemalar uchun termodinamikaning ikkinchi qonuni ta'riflangan bo'lib, uning natijasiga ko'ra ixtiyoriy yuqori tashkillashgan va tartiblangan struktura albatta pastroq tashkillashgan va tartiblanganga o'tadi¹.

Masalan, termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq, Koinotda energiya zahirasi tugab boradi, butun Koinot esa "issiqlik o'limiga" yaqinlashib boradi. Vaqt o'tishi bilan Koinotning tashkillashgan strukturalarini qo'llab turish qobiliyati kuchsizlanadi va bunday strukturalar kamroq tashkillashgan strukturalarga parchlanadilar. Bu esa Koinotni ko'proq "bir jinsli" kelajak kutayotganligini anglatadi.

Jonli tabiatdagi evolyutsiya misollari bizga soddadan murakkabga, tashkillanishni quyi shakllaridan yuqorisiga, kam shakllanganlikdan ko'proq shakllanganlikka qarab rivojlanishni ko'rsatadi. Termodinamikaning ikkinchi qonunini biologik fanlarning xulosalari bilan muvofiqlashtirishga bo'lgan urinishlar uzoq vaqt

¹ Olamda mo'jizalar bo'lmasligi (o'rni kelib qoldi: bu termodinamika ikkinchi qonuning eng qisqa ta'riflaridan)- termodinamika ikkinchi qonuning natijasidir, bu qonunga ko'ra izolyatsiyalangan sistemada tartibsizlik ko'payib borishga intiladi. Boshqacha aytganda, bu qonunga muvofiq o'yinchoqlar o'z-o'zidan shkak tagiga, divan tagiga va boshqa tayinlanmagan joylarga borib qolishni hohlaydilar. Agar o'yinchoqlar sistemasi izolyatsilanmagan bo'lib qolsa, ular qutilariga joylanadilar, xonani yig'ishtirishda qilgan mehnatingiz ko'rinishida bu sistemaga tashqaridan energiya oqimi kira boshlaydi.

natija bermadi. Klassik termodinamika ochiq sistemalarni qonuniyatlarini tushuntira (tavsiflay) olmadi. Ochiq sistemalar tushunchasi kiritilishi va ularni o'rganish bilan bunday imkoniyat paydo bo'ldi.

Ochiq sistemalar – tashqaridan modda yoki energiya uchib kelib turishi hisobiga o'zlarini ma'lum holatda saqlab turadigan sistemalar. Modda yoki energiya uchib kelib turishi yopiq sistemalarga aksincha muvozanatsiz holatlar mavjudligining zaruriy shartidir.

Tirik organizmlar tashqi energiyani tartiblangan strukturaga aylantirishlari hisobiga mavjuddirlar. Yuqorida ko'rilgan Benar yacheykalari- tartiblangan struktura bo'lib, u tashqaridan energiya kirishi hisobiga tiklanib turadi. Suyuqlik qatlamini pastdan isitib turishni to'xtatishimiz bilan oq Benar yacheykalari yoqoladilar.

O'tashkillanishda *sistemalarning noxizirligi* kabi xossa muhim hisoblanadi. Bu terminga ta'rif berish birmuncha murakkab. Sistema bilan muhit orasida ba'zan teskari musbat aloqa munosabatlari paydo bo'lib qolishlari mumkin. Sistema o'zining muhitiga shunday ta'sir qiladiki, muhitda ba'zibir sharoitlar yuzaga keltiriladi, ular o'z navbatida bu sistemaning o'zida o'zgarishlar bo'lishini keltirib chiqaradi. Ochiq sistemaning va uning muhitini bunday turdagi o'zarota'sirlashuvlarining oqibatlarini butunlay kutilmagan va g'ayrioddiy bo'lishlari mumkin. Noxizirli sistemalar, muvozanatsiz va ochiq hisoblanib, muhitda bir jinslimaslikni o'zlari yaratadilar va saqlab turadilar.

Ko'pgina mikrojarayonlar muvozanatsiz sodir bo'lganliklari tufayli sistema makrosathda yig'uvchi natijalovchi qobiliyatga ega bo'lib qoladi, bu qobiliyat har bir alohida mikroelementdagidan sifat jihatdan farq qiladi. Dissipativlik tufayli muvozanatsiz sistemalarda o'z-o'zidan (spontan) yangi turdagi strukturalar yuzaga chiqib qolishlari mumkin, xaos va tartibsizlikdan tartib va tashkillanganlikka o'tishlar amalga oshishi mumkin, materiyaning yangi dinamik holatlari paydo bo'lishlari mumkin.

