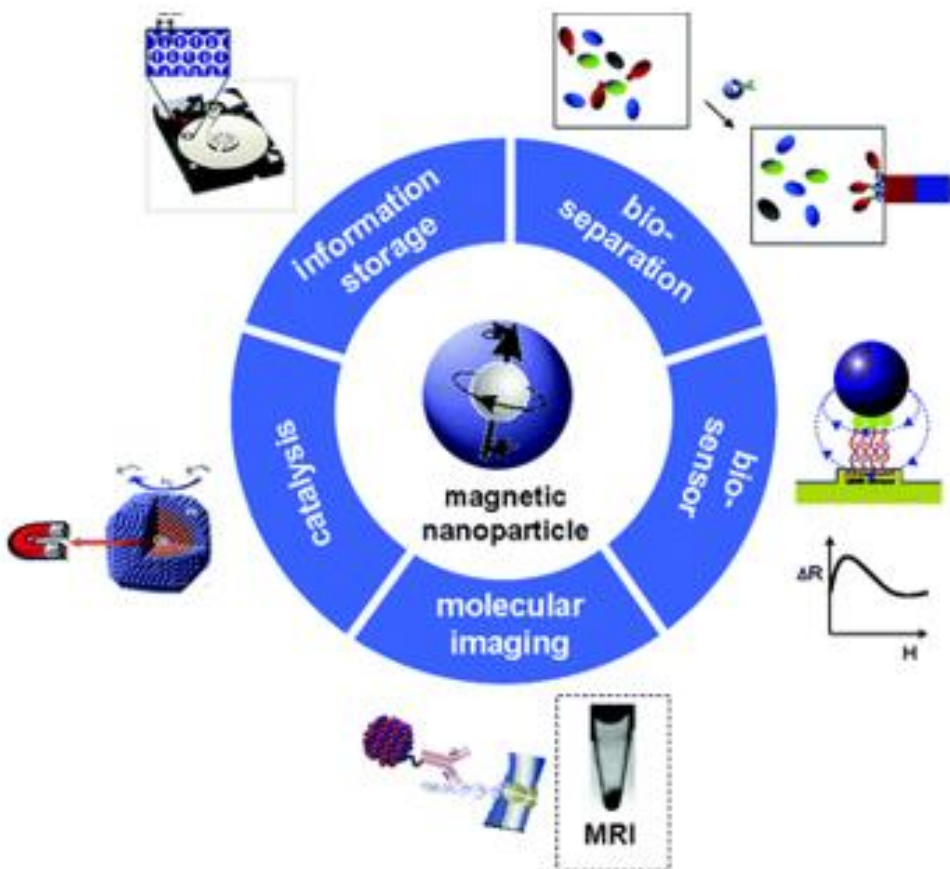




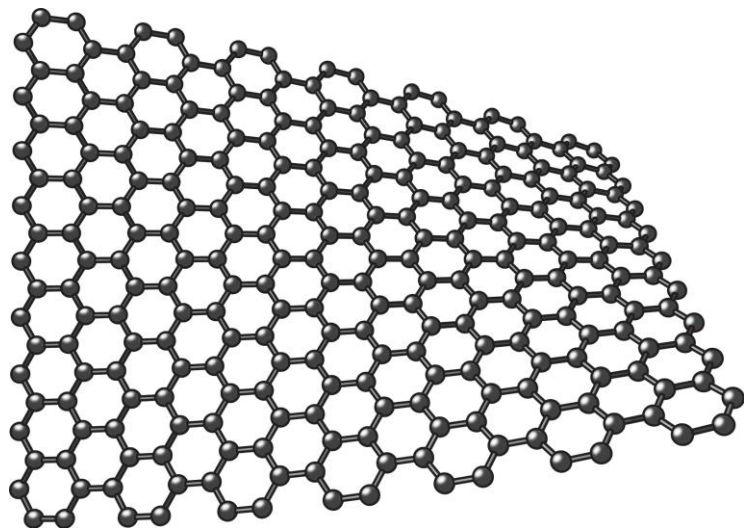
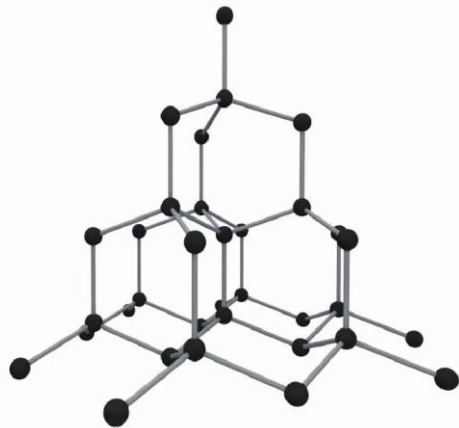
Дәріс 13 НАНОМАТЕРИАЛДАРДЫҢ ӨТКІЗГІШТІК ЖӘНЕ МАГНИТТІК ҚАСИЕТТЕРІ

