NANOTEXNOLOGIYALARNING QO'LLANILISH SOHALARI: ILMIY ASOSLARI, AMALIY YUTUQLARI VA ISTIQBOLLARI

Boboqulova Muxtaram Xamroyevna
Osiyo xalqaro universiteti "Aniq fanlar va raqamli texnologiyalar" kafedrasi o'qituvchisi
e-mail:muxtaramboboqulova02@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.24415848

Annotatsiya

XXI asr fan va texnikasining eng muhim yo'nalishlaridan biri nanotexnologiyalardir. Bu soha moddani atom va molekulalar darajasida, ya'ni 1 dan 100 nanometrgacha bo'lgan o'lchamlarda boshqarish, o'rganish va undan foydalanish bilan shug'ullanadi. Bir nanometr metrning milliarddan bir qismiga teng. Taqqoslash uchun: inson sochining qalinligi taxminan 80–100 ming nanometr, DNK qo'sh spiralining diametri esa 2 nanometr atrofida.Nanotexnologiyalarning ahamiyati shundaki, bu o'lchamlarda moddalar o'zining odatiy xossalaridan tubdan farq qiluvchi yangi fizik, kimyoviy va biologik xususiyatlarga ega bo'ladi. Masalan, oddiy holatda kimyoviy jihatdan passiv bo'lgan oltin nanozarralar shaklida faol katalizatorga aylanadi, rangi esa sariqdan qizil yoki binafsha rangga o'zgaradi. Aynan shu xususiyatlar insoniyatga ilgari erishib bo'lmagan imkoniyatlarni ochmoqda.

Kalit so'zlar: nanotexnologiya, nanomaterial, nanozarra, grafen, uglerod nanonaychalari, kvant nuqtalar, nanotibbiyot, nanoelektronika, nanotoksikologiya.

Kirish

Bugungi kunda nanotexnologiyalar fanlararo yo'nalish sifatida fizika, kimyo, biologiya, tibbiyot, materialshunoslik va muhandislikni birlashtiradi. Ular smartfonlardagi protsessorlardan tortib saraton kasalligini davolash usullarigacha, quyosh panellaridan suv tozalash filtrlarigacha bo'lgan keng doirada qo'llanilmoqda.Nanotexnologiya g'oyasining ilk bor ilmiy asosda bayon etilishi amerikalik fizik Richard Feynman nomi bilan bog'liq. U 1959-yilda Kaliforniya texnologiya institutida "Pastda joy ko'p" ("There's Plenty of Room at the Bottom") nomli ma'ruza qilib, moddani alohida atomlar darajasida boshqarish imkoniyati haqida fikr bildirgan."Nanotexnologiya" atamasini 1974-yilda yapon olimi Norio Taniguchi ilmiy muomalaga kiritgan. 1986-yilda Erik Dreksler "Yaratish mashinalari" ("Engines of Creation") kitobida molekulyar nanotexnologiya g'oyalarini keng ommaga tanishtirdi.

Sohaning amaliy rivojida quyidagi kashfiyotlar hal qiluvchi ahamiyatga ega bo'ldi:

1981-yil – G. Binnig va H. Rorer tunnel skanerlovchi mikroskopni (TSM) yaratdi. Bu qurilma alohida atomlarni ko'rish va ularni siljitish imkonini berdi. Mualliflar 1986-yilda Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi.

1985-yil – R. Kerl, H. Kroto va R. Smolli fullerenlarni (C_{60} molekulasini) kashf etdi (1996-yilgi kimyo bo'yicha Nobel mukofoti).

1986-yil – atom-kuch mikroskopi yaratildi.

1991-yil – yapon olimi S. Iijima uglerod nanonaychalarini tavsifladi.

2004-yil – A. Geym va K. Novoselov grafenni ajratib oldi (2010-yilgi fizika bo'yicha Nobel mukofoti).

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

2023-yil – M. Bavendi, L. Brus va A. Yekimov kvant nuqtalarini kashf etgani va sintez qilgani uchun kimyo bo'yicha Nobel mukofotini oldi.Nanomateriallarning noyob xossalari ikki asosiy omil bilan tushuntiriladi.