2.3.2. O'tashkillanishdan nanotexnologiyalarda foydalanish

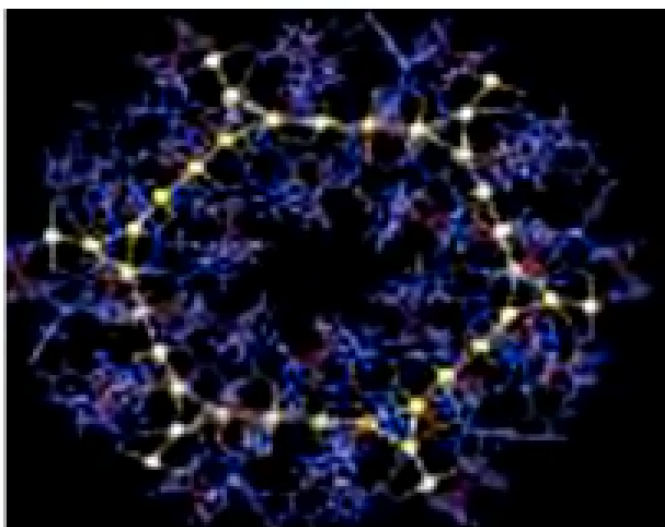
Nanostrukturalarni shakllantirishga bo'lgan turlicha istiqbolli yondashuvlar orasida o'tashkillanishdan

foydalanuvchi

nanotexnologiyalar borgan sari katta ahamiyat kasb etmoqdalar. O'tashkillanish alohida atomlardan yuqorida aytilgan "pastdan-

2.15-rasm. O'zyig'ilishga misol.

yuqoriga" texnologiyasi bo'yicha nanostrukturalar yaratishga imkon eradi. Nanotexnologiyaning oldida turgan muhim muammolardan biri – molekullarni ma'lum, aniq usul bilan guruhlanishlariga, o'tashkillanishlariga majbur



qilishdir, toki natijada yangi materiallar yoki qurilmalar olinsin.

Berilgan nanotexnologiyalardan foydalanib qanday nanostrukturalar qurish mumkin?

Biz turli materiallar haqida gapiramiz, ular tez-tez o'z-o'zini tashkil qilish jarayonida paydo bo'lishi mumkin. Bu tabiat ulardan o'z o'zini tashkil qilish jarayonida qanday foydalansa shunday ularni atom va molekularlardan shakllantirib qurilma qurishga imkon beradi. Tabiatda chindan xam shunday tizimlar bor va shunday jarayonlar bo'ladi. Eng yorqin misol bo'lib DNKga yozilgan axborot asosida murakkab biologik obyektlar yig'ishdir (mas. 2. 15 rasmga qarang).

Avval qanday bo'lgandi? Aytaylik biz temir bo'lagini olardik va ortiqchasini olib tashlab bolg'a yasardik ("tepagan –pastga" texnologiyasi). Nanotexnologiya esa yaqin kelajakda mahsulotlarni "nol" materialdan tayyorlash imkonini beradi, bunda atomni atomga "qo'lda" qo'yish shart bo'lmaydi, biz o'z o'zini tashkil qilish hodisasidan, o'z o'zini yig'ish nanotizimi va nanoqurilmasidan foydalanishimiz mumkin. Bunda materialni "qo'lda" yig'ish maqsadida nano darajada alohida nanoobyektda sun'iy manipulyatsiya kutish ancha qiyin. Bu hozircha maqsadga muvofiq emas (sekin va katta hajmda mehnat talab qiladi). Shuning uchun o'z o'zini tashkil qilish tabiiy ravishda nanomaterial olishni paydo qilishi mumkin.

Aniq shartlarda mikro- yoki nanoobyektlarning o'zlari tartibga solingan struktura (tuzilima) ko'rinishida barpo bo'lishga boshlaydilar. Bu yerda tabiatning fundamental qonunlariga qarama qarshilik yo'q—bunday holatda tizim alohidalanmagan va nanoobyektlarga qandaydir tashqi ta'sir ko'rsatiladi. Biroq eslatib o'tilgan metodlardan farqli holda, bunday ta'sir aniq bir qismga emas, hammasiga tengdan qaratilgan. Sizga talab qilinayotgan tizimni qo'lda tuzish kerak bo'lmaydi, nanoobyektlar talab qilinayotgan joy nuqtasida birin ketin joylashib—yaratilgan sharoitlar shunaqa, nanoobyektlar buni o'zlari bir vaqtning o'zida bajaradilar. Bunday o'ziga xos sharoitlardan foydalanib yaralish jarayonlarini o'zyig'ilish jarayonlari deb ataladi, va ular allaqachon hozirda fan va texnikaning ko'plab sohalarida muhim rol o'ynamoqda.