7M07103 - Материалтану және жаңа материалдар технологиясы

Семестр: 1, күз, 2025- 2026 оқу жылы

Дәріскер – Керимкулова Алмагуль Рыскуловна

**Пән: РНУ7241 «НАНОМАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ
МЕН ҚАСИЕТТЕРІ**



Наноматериалдар қазіргі материалтану ғылымының қарқынды дамып келе жатқан бағыттарының бірі болып табылады. Бұл материалдардың құрылымдық элементтері өлшемі бойынша 1–100 нанометр аралығында шектеледі. Осындай шағын өлшемдерде заттардың физикалық қасиеттері айтарлықтай өзгереді, себебі **беттік атомдардың үлесінің артуы, кванттық эффектiлердiң пайда болуы және атомаралық өзара әрекеттесудiң өзгеруі** сияқты факторлар негiзгi рөл атқарады.

Наноөлшемдік аймаққа өткен кезде материалдардың электрөткізгіштік, магниттік, механикалық және оптикалық қасиеттері макродеңгейдегі ұқсас материалдарға қарағанда ерекшеленеді. Бұл құбылыс **кванттық шектеу эффектiсiмен және энергетикалық деңгейлердiң дискреттiлiгiмен** түсіндіріледі. Электрондардың қозғалыс еркіндігі азайған сайын өткізгіштік қасиет квантталып, материалдың электрлік мінез-құлқы өзгереді.

Сонымен қатар, бөлшек өлшемінің азаюы магниттік домендердің қайта құрылуына әсер етеді. Макроскопиялық ферромагниттік денелер бірнеше доменнен тұрса, наноөлшемге түскен бөлшектерде тек бір домен ғана қалып, ол **суперпарамагниттік күйге** өтуге бейім болады. Бұл құбылыс магниттік материалдардың энергетикалық тұрақтылығын арттырып, жаңа функционалдық қасиеттер тудырады.

Электр өткізгіштік табиғаты

Наноматериалдардағы электр өткізгіштік қасиеттер макродеңгейдегі материалдарға қарағанда өзгеше сипатқа ие. Өлшем азайған сайын электрондардың қозғалыс еркіндігі шектеліп, **кванттық шектеу эффектісі** пайда болады. Бұл құбылыс материалдың өткізгіштік қасиеттерін квантталуға әкеледі.

Электр өткізгіштік (σ) мәні келесі өрнекпен анықталады:

$$\sigma = ne\mu$$

мұндағы n – заряд тасымалдаушылардың концентрациясы, e – электрон заряды, μ – олардың қозғалғыштығы.

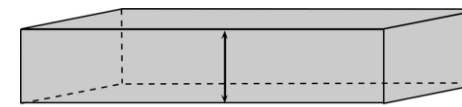
Наноөлшемді жүйелерде электрондардың шашырау ұзындығы үлкейіп, олардың қозғалысы **дискретті энергетикалық деңгейлер** арасында жүреді. Сондықтан өткізгіштік макродеңгейдегі үздіксіз емес, **сатылы (квантталған)** түрде байқалады.

Кванттық өткізгіштік шамасы:

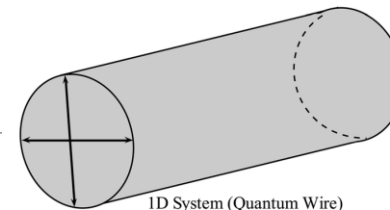
$$G = n \times \frac{2e^2}{h}$$

мұндағы G – өткізгіштік, h – Планк тұрақтысы. Бұл формула наноөлшемдегі сымдар мен кванттық нүктелер үшін негізгі заңдылықты сипаттайды.

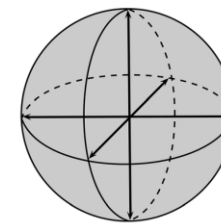
Көміртекті нанотүтікшелер мен графен сияқты құрылымдарда электрондардың қозғалысы баллистикалық сипатта жүреді, яғни электрондар шашырамай, жоғары жылдамдықпен өтеді. Нәтижесінде мұндай материалдар өте жоғары өткізгіштікке және аз кедергіге ие.