Birinchisi – sirt effekti. Zarra kichiklashgani sari uning sirt yuzasining hajmiga nisbati keskin ortadi. Masalan, 5 nanometrli zarrada atomlarning salmoqli qismi sirtda joylashgan bo'ladi. Sirtdagi atomlar ichkaridagilarga nisbatan faolroq bo'lgani uchun nanomateriallar yuqori kimyoviy va katalitik faollikka ega.

Ikkinchisi – kvant o'lcham effekti. Zarra o'lchami elektronning to'lqin uzunligiga yaqinlashganda energiya sathlari diskret holatga keladi. Natijada materialning optik, elektr va magnit xossalari o'lchamga bog'liq bo'lib qoladi. Masalan, kadmiy selenid kvant nuqtalari faqat o'lchamini o'zgartirish orqali ko'kdan qizilgacha bo'lgan turli ranglarda nur sochishi mumkin.

Nanomateriallar o'lchamlar soniga ko'ra quyidagicha tasniflanadi:

Tur	Tavsifi	Misollar
Nol o'lchamli (0D)	Uchala yo'nalishda ham nanoshkalada	Nanozarralar, kvant nuqtalar, fullerenlar
Bir o'lchamli (1D)	Ikki yo'nalishda nanoshkalada	Nanonaychalar, nanosimlar, nanotolalar
Ikki o'lchamli (2D)	Bir yo'nalishda nanoshkalada	Grafen, molibden disulfid, nanoplyonkalar
Uch o'lchamli (3D)	Nanotuzilmali yaxlit materiallar	Nanokompozitlar, aerogellar, nanog'ovak materiallar

Kimyoviy tarkibiga ko'ra esa uglerodli (grafen, nanonaychalar), metall (oltin, kumush, platina), metall oksidli (titan dioksid, rux oksidi, temir oksidi), polimer va lipid asosidagi nanomateriallar farqlanadi.

Nanomateriallarni olishning ikki asosiy yondashuvi mavjud:

1. **"Yuqoridan pastga" yondashuvi** – katta materialni maydalash yoki unga ishlov berish orqali nanotuzilmalar hosil qilish. Bunga mexanik maydalash, litografiya, lazer bilan ablyatsiya qilish kiradi. Mikroelektronikadagi fotolitografiya bu yondashuvning eng muhim namunasidir.
2. **"Pastdan yuqoriga" yondashuvi** – atom va molekulalardan nanotuzilmalarni yig'ish. Bunga kimyoviy bug'dan cho'ktirish, zol-gel usuli, kolloid sintez, o'z-o'zidan yig'ilish (self-assembly) jarayonlari kiradi.

So'nggi yillarda o'simlik ekstraktlari va mikroorganizmlar yordamida nanozarralar olishga asoslangan "yashil sintez" usullari ham faol rivojlanmoqda. Ular zaharli kimyoviy moddalardan foydalanishni kamaytiradi.

An'anaviy dorilar organizm bo'ylab bir tekis tarqaladi va sog'lom hujayralarga ham ta'sir qiladi. Nanotashuvchilar esa dori moddasini bevosita kasallangan to'qimaga yetkazish imkonini beradi. Buning natijasida davolash samaradorligi ortadi, nojo'ya ta'sirlar esa kamayadi.

Asosiy nanotashuvchilar quyidagilar:

Liposomalar – lipid qobiqli pufakchalar. 1995-yilda AQShda ruxsat etilgan Doxil preparati (liposomal doksorubitsin) birinchi nanodori sifatida tarixga kirgan.

Polimer nanozarralar – dori moddasini asta-sekin ajratib chiqaradi.

Albumin nanozarralari – masalan, Abraxane preparati (paklitakselning albumin bilan birikmasi) ko'krak va oshqozon osti bezi saratonini davolashda qo'llaniladi.

Dendrimerlar – shoxlangan tuzilishga ega sun'iy makromolekulalar.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

O‘sma to‘qimalarida qon tomirlari devori g‘ovakroq bo‘lgani uchun nanozarralar u yerda ko‘proq to‘planadi. Bu hodisa “o‘tkazuvchanlik va ushlab qolishning kuchaygan effekti” (EPR effekti) deb ataladi va saraton nanodorilarining asosiy ishlash tamoyillaridan biridir.