K o'pchiligingiz bilyard o'yinini va sharlarni "piramida" shaklida tahlanishini bilasiz—yopiq hajmda sharlar teng tomonli uchburchakda bir usulda tahlanadilar. Agar ularni katta qutiga solib biroz aralashtirilsa, ular o'z- o'zidan amalda juda yahshi tartibga solingan struktura hosil qiladilar. Ba'zi hollarda bir xil navdagi atomlarni ham chegaralangan hajmdagi shunday shaklda tartiblangan o'lchamlari bo'yicha bir jinsli ko'rinishdagi sharlar ko'rinishida ko'rib chiqish mumkin. Ximiya va kristallografiyada hatto "sharli zich taxlam" termini mavjud.

Bilyard sharlari misoliga o'xshash nanozarrachalar qattiq jismlar sirtida o'z – o'zlaridan taxlana oladilar. Nanozarrachalarning bunday "yopishib qolish"ning asosiy sabablari nanozarrachalarning umumiy sirt yuzasini kichraytirishga va shu orqali ularning yuza energiyasini qisqartirishga urinadigan turli kuchlardir.

4 nm diametrli oltin nanozarrachalarining tartibga solingan massivlari birinchi bo'lib 1955 yilda olingan, ikki oydan keyin monodispersli beshnanometrli kadmiy selenidi zarrachalarini "yotqizish"ga erishildi. Dastlabki nanozarrachalar qanchalik bir jinsli bo'lsa, ularning massivda joylashishi shuncha "to'g'riroq" bo'lib bordi.

O'ziyig'iladigan komponentlar uchun odamadan talab qilinadigan narsa shuki, ulardan yetarli miqdorda probirkaga joylash va ularga avtomatik tarzda o'zlarini tabiiy xususiyatlariga ko'ra kerakli konfiguratsiyaga to'planishga imkon berish.

Hozirgi kunda ikkio'lchovli va ucho'lchovli Pt, Pd, Ag, Au, Fe, Co, nanokristallarnig, Fe-Pt, Au-Ag qotishmalarining, Cd/CdSe, CdSe/CdTe, Pt/Fe, Pd/Ni nanostrukturalarning tashkillashgan massivlari sintezlangan.

Bundan tashqari anizotrop nanozarrachalar uchun mo'njalli- tartiblangan massivlar shakllanishiga erishishni uddasidan chiqildi. Bir hil o'lchamdagi

nanozarrachalarni biro'lchamli "iplar"ni, ikkio'lchamli zich joylashgan qatlamlarni, ucho'lchamli massivlar yoki "kichik" klastrelarni o'zida namoyish etadigan fazoviy-tartiblangan strukturalarga "to'plash" mumkin. Nanozarrachalar tashkillanishining tipi va massivning hosil bo'lish strukturasini sintez sharoitlari, zarracha diametri, strukturaga tashqi ta'sirining tabiatiga bog'liq.

Bugungi kunda mikrozarrachalardan foydali tartiblashgan strukturalar olish mumkin bo'lgan turli o'z-o'zini yig'ish metodlari ma'lum. Aniq bir sistemada o'z-o'zini yig'ish sodir bo'lishiga alohida sharoitlar yaratish uchun tortishish, elektr va magnit maydoni, kapillyar kuchlar, sistema komponentlarining ho'llanish-ho'llanmaslik "o'yini" va boshqalardan foydalanish mumkin bo'ladi. Ayni paytda o'z-o'zini yig'ish jarayonlari ishlab chiqarishda ham faol foydalanishga boshlandi. Xususan, mashhur INTEL kompaniyasi o'z-o'zini yig'ish jarayonlarini yangi avlod kompyuter chiplari yaratilishiga joriy qilmoqda.

Nazorat savollari

1. "Nanomateriallar" tushunchasiga ta'rif bering.
2. Nanomateriallarning qanday turlarini bilasiz?
3. Nanozarrachalar va nanoklasterlar deb nimaga aytiladi?
4. Nanomateriallarning alohida xususiyatlarining sababi nimada?
5. "Yuqoridan-pastga" texnologiyasiga misol keltiring.
6. "Pastdan - yuqoriga" texnologiyasiga misol keltiring.
7. Litografiya texnologiyasining asosiy bosqichlarini ayting.
8. Eptaksiya jarayoni qanday sodir bo'ladi?

Masalalar

1) Ikki sferik 1000ta zarrachalardan tashkil topgan nanoklasterlarning qo'shilishi (birlashishi) sodir bo'ldi. Hosil bo'lgan nanoklasterning o'lchami dastlabki nanoklasterning o'lchamidan necha marta katta bo'ladi? Hosil bo'lgan klasterning sirtidagi atomlarning miqdori dastlabki klasterning sirtidagi atomlarning miqdoridan necha marta kamayadi.