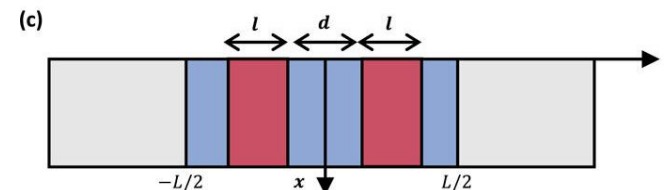
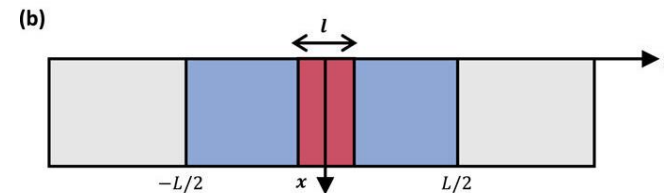
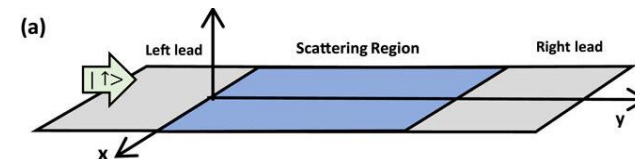
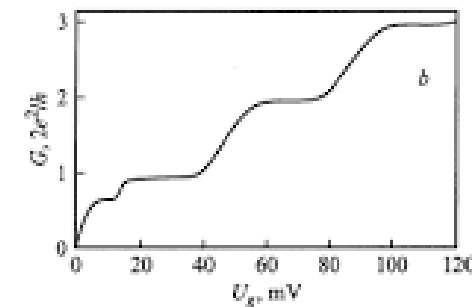
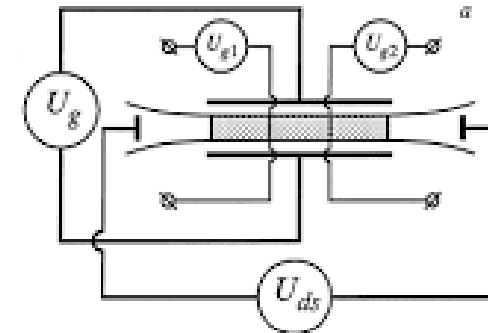
2D System (Quantum Well)



1D System (Quantum Wire)



0D System (Quantum Dot)

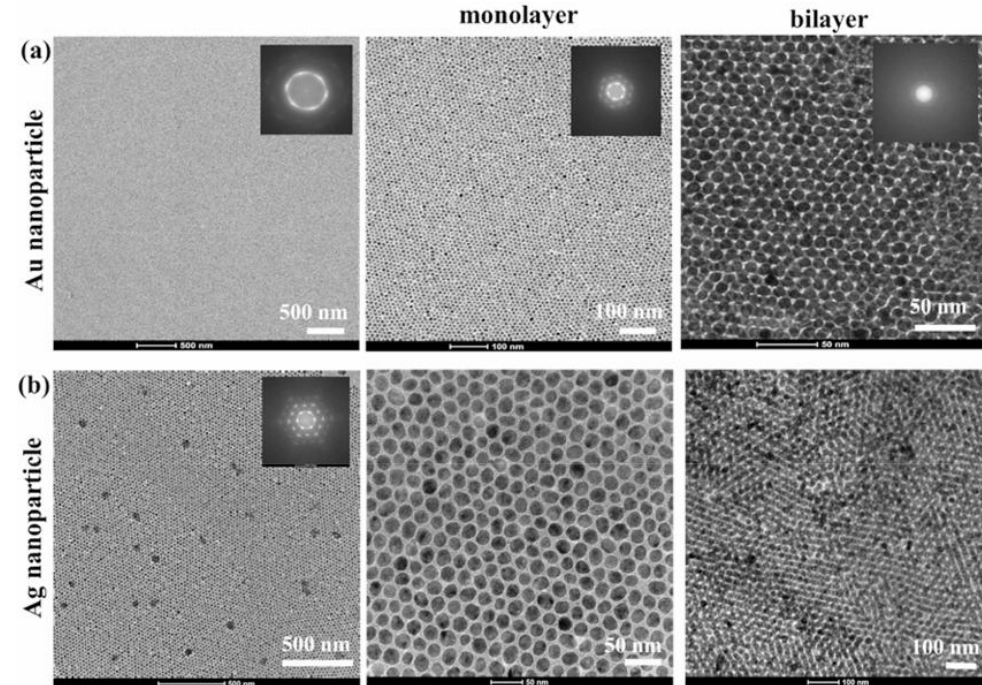
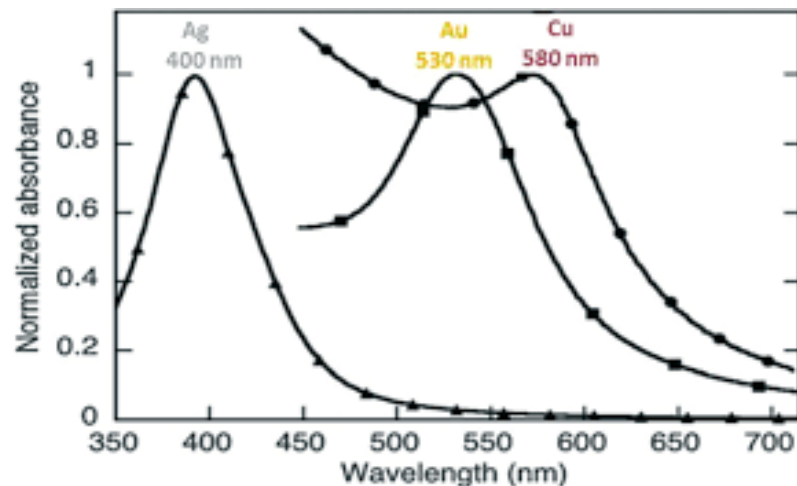