Lipid nanozarralar (LNZ) nanotibbiyotning eng katta amaliy yutug‘i bo‘ldi. 2018-yilda ruxsat etilgan patisiran preparati kichik interferensiyalovchi RNKni lipid nanozarralar yordamida jigarga yetkazuvchi birinchi dori bo‘ldi.

COVID-19 pandemiyasi davrida yaratilgan mRNK vaksinalari ham aynan lipid nanozarralarga asoslangan. Nanozarra nozik mRNK molekulasini parchalanishdan himoya qiladi va uni hujayra ichiga kiritadi. Bu texnologiya milliardlab dozada qo‘llanildi. mRNK asosidagi vaksinalarni yaratishga asos bo‘lgan kashfiyotlari uchun K. Kariko va D. Vaysman 2023-yilda fiziologiya va tibbiyot bo‘yicha Nobel mukofotiga sazovor bo‘ldi.

Nanotexnologiyalar kasalliklarni erta bosqichda aniqlash imkonini bermoqda:

Tezkor testlar. Homiladorlik testlari va koronavirusga qarshi tezkor antigen testlarida oltin nanozarralar qo‘llaniladi. Ular test chizig‘ida ko‘rinadigan rangni hosil qiladi.

Kontrast moddalar. Temir oksidi nanozarralari magnit-rezonans tomografiyada tasvir aniqligini oshiradi.

Biosensorlar. Grafen va uglerod nanonaychalari asosidagi sensorlar qondagi glyukoza, oqsil markerlari va viruslarni juda past konsentratsiyalarda aniqlay oladi.

Kvant nuqtalar hujayralar va to‘qimalarni lyuminessent nishonlash uchun ishlatiladi.

Zamonaviy elektronika amalda allaqachon nanotexnologiyaga aylangan. Mikroprotsessorlardagi tranzistorlar soni Mur qonuniga muvofiq taxminan har ikki yilda ikki baravar oshib keldi. Bugungi eng ilg‘or ishlab chiqarish jarayonlari “3 nanometrli” va “2 nanometrli” texnologiyalar deb ataladi. Bitta zamonaviy protsessorda o‘n milliardlab tranzistor joylashgan.

Tranzistorlarni yanada kichraytirish uchun yangi uch o‘lchamli tuzilmalar – FinFET va “zatvor har tomondan o‘ralgan” (GAA) tranzistorlar ishlab chiqilgan. Bunday murakkab tuzilmalarni yaratishda atom qatlamlarini birma-bir cho‘ktirish va ekstremal ultrabinafsha litografiya kabi nanotexnologik usullar hal qiluvchi o‘rin tutadi.Kvant nuqtalar asosidagi displeylar (QLED) yorqin va toza ranglarni beradi hamda televizor va monitorlarda keng tarqalgan. Nanotuzilmali yorug‘lik diodlari, fotodetektorlar va optik tolali aloqa qurilmalari ham nanotexnologiyalar mahsulidir.Qattiq disklardagi magnit qatlamlar va flesh-xotira yacheykalari nanometr o‘lchamida ishlab chiqariladi. Spintronika – elektronning spinidan foydalanuvchi elektronika ham nanotuzilmalarga asoslanadi. Kvant kompyuterlarining kubitlari ham ko‘pincha nanoshkaladagi o‘ta o‘tkazgich yoki yarimo‘tkazgich tuzilmalar ko‘rinishida yaratiladi.

Nanotexnologiyalar quyosh elementlarining samaradorligini oshirish va tannarxini pasaytirishda muhim o‘rin tutadi:

yorug‘likni aks ettirmaydigan nanotuzilmali qoplamalar ko‘proq nur yutish imkonini beradi;

perovskit quyosh elementlari – nanokristall tuzilmali yangi materiallar bo‘lib, ular so‘nggi o‘n yil ichida samaradorlik bo‘yicha kremniy elementlariga yaqinlashdi; kremniy bilan birgalikdagi (tandem) elementlar esa undan ham yuqori ko‘rsatkichga erishmoqda;

kvant nuqtali va bo‘yoq bilan sezgirlashtirilgan quyosh elementlari ham tadqiq qilinmoqda.