2) Suvning 50ta atomdan iborat nanoklasterning o'lchamini baholang(chamalang). Suvning 50ta atomdan iborat nanoklaster yassi tekislikka tushadi va bir tekis tarqalaib qalinligi 1 atom qatlamli yassi doiraviy dog' hosil qiladi. Shu dog'ning o'lchamini baholang.

3-bob.Nanotexnologiyaning rivojlanish tarixi

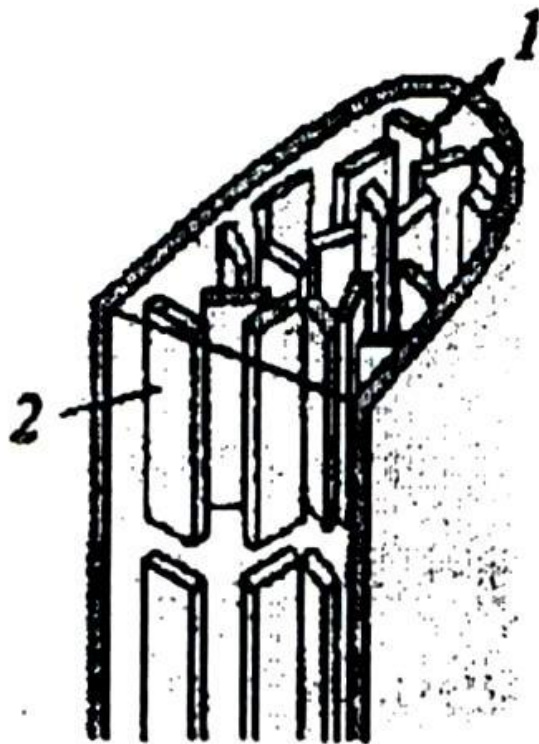
Nanotexnologiyaning tarixini o'rganish materiallar olishdagi asosiy an'analar va yo'nalishlarni aniqlash uchun zarur. Nanotexnologiya tarixini qadimdan ma'lum bo'lgan materiallardan va tabiiy jarayonlardan boshlab va ularga yangi tushunchalarni qo'llab o'rganish lozim.

Ravshanki, hahostrukturalar Erda hali hayot paydo bo'lmasdan avval mavjud bo'lganlar. Tabiatdagi juda ko'p hodisalarda nanostrukturalar qatnashadilar. Kosmik fazoda, havoda va suvda turli tarkibdagi va tuzilishdagi hanozarrachalar mavjud. Geologik jarayonlar ham nanometr masshtabdagi ob'ektlarning paydo bo'lishi va emirilishi bilan sodir bo'ladilar. Biroq ta'kidlash joizki, bu nanostrukturalarning shakllanishi atomlarning xossalari va tashqi sharoitlar bilan aniqlanadigan o'z-o'zicha jarayondir. Nanoo'bektlar qatnashadigan hodisalarni tadqiq etish nanotexnologiyalar uchun nazariy materiallar berishdan tashqari, sayoralarning paydo bo'lish

mexanizmlari, geoximik, meteorologik, fizik-kimyoviy jarayonlar haqidagi tasavvurlarni sezilarli darajada rivojlantiradi.

Erda hayotning paydo bo'lishi, tabiat tomonidan bu hayotni ta'minlash va rivojlantirish uchun nanostrukturalarni maqsadga muvofiq biosintezlashni o'zlashitirishining birinchi bosqichi bo'ldi. Haqiqatan ham, ixtiyoriy biologik hujayra o'zida nanomasshtabdagi membranalar (5-10 nm), ribosomalar (30 nm), oqsillar (4x76 nm), DNK (diametri 2 nm), mikroquvurchalar (diametri 30 nm) kabi elementlarga egaki, shular tufayli hujayra mavjud.

Undan tashqari, tabiat nanokompozitsiyali strukturalangan materiallardan keng foydalanadi. Misollarga qaraylik; dengiz mollyuskasi bo'ning nanozarrachalarini bir-biriga maxsus oqsillar va uglevodlarning aralashmasi bilan yopishtirib, nihoyatda mustahkam chig'anog'ini (rakovinasini) o'stiradi. Suyak to'qimasining har bir tolasi oqsil (konxialin) bilan o'rab olingan juda mayda, cho'zilgan (100 nm. gacha), apatitning prizmasimon kristallaridan iborat. Dentin va inson organizmidagi eng mustahkam biologik to'qima – tishlarning emali oqsil moddasiga botirilgan apatit kristallaridan tashkil topgan(3.1-rasm).