Металл нанобөлшектері және олардың өткізгіштік қасиеттері

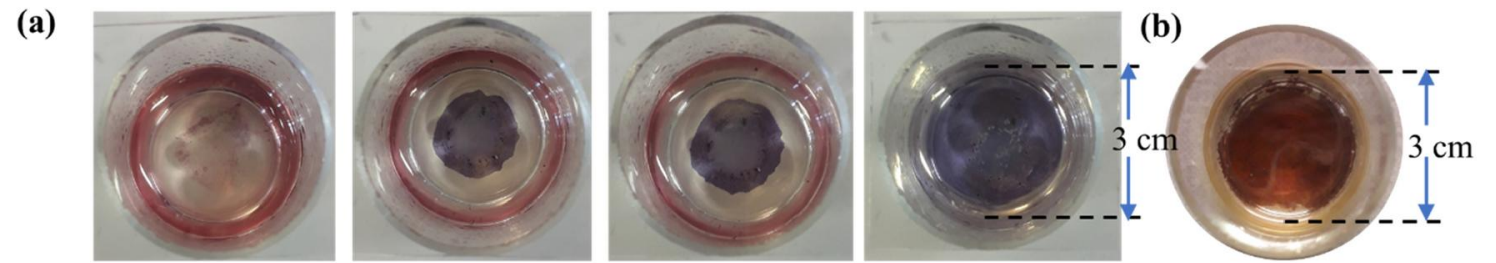
Металл нанобөлшектері – өлшемі наноауқымға дейін кішірейтілген металл құрылымдары болып табылады. Мұндай материалдарда электрондардың қозғалысы классикалық сипаттан ауытқып, **кванттық шектеу эффектісі** айқын байқалады. Өлшем азайған сайын электрондардың еркін қозғалыс ұзындығы материал өлшемімен салыстырмалы бола бастайды, нәтижесінде өткізгіштік қасиеттері өзгереді.

Металл нанобөлшектерінде беттік атомдардың үлесі жоғары болғандықтан, олардың **беттік энергиясы** артып, бұл электрөткізгіштік пен жылуөткізгіштіктің төмендеуіне әсер етеді. Сонымен қатар, электрондардың шашырау ықтималдығы өсіп, **кедергі (ρ)** мәні артады. Бұл құбылыс көбінесе *дисперсиялық шектеу* немесе *электрондардың диффузиялық шашырауы* деп аталады.

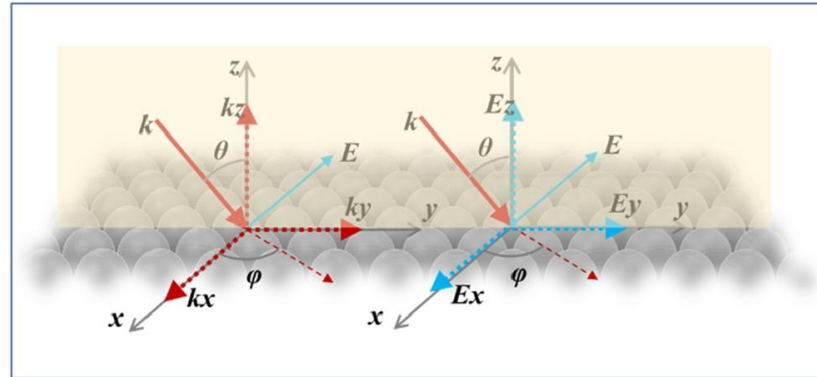
Бірақ наноөлшемді металдарда ерекше құбылыс – **плазмондық резонанс** байқалады. Бұл кезде жарық толқындарының жиілігі металл бетінде электрондардың ұжымдық тербеліс жиілігімен сәйкес келеді. Плазмондық резонанс алтын (Au), күміс (Ag) және мыс (Cu) нанобөлшектеріне тән және оларды оптоэлектроника мен сенсорлық технологияларда қолдануға мүмкіндік береді.