Quyoshli kunlari ko‘p bo‘lgan O‘zbekiston uchun bu yo‘nalish alohida ahamiyatga ega.Litiy-ion akkumulyatorlarining sig‘imi, quvvati va xizmat muddatini oshirishda nanomateriallar keng qo‘llaniladi. Nanotuzilmali kremniy anodlar grafitga nisbatan bir necha baravar ko‘p litiy sig‘dira oladi. Uglerod

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

nanonaychalari esa elektrodlarning elektr o'tkazuvchanligini yaxshilaydi. Grafen va faollashtirilgan uglerod asosidagi superkondensatorlar juda tez zaryadlanish va zaryadsizlanish xususiyatiga ega.

Katalizatorlar nanozarralar shaklida bo'lganda sirt yuzasi kattaligi tufayli kamroq qimmatbaho metall sarflanadi. Avtomobillarning chiqindi gazlarni neytrallovchi qurilmalari, neftni qayta ishlash va kimyo sanoati nanokatalizatorlarsiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Vodorodli yonilg'i elementlarida platina nanozarralari qo'llaniladi. Suvni elektroliz yoki fotokataliz orqali parchalab "yashil vodorod" olish uchun ham nanokatalizatorlar ishlab chiqilmoqda.Nanog'ovak aerogellar dunyodagi eng yaxshi issiqlik izolyatsiyalovchi materiallardan biridir. Issiqlikni aks ettiruvchi nanoqoplamali oynalar binolarni isitish va sovutishga sarflanadigan energiyani kamaytiradi. Nanomoylar va nanoqoplamalar mexanizmlardagi ishqalanishni kamaytirib, yonilg'i tejalishiga xizmat qiladi.

Toza ichimlik suvi taqchilligi dunyoning ko'plab mintaqalari, jumladan Markaziy Osiyo uchun ham dolzarb muammodir. Nanotexnologiyalar bu muammoni hal qilishda yangi vositalarni taklif etadi:

Nanofiltratsiya va teskari osmos membranalari suvni tuzlar, og'ir metallar, bakteriyalar va viruslardan tozalaydi. Ular sho'r suvlarni chuchuklashtirishda ham qo'llaniladi.

Grafen oksidi membranalari kelajakda suvni arzonroq va samaraliroq tozalash imkonini berishi kutilmoqda.

Nolvalentli temir nanozarralari yer osti suvlari va tuproqni xlorli organik birikmalar hamda og'ir metallardan tozalashda qo'llaniladi.

Titan dioksidi fotokatalizatorlari quyosh nuri ta'sirida suv va havodagi organik ifloslantiruvchilarni parchalaydi.

Nanosorbentlar neft to'kilishi oqibatlarini bartaraf etishda va radioaktiv moddalarni ushlab qolishda samarali.

Nanosensorlar havo va suv sifatini real vaqtda kuzatish imkonini beradi.

Nanotexnologiyalar qishloq xo'jaligida resurslarni tejash va hosildorlikni oshirish vositasi sifatida qaralmoqda:

Nanoog'itlar ozuqa moddalarini o'simlikka asta-sekin va aniq yetkazadi. Bu o'g'it sarfini va uning suvga yuvilib ketishini kamaytiradi.

Nanopestitsidlar ta'sir etuvchi moddani kapsulalab, uning kamroq miqdorda samarali ishlashini ta'minlaydi.

Nanosensorlar tuproq namligi, ozuqa tarkibi va o'simlik kasalliklarini erta aniqlab, aniq dehqonchilik tizimlarining asosini tashkil etadi.

Nanozarralar bilan urug'larga ishlov berish unuvchanlik va qurg'oqchilikka chidamlilikni oshirishi bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda.

Gidrogellar va nanokompozit tuproq yaxshilagichlar namlikni uzoqroq saqlaydi. Bu suv tanqis va sho'rlangan yerlar uchun muhim.

Uglerod nanonaychalari va grafen qo'shilgan kompozitlar yengil, ammo o'ta mustahkam bo'ladi. Ular aviatsiya, kosmonavtika, avtomobilsozlik va sport anjomlari ishlab chiqarishda qo'llaniladi. Nanokristall metallar va qotishmalar oddiy metallarga qaraganda qattiqroq va yeyilishga chidamliroq bo'ladi.