1.1-rasm. Tish emalining tuzilishi (D. Travis modeli):
1-organik qatlam, 2- apatitning anizotrop nanokristallari

Emal nihoyatda mayda (4-5 mkm) prizmalardan tashkil topgan bo'lib, o'z navbatida ular organik modda (1) va apatitning yassilangan kristallari (2) bilan birikkanlar.

Tabiatning “yutuqlarini” amalda foydalanish uchun tadqiq etish zamonaviy nanofanda nihoyatda muhim yo'nalish hisoblanadi. Eng jadal rivojlanishga bionanotexnologiya erishishi ravshan bo'lib qoldi, u hozirdayoq kasalliklar diagnostikasida, biomimetik materiallar olishda va boimimikriyaning printsiplaridan materialshunoslikda foydalanishda lol qoldiruvchi natijalar bermoqda.

Inson birinchi bor qachon nanoo'lchamli materiallarning afzalligidan foydalanishni boshlagani aniq ma'lum emas. Tarkibida oltinning nanozarrachalari

bo'lgan rubinli-qizil shishalarni Qadimgi Misrdayoq (eramizdan 1500y. avval) olishganlari haqida ma'lumotlar mavjud.

(Rubin shihsasining rangi oltinni **kolloid** (mikroskopik) zarrachalarining o'lchamlari va miqdoriga bog'liq). Ammo, amorf matritsalarida (asoslarda) rang tuslanishining mexanizmini 100 yil oldin aniqlashga erishildi. Qadimgi degrezlar (cho'yan, po'lat, temir quyuvchilar) plastik deformatsiya metodlaridan (bolg'aning materialga urilishi) va maxsus toblashdan foydalanib, amalda po'latda mustahkamlovchi tarkibida uglerod bolgan nanofaza hosil qilganlar. Arxeologik topilmalar kolloidli sistemalar tayyorlashning retseptlari antik olamda mavjud bo'ganligidan guvoh beradi. Gummiarabik qo'shilgan qurumning suvdagi kolloid eritmasi –“xitoyi siyohlar” Qadimgi Misrda to'rt ming yildan avvalroq paydo bo'lgan.

Ko'plab an'anaviy ma'lum keramika, shisha, tsement, metallar, qotishmalar, fotopardalar (fotoplyonkalar) sitallar kabi boshqa sun'iy materiallarning tarkiblarida nanostrukturalar mavjud yoki nanostrukturali tuzilishga egalar, va ular tsivilizatsiya taraqqiyotining turli bosqichlarida olingan.

Nanotexnologiyaning otalari deb yunon faylasuflari Levkipp va uning o'quvchisi Demokrit (eramizdan V asr avval) larni hisoblash mumkin. Demokrit birinchi bo'lib tarjimada “bo'linmaydigan yoki chaqilmaydigan” degan ma'noni anglatadigan **“atom”** so'zidan moddaning eng kichik zarrachasini tavsiflash uchun foydalandi. Biroq, IV asrda (eramizdan avvalgi 384- 322 yy.) Aristotelning kuchli obro'si va qarshiligi tufayli materiya tuzilishining atom gipotezasi fanning bir chekkasida deyarli 2000 yil qolib ketdi. Atomistik nazariya onda-sondagina, masalan, “Moddalarning tabiati haqiida” poemasi o'zini namoyon etardi xolos (Tit Lukretsiy Kar – eramizdan avvalgi I asr).

1661 yilda Robert Boyl Aristotelning materiyaga bo'lgan qarashlarini tanqid qiladi va mayda zarrachalarning potentsial muhimligini ko'rsatadi.

Jon Dalton tomonidan 1803 yilda zamonaviy atomistik nazariyaning asoslari ta'riflab berildi. Y. Ya. Bertselius (1779-1848) ning ishlari atomli- molekulyar nazariyaga kuchli turtki berdi.

XVIII-XIX asrlarda olimlar Uejvud, Devi, Dager, Neps, Tolbot, Archer, Kennet, Maksvellarning faoliyati bilan bog'liq holda fotografiya va fotografiya materiallarining texnologiyasi jadal rivojlanadi.

1857 yilda M.Faradey shishalarning kolloidli ranglanish mexanizmini tushuntirishga harakat qiladi. Bu o'lchamli effektlarni tadqiq etishga birinchi bor urinish edi. Faradey birinchi bo'lib o'tkazgichlarning elektrik portlashi - nanozarralar olishning metodlaridan birini tadqiq qildi.

1905y. Sveytsariyalik fizik Al'bert Eynsteyn shakar molekulasining o'lchami 1 nm atrofida bo'lishini isbotlagan ishini chop etdi.

1908 y. Gustav Mi metallning turli tabiatli va shaklli zarrachalari tomonidan shishani ranglashining nazariyasini yaratdi.