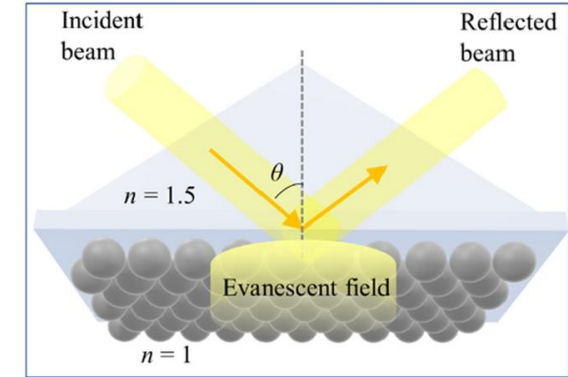
Өртүрлі ұзындық масштабтарында түсірілген (Au) және (Ag) нанобөлшектерінің өздігінен жиналған құрылымдарының ТЕМ суреттері.



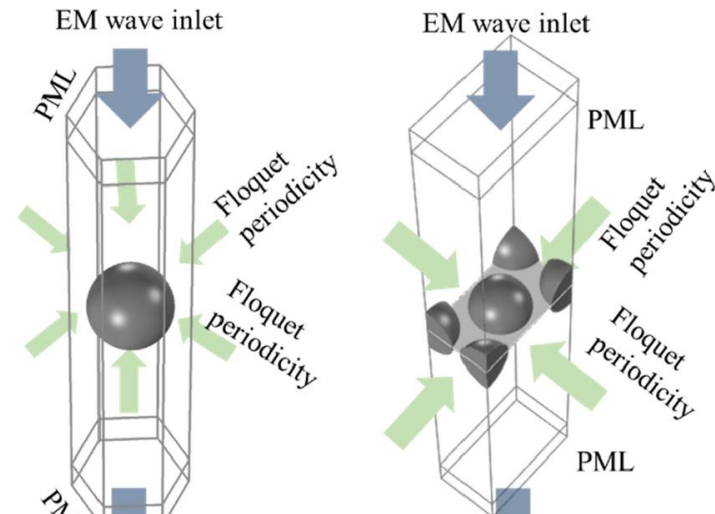
(c) Normal direct incidence configuration



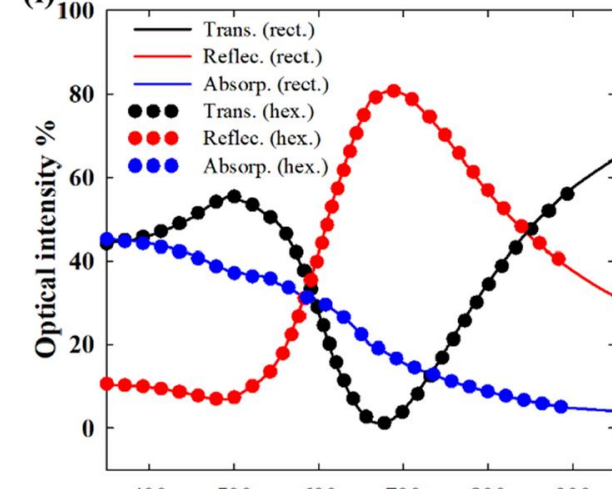
(d) Kretschmann configuration



(e)



(f)