Nanokremnezem va boshqa nanoqo'shimchalar betonning mustahkamligini oshiradi hamda uning g'ovakligini kamaytiradi.

Titan dioksidi qoplamali **o'z-o'zini tozalovchi oynalar** quyosh nuri va yomg'ir ta'sirida ifloslikdan tozalanadi.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Lotus bargi effektiga asoslangan suv itaruvchi qoplamalar bino sirtlarini namlik va ifloslanishdan himoya qiladi.

Nanoqoplamalar metall konstruksiyalarni korroziyadan saqlaydi.

Nanomateriallarni foydali qiladigan xususiyatlar – kichik o'lcham va yuqori faollik – ayni paytda ularning xavfli bo'lishi mumkinligini ham bildiradi. Nanozarralar:

nafas yo'llari orqali o'pkaning chuqur qismlariga yetib borishi;

hujayra membranalaridan o'tib, oksidlovchi stress va yallig'lanishni keltirib chiqarishi;

ba'zi hollarda qon-miya to'sig'idan o'tishi mumkin.

Tadqiqotlar uzun va qattiq uglerod nanonaychalarining o'pkaga ta'siri asbest tolalariga o'xshash bo'lishi mumkinligini ko'rsatgan. Shu sababli nanomateriallar bilan ishlovchi xodimlarni himoya qilish alohida ahamiyatga ega.Kumush nanozarralari kabi materiallar oqava suvlar orqali tabiatga tushib, foydali mikroorganizmlar va suv jonivorlariga zarar yetkazishi mumkin. Nanomateriallarning atrof-muhitda qanday o'zgarishi, to'planishi va oziq zanjiri bo'ylab harakatlanishi hali to'liq o'rganilmagan.Ko'plab mamlakatlar nanomateriallarga oid maxsus qoidalarni joriy etmoqda. Masalan, Yevropa Ittifoqida kosmetika mahsulotlari tarkibidagi nanomateriallar yorliqda "nano" belgisi bilan ko'rsatilishi shart. Kimyoviy moddalarni ro'yxatga olish tizimi (REACH) esa 2020-yildan boshlab moddalarning nanoshakllari haqida alohida ma'lumot taqdim etishni talab qiladi. Xalqaro standartlashtirish tashkiloti (ISO) nanotexnologiyalar bo'yicha atamalar va o'lchash usullarini belgilovchi standartlar ishlab chiqmoqda.

O'zbekistonda nanotexnologiyalar bo'yicha tadqiqotlar uchun mustahkam ilmiy zamin mavjud. Fizika, kimyo, yarimo'tkazgichlar va materialshunoslik sohalarida shakllangan ilmiy maktablar bu yo'nalishning asosini tashkil etadi. So'nggi yillarda sohaga e'tibor yanada kuchaydi:

Vazirlar Mahkamasining 2018-yil 27-apreldagi 311-son qarori bilan Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universitetida Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazi tashkil etilgan. Universitetda zamonaviy nanotexnologik uskunalar ishga tushirilmoqda.

Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 8-iyundagi 366-son qaroriga binoan Fanlar akademiyasining Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti qoshida ilmiy qurilmalardan jamoaviy foydalanish markazi tashkil qilingan.

Fanlar akademiyasining S. A. Azimov nomidagi Fizika-texnika instituti, Ilg'or texnologiyalar markazi va boshqa ilmiy muassasalarda nanomateriallar, quyosh energetikasi va biotexnologiyalar bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda.

Oliy ta'lim muassasalarida "Nanofizika", "Nanotexnologiyalar", "Mikroelektronika" kabi fanlar o'quv dasturlariga kiritilgan.Mamlakatimizning tabiiy, iqtisodiy va ijtimoiy sharoitlarini hisobga olgan holda quyidagi yo'nalishlar ustuvor deb hisoblanadi:

1. **Quyosh energetikasi** – yuqori samarali nanotuzilmali quyosh elementlari va qoplamalarini ishlab chiqish.
2. **Suv resurslarini tejash** – nanomembranalar asosida suvni tozalash va chuchuklashtirish, Orolbo'yi hududida ichimlik suvi muammosini hal qilish.
3. **Qishloq xo'jaligi** – sho'rlangan yerlar uchun nanoog'itlar, gidrogellar va nanosensorlarni joriy etish.
4. **To'qimachilik** – paxta tolasiga nanotexnologik ishlov berib, yuqori qo'shilgan qiymatli mahsulotlar ishlab chiqarish.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

5. **Tog'-kon va metallurgiya** – mahalliy xomashyodan (kremniy, rux, mis, oltin, nodir metallar) nanomateriallar olish.