1928 y. G.A.Gamov tomonidan tunnel effekti kashf etildi, bu kashfiyot nanostrukturalarni tadqiq etishning zamonaviy metodlarining asosi hisoblanadi.

1928 y. Yaqin maydonni skanerlovchi optik mikroskop qurilmasining printsiptal sxemasi taklif etildi.

1931y. Nemis olimlari Maks Knoll va Ernst Ruska nanoob'ektlarni birinchi marta tadqiq etishga imkon bergan elektron mikroskopni yaratdilar.

1932 y. Gollandiyalik professor, 1953 yilning Nobel mukofoti laureati Frits Tsernike fazali- kontrastli mikroskop kashf etdi. Bu mikroskop optik mikroskopning varianti bo'lib, u tasvir detallarining ko'rish sifatini yaxshiladi va uning yordamida tirik hujayralarni tadqiq qildi.

1939 y. Simens kompaniyasi, unda Ruska ishlardi, ajratish qobiliyati 10 nm bo'lgan elektron mikroskopni kommersiya maqsadida ishlab chiqdi.

1956 y. Uxlr nanog'ovakli kremniyni kashf etdi.

1959 y. R.Feynman Amerika fiziklar jamiyatida "Pastda joylar juda-juda ko'p. Fizikaning yangi olamiga marhamat" dokladini qildi. U fizikaning fundamental qonunlari alohida atomlardan "konstruktsiyalar" yaratishni ta'qiqlamasligini ko'rsatdi. 29 dekabr 1959 yil nanotexnologiyalarning tug'ilgan kuni hisoblanadi.

1966 y. Amerikalik fizik Rassel Yang STM tunnelli zondini ignasi ostidagi taglikni va nanotexnologik qurilmani 0,001 nanometr aniqlikkacha ko'chishini ta'minlaydigan p'ezodvigatel yaratdi.

1961-1967 yy. Amerikalik biologlar (R. Xolli, X. Koran va M. Nirenberglar) tomonidan genetik kod strukturasining kashf qilinishi.

1968y. Amerikaning Bell kompaniyasini ilmiy bo'limining xodimlari Al'fred Cho va Jon Arturlar sirtlarni qayta ishlashda nanotexnologiyaning nazariy asoslarini yaratdilar.

1971 y. Rassel Yang zondli mikroskopning proobrazi bo'lgan Topografiner asbobining g'oyasini taklif edi. Bunday qurilmalarni uzoq muddatlarda yaratilishining sababi atomar strukturalarni kuzatish ularning holatini o'zgartirib yuborishi bilan tushuntiriladi, shuning uchun o'rganilayotgan moddani buzmaslik uchun printsipial yangi yondashuvlar talab etilardi.

1971 y. - Bell va IBM kompaniyalari (AQSh) tomonidan birinchi biratomli yarimo'tkazgichli pardalar – "kvant o'ralar, quduqlar" olindi. Amaliy nanotexnologiya – kichiko'lchamli yarimo'tkazgichli strukturalar texnologiyasi davri boshlandi.

1974 y. Yaponiyalik professor Norio Taniguchi "Nanotexnologiyalarning asosiy printsiplari" deb nom olgan dokladida birinchi bor "Nanotexnologiya" terminini qo'lladi.

1975 y. Kvantli iplar va kvantli nuqtalarning mavjud bo'lish mumkinligi nazariy jihatdan qarab chiqildi.

1977 y. Amerikalik student Dreksler tomonidan molekulyar zanjirlardan foydali ob'ektlarning gipotetik yig'ilishini anglatadigan "nanotexnologiya" so'zi ishlatildi.

1978 y. German hammualliflari bilan klasterlarni tavsiflash uchun "jele" modelini ishlab chiqdi.

1981 y. Mayda metalli klasterlarni olish usuli amalga oshirildi. G.Gleyter tomonidan nanomateriallarning kontseptsiyasi ishlab chiqildi, bu kontseptsiyada bosh rolni qattiq jismlarning xossalari sezilarli o'zgartira oladigan chegara sirtlariga qaratildi.

1982 y. - IBM kompaniyasining avstriya filiali (Tsyurix) xodimlari Gerd Binning va Genrix Rorerlar (1986 yil Nobel mukofoti laureatlari) skanirlovchi tunnelli mikroskopni yaratdilar. Bu mikroskop o'tkazuvchan materiallarning sirtidagi atomlarning joylashuvining uch o'lchovli manzarasini olishga imkon berdi. STM Topografinernikiga o'xshash printsda ishlardi, ammo shveytsariyaliklar uni Yangdan mustaqil holda yaratdilar, katta ajratish qobiliyatiga erishdilar, kaltsiyli- iridiyli- qalayli kristallardagi alohida atomlarni bila oldilar.