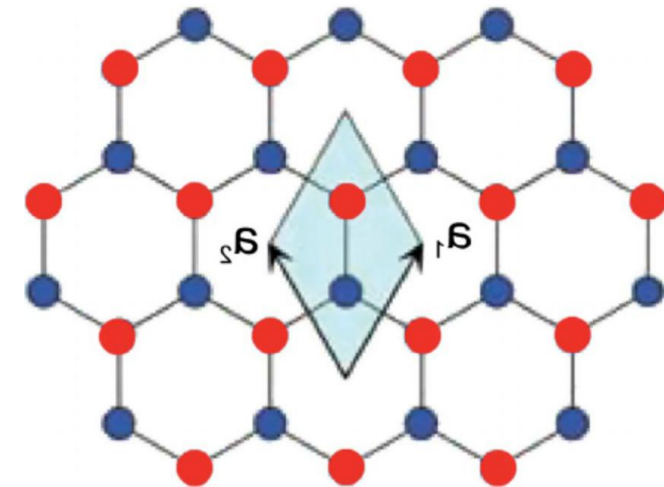
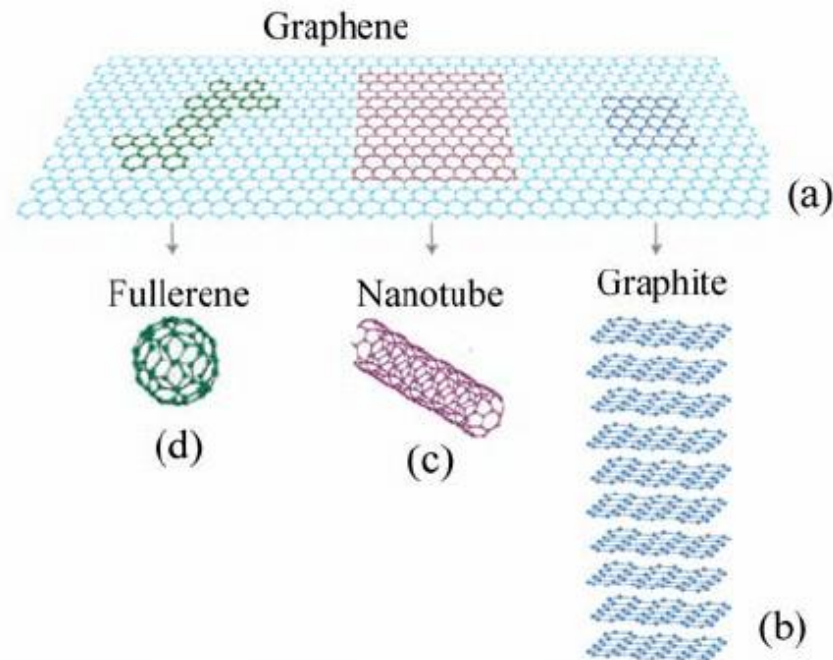
(Au) және (Ag) нанобөлшектерінің өздігінен жиналған қабықшасы және Кречман конфигурациясында (*плазмондық резонанс* құбылысын зерттеу мен пайдалану үшін қолданылатын *оптикалық сызба*) плазмондық резонанстың пайда болуын сипаттайтын схема.

Көміртекті нанотүтікшелер және графеннің өткізгіштік қасиеттері

Көміртекті нанотүтікшелер (CNT) және графен — қазіргі заманғы наноэлектроника мен материалтануда ең көп зерттелетін құрылымдар. Екеуі де көміртектің sp^2 -гибридтелген атомдары негізінде түзіледі және ерекше электрлік, механикалық және жылулық қасиеттерімен ерекшеленеді.

Графен — бір атомдық қабаттан тұратын көміртектің екіөлшемді кристалы. Оның тор құрылымы бал ұясына (гексагональды) ұқсайды. Графеннің электрондары Дирак фермиондары сияқты қозғалады, сондықтан оның **электр өткізгіштігі өте жоғары**, ал заряд тасымалдаушылардың қозғалғыштығы 10^4 – 10^5 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ деңгейінде болады.

Көміртекті нанотүтікшелер (CNT) — графен қабатының цилиндр түрінде шиыршықталған бірөлшемді түрі. CNT-де электрондардың қозғалысы кедергісіз, яғни **баллистикалық өткізгіштік** байқалады. Мұндай құрылымдарда электр тогы кванттық арналар арқылы өтеді, сондықтан олардың өткізгіштік қабілеті дәстүрлі металдарға қарағанда әлдеқайда жоғары.



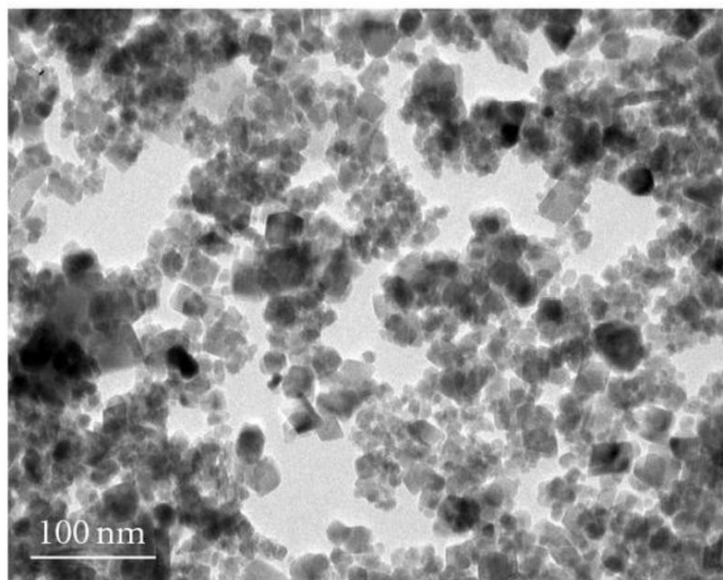
Графеннің бал ұясы тәрізді тор құрылымы.
 a_1 және a_2 векторларымен анықталатын элементар ұяшық А ішкі торына жататын екі атомды қамтиды.