6. **Tibbiyot va farmatsevtika** – nanodiagnostika vositalari va mahalliy nanopreparatlarni yaratish.

Xulosa

O'tkazilgan tahlil nanotexnologiyalar zamonaviy iqtisodiyot va jamiyat hayotining deyarli barcha sohalariga chuqur kirib borganini ko'rsatadi. Ularning asosiy afzalligi moddalarning nanoshkalada namoyon bo'ladigan noyob xossalaridan foydalanish imkoniyatidadir.

Tibbiyotda nanotexnologiyalar dori vositalarini manzilli yetkazish, kasalliklarni erta tashxislash va yangi avlod vaksinalarini yaratish imkonini berdi. Elektronikada ular hisoblash qurilmalari quvvatining uzluksiz o'sishini ta'minlamoqda. Energetika va ekologiyada esa qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish va atrof-muhitni muhofaza qilishning samarali vositasiga aylandi. Qishloq xo'jaligi, qurilish va to'qimachilikda resurslarni tejash va mahsulot sifatini oshirishga xizmat qilmoqda.

Shu bilan birga, nanomateriallarning inson salomatligi va atrof-muhitga ta'siri hali to'liq o'rganilmagan. Bu esa nanotoksikologik tadqiqotlarni kuchaytirish va mustahkam huquqiy tartibga solish tizimini yaratishni talab etadi.

O'zbekiston uchun nanotexnologiyalar quyosh energetikasi, suv resurslarini tejash, qishloq xo'jaligi, to'qimachilik va mahalliy xomashyoni chuqur qayta ishlash kabi ustuvor yo'nalishlarda iqtisodiyotni modernizatsiya qilishning muhim omili bo'lishi mumkin. Buning uchun ilmiy salohiyatni mustahkamlash, zamonaviy infratuzilmani rivojlantirish va xalqaro hamkorlikni kengaytirish zarur.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Feynman R. P. There's Plenty of Room at the Bottom // Engineering and Science. – 1960. – Vol. 23, No. 5. – P. 22–36.
2. Taniguchi N. On the Basic Concept of Nano-Technology // Proceedings of the International Conference on Production Engineering. – Tokyo, 1974.
3. Drexler K. E. Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology. – New York: Anchor Books, 1986.
4. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon // Nature. – 1991. – Vol. 354. – P. 56–58.
5. Novoselov K. S., Geim A. K. et al. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films // Science. – 2004. – Vol. 306. – P. 666–669.
6. Peer D., Karp J. M., Hong S. et al. Nanocarriers as an emerging platform for cancer therapy // Nature Nanotechnology. – 2007. – Vol. 2. – P. 751–760.
7. Hou X., Zaks T., Langer R., Dong Y. Lipid nanoparticles for mRNA delivery // Nature Reviews Materials. – 2021. – Vol. 6. – P. 1078–1094.
8. Mitchell M. J., Billingsley M. M., Haley R. M. et al. Engineering precision nanoparticles for drug delivery // Nature Reviews Drug Discovery. – 2021. – Vol. 20. – P. 101–124.
9. Qu X., Alvarez P. J. J., Li Q. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment // Water Research. – 2013. – Vol. 47. – P. 3931–3946.
10. Kah M., Tufenkji N., White J. C. Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection // Nature Nanotechnology. – 2019. – Vol. 14. – P. 532–540.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

11. Oberdörster G., Oberdörster E., Oberdörster J. Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles // Environmental Health Perspectives. – 2005. – Vol. 113. – P. 823–839.
12. Poland C. A. et al. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study // Nature Nanotechnology. – 2008. – Vol. 3. – P. 423–428.
13. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2018-yil 27-apreldagi "Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti Nanotexnologiyalarni rivojlantirish markazini tashkil etish to'g'risida"gi 311-son qarori. – lex.uz.
14. O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2020-yil 8-iyundagi 366-son qarori. – lex.uz.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.