1983 y. V.N.Lapova va L.I. Trusovalar nanokristalli nikel oldilar, unung mustahkamligi polikristalli namunakidan ikki marta ortiq edi[4].

1985 y. Ucha amerikalik ximiklar Harold Kroto, Robert Kyorl va Richard Smeli fullerenlarni kashf etdilar va 1991 yilda eksperimental olingan, nanoquvurlar degan nomni olgan materiallarning texnikasining keskin o'sishini belgilab berdilar.

1986 y. Gerd Binnig skanirlanuvchi atom –kuch mikroskopni yaratdi, u ixtiyoriy materiallarning (faqat o'tkazgichlarning emas) atomlarini korishga va ularni manipulyatsiya qilishga imkon berdi.

1986 y. E. Drekslarning nanofanning bibliyasi deb nomlangan -“Ijod mashinalari: nanotexnologiyalar erasi yaqinlashmoqda” kitobi nashr etildi. Unda Dreksler molekulalarni yig'ishni, ularni dekompozitsiyalashni, qayta yaratish dasturini nanokompyuter xotirasiga yozishni va bu dasturlarni realizatsiyalashni amalga oshira oladigan molekulyar robotlarni tafsifladi. Nanotexnikaning bir necha o'n yillarga mo'ljallangan rivojlanish prognozi 20 yil davomida vaqtidan oldin, qadamma-qadam, mo'jizali shaklda amalga oshib kelmoqda.

1986 y. - Amerikalik fizik A. Eshkin lazerli pintset - suyuq muhitlarda fokuslangan lazer nuri yordamida mikro- va nanoob'ektlar ustida manipulyatsiyalash qurilmasini yaratdi.

1987 y. Kvantli o'tkazuvchanlikni nuqtaviy kontaktlarda kuzatildi. T.A.Fulton va G.J. Dolanlar bir elektronli tranzistorni birinchi bo'lib yaratdilar.

1987-1988 yy. - P.N.Luskinovich rahbarligida “Delta” ITI (Rossiya)da nanozarrachalarni zond uchidan yo'nalishli termik desorbtsiyasini amalga oshirilgan nanotexnologik qurilma yaratildi.

1987 y. - Frantsuz fizigi J. M. Len “o'zitashkillanish” va “o'ziyig'ilish” tushunchalarini yo'lga qo'ydi.

1989 y. - Molekulyar avtomatlar yaratish mumkinligi ko'rsatildi. IBM firmasi ishlab chiqqan skanirlanuvchi tunelli mikroskop yordamida nikel kristali sirtiga ksenonning 35 atomidan uchta harf (IBM) Donald Eygler tomonidan chizildi. Keyingi ishlar turlicha materiallarda bajarilgan atomlarni sirtlarda “ishonchli joylash” mumkinligini tasdiqladilar. Shu vaqtdan boshlab submolekulyar yig'ish reallik bo'lib qoldi.

1989 y. Zelenograd shahrida (Rossiya) hozirgi vaqtda nanotexnologik komplekslarni ishlab chiqadigan eng yirik kompaniya - NT-MDT tashkil etildi.

1990 y. “Nanotexnologiya” jurnalining birinchi soni xorijda chop etildi.

1991 y. Muallifi E. Yablonovich (AQSh) “fotonli kristall” deb atagan birinchi uch o'lchovli sun'iy metamaterial olindi.

1991 y. Yapon fizigi Sumio Iijima tomonidan birinchi uglerodli nanoquvurlar olindi.

1991 y. AQSh larida Milliy ilmiy fondning birinchi nanotexnologik dasturi ish boshladi. Yponiya hukumati ham o'xshash faoliyat to'g'risida g'amxo'rlik qildi. Evropada bunday tadqiqotlarni davlat miqyosida jiddiy qo'llash 1997 yildan boshlandi.

1997 y. Yozish zichligi 2,6 Gbit/kv.dyum ($1,2 \text{ Gb/sm}^2$) juda katta bo'lgan disklarni ishlab chiqish boshlandi.

1998 y. Nanoquvurlar asosida dastlabki maydonli tranzistorlar yaratildi. Uzunligi 300 nm dan katta bo'lmagan nanoquvurlar texnologiyasi yaratildi.

1999 y. Mikroelektronikaning element bazasi 100 nm yoki 0,1 mkm.li marrani egalladi.

1999 y. Amerikalik fiziklar M. Rid va J. Turlar tomonidan bitta molekula ustida ham, molekulalar zanjiri ustida ham manipulyatsiya qilishning yagona printsiplari ishlab chiqildi.