Нанобөлшектердің магниттік қасиеттері

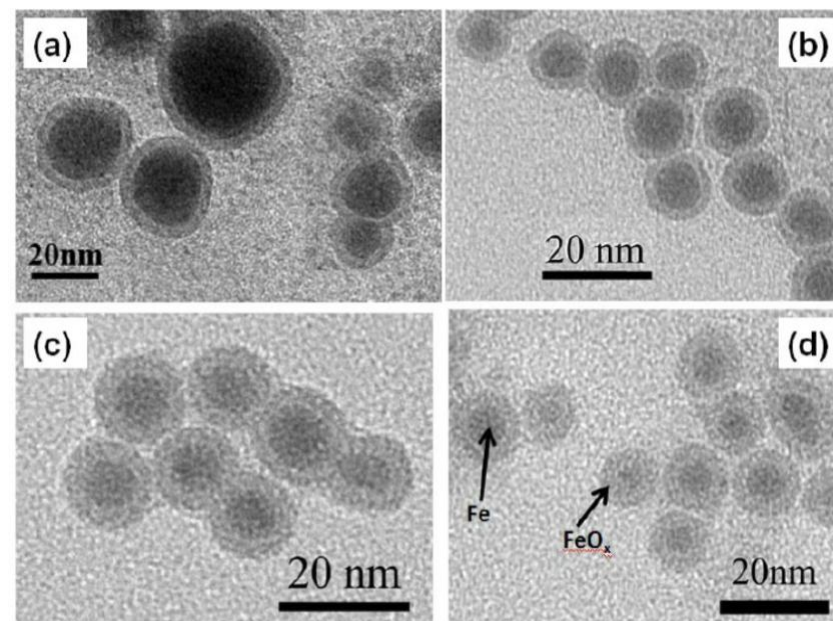
Нанобөлшектердің магниттік қасиеттері олардың өлшемі мен құрылымдық ерекшеліктеріне тікелей тәуелді. Макроскопиялық магниттік материалдар әдетте бірнеше **магниттік домендерден** тұрады, ал бөлшек өлшемі наномасштабқа дейін кішірейген кезде бұл домендер бір-бірімен бірігіп, біртұтас **бір домендік** күй түзеді.

Өлшемнің азаюы нәтижесінде материалдың магниттік мінез-құлқы классикалық ферромагниттік сипаттан **суперпарамагниттік күйге** ауысады. Бұл жағдайда әрбір нанобөлшек жеке магниттік моментке ие және сыртқы магнит өрісінің әсерінен бағытталады. Алайда, жылулық тербелістер әсерінен бұл моменттердің бағыттары тез ауысып отырады, сондықтан жалпы магниттелу нөлге жақындайды.

Мұндай қасиеттер **Fe_3O_4 (магнетит)**, **CoFe_2O_4** , және **NiFe_2O_4** сияқты ферриттік нанобөлшектерге тән. Олар жоғары магниттік сезімталдыққа және химиялық тұрақтылыққа ие. Бұл материалдар **магниттік-резонанстық томографияда (МРТ)** контраст агенттері ретінде, **дәрілік заттарды бағыттап жеткізуде**, сондай-ақ деректерді магниттік сақтау құрылғыларында кеңінен қолданылады.



Бұл суретте әр нанобөлшек бір магниттік доменнен тұрады — суперпарамагниттік күйдің негізгі белгісі.



Әртүрлі концентрацияларда алынған Fe нанобөлшектерінің формасы мен өлшемі көрсетілген. Кішірейген сайын магниттік домендер жалғыз күйге өтеді.

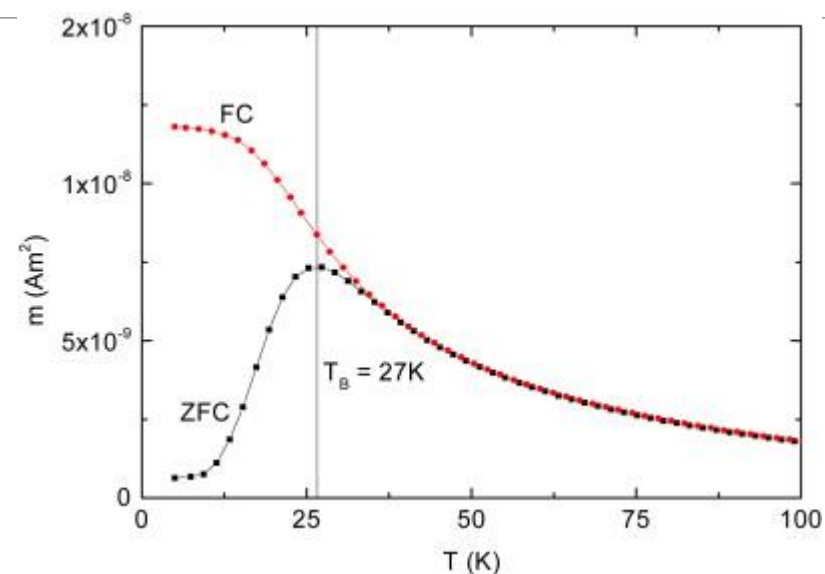
Суперпарамагнитизм құбылысы

Суперпарамагнитизм — бұл наноөлшемді ферромагниттік немесе ферриттік бөлшектерге тән ерекше магниттік күй. Бұл құбылыста әрбір нанобөлшек жеке магниттік домен ретінде әрекет етеді және өзіне тән магниттік моментке ие болады. Алайда бөлшек өлшемі азайған сайын жылулық энергия ($k_B T$) анизотропия энергиясына (KV) теңеседі, нәтижесінде бөлшектердің магниттік моменттері еркін түрде бағыт ауыстыра алады.

Бұл кезде материалдың жалпы магниттелуі сыртқы өріс болмаған жағдайда нөлге жақындайды, бірақ сыртқы магнит өрісін енгізгенде тез магниттеліп, өріс алынып тасталған соң қайта бейтарап күйге өтеді. Яғни, материал ферромагнитке ұқсас жауап береді, бірақ **гистерезисі болмайды** — бұл құбылыстың басты айырмашылығы.

Суперпарамагниттік қасиеттер көбінесе **магнетит (Fe_3O_4)**, **кобальт феррит (CoFe_2O_4)** және **никель феррит (NiFe_2O_4)** нанобөлшектерінде байқалады. Мұндай материалдар жоғары магниттік сезімталдыққа ие, сондықтан оларды **магниттік-резонанстық томографияда (МРТ)**, **дәрілік заттарды бағыттап жеткізу жүйелерінде**, және **гипертермиялық қатерлі ісік терапиясында** қолдану тиімді.

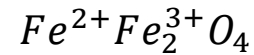
Суперпарамагнитизм құбылысы магниттік наноматериалдарды басқаруға және олардың қасиеттерін сыртқы өріс пен температура арқылы дәл реттеуге мүмкіндік береді.



Өртүрлі магниттік күйлердің салыстырмалы магниттелу (M) мен температура (T) тәуелділігі.

Магнетит (Fe_3O_4) нанобөлшектері

Магнетит (Fe_3O_4) — ең көп зерттелген және практикалық тұрғыдан маңызды магниттік наноматериалдардың бірі. Бұл материал **инвертті спинель типті құрылымға** ие, оның формуласы:



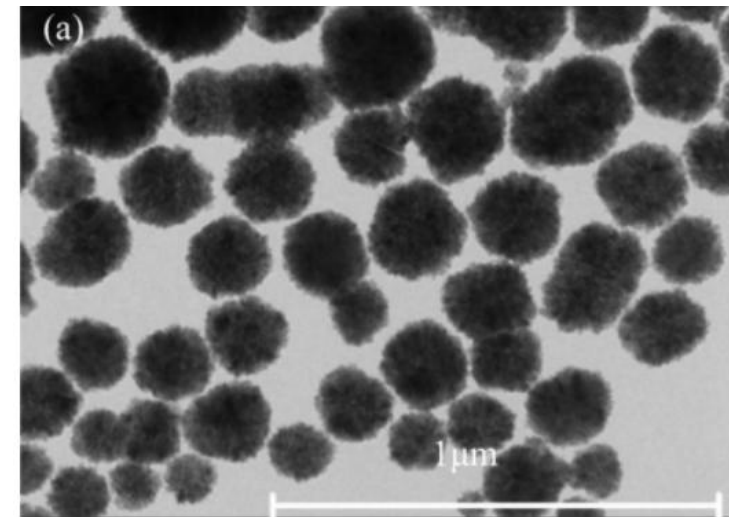
Мұндағы Fe^{2+} иондары октаэдрлік, ал Fe^{3+} иондары тетраэдрлік және октаэдрлік тор аралықтарын алма-кезек толтырады. Мұндай құрылым материалдың жоғары магниттік сезімталдығын және электрөткізгіштік қасиеттерін қамтамасыз етеді.

Магнетит нанобөлшектері өлшемі 5–30 нм аралығында болғанда **суперпарамагниттік күй** байқалады. Бұл жағдайда магниттік момент жылулық әсерге тәуелді түрде бағыт ауыстырады, сондықтан гистерезис құбылысы жойылады. Мұндай қасиет оларды **биомедициналық қолданбаларда** ерекше тиімді етеді.

Магниттелу дәрежесі (M) сыртқы магнит