2000 y. - Nanotomografiya - 100 nm ajratishli modda ichki tuzilishining uch o'lchovli manzarasini yaratish printsiplari ishlab chiqildi.

2001 y. IBM kompaniyasining mutaxassislari uglerodli nanoquvurlar materialli maydonli tranzistorlar asosidagi mantiq mikrosxemalarining dastlabki namunalari yaratildi.

2002 y. Uglerodli nanoquvurni DNK molekulasini bilan sintezlash yo'li bilan birinchi bionanomexanizm asoslari yaratildi (S.Dekker, Gollandiya).

2003 y. Tadqiqotchilarning xalqaro jamoasi tomonidan inson geni shifri ochildi.

2003 y. Yuta universitetining professori Feng Lyu Frans Frans Gissiblning islanmalaridan foydalanib atomli mikroskop yordamida elektronlar orbitasining korinishini ularning yadro atrofidagi harakatning g'alayonlashini tahlil etib yasadi.

2004 y. Grafitning geksoqonal panjarali monomolekulyar pardalari - grafen namunalari olindi (IPTM, RFA).

2001-2005 yy. R. Kornberg rahbarligi ostida amerikalik tadqiqotchilar jamoasi tomonidan hujayralarning genetik ma'lumotni nusxalash mexanizmini shifri ochildi.

2006 y. IBM kompaniyasi xodimlari tomonidan bitta uglerodli nanoquvurda shakllantirilgan mikrosxema kabi 10- tranzistorli mikroelement ishlab chiqildi.

2007 y. AQSh, Germaniya va Gollandiyalik fiziklarning internatsional guruhi tomonidan 0,05nm subatom ajratishli skanirlanuvchi elektronli mikroskop ishlab chiqildi (TEAM).

2007 y. Diametri 100 nm dan kichikroq nanozarrachalar yordamida nanoo'lchamli rasmlarni tezkorlik bilan yaratishga imkon beruvchi bosma texnologiyasi ishlab chiqildi.

2007 y. Texnologiya instituti (Jorjiya shtati, AQSh) xodimlari tomonidan 12 nm ajratishli va yo'lakchalarni 1 mm/s dan kattaroq tezlik bilan surtay oladigan skanirlanuvchi nanolitografiya texnologiyasi ishlab chiqildi.

Nanotexnologiyalarning tarixini o'rganish bir necha asosiy yo'nalishlarni ajratishga imkon beradi:

- nazariy tasavvurlarning rivojlanish tarixi;
- nanostrukturalarni tadqiq etish metodlarining yaratilish tarixi;
- nanomateriallarni olish tarixi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Алферов Ж.И. Наноматериалы и нанотехнологии / Ж.И. Алферов и др. // Нано-и микросистемная техника. 2003. № 8.
2. Мигдал А.Б. Квантовая физика для больших и маленьких. М.: Наука. 1989. 144с. (Б-чка “Квант”. Вып. 75).
3. Нанотехнологии: Азбука для всех / под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: ФИЗМАТ ЛИТ, 2008.
4. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию: пер. с яп. / Н. Кобаяси. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
5. Хартманн У. Очарование нанотехнологии: пер. с нем. / У. Харт-манн. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
6. Демиховский В.Я. Квантовые ямы, нити, точки. Что это такое? / В.Я. Демиховский // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 5.
7. Гольдин Л.Л. Квантовая физика. Вводный курс / Л.Л. Гольдин, Г.И. Новикова. М.: Ин-т компьютерных исследований, 2005.
8. www.physikweb.org/article/news/7/6/16
9. <http://ru.wikipedia.org/>
10. В.В. Светухин и др. Введение в нанотехнологии. Под редакцией Б.М. Костишко, В.Н. Голованова. Ульяновск- 2008. 160с.
11. N.Raximov, R.Rasulov. Nanofizika va nanoelektronika asoslari. Namangan-2012. 118-bet.
12. Н.И. Минько, В.В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев. Методы получения и свойства нанообъектов. Учебное пособие. – М.: Флинта: Наука, 2009. – 168с.

**Hakim Olimjonovich Abdullayev,
Sardorbek Umarjon o'g'li Abdulboriyev**

NANOTEXNOLOGIYAGA KIRISH

(O'QUV-USLUBIY QO'LLANMA)

UDK 658.51(075.3)

BBK 30.6 ya 721

B 24

ISBN 978-5-88866-329-5

Muharrir G. H. Abdullayeva.
Kompyuterda sahifalovchi D. H. Abdullayev.

Qo‘llanma Namangan davlat universiteti o‘quv-uslubiy boshqarmasining 2012 yil
« » - yig‘ilishida muhokama qilib, chop etishga tavsiya qilingan.

© Namangan davlat universiteti 2012 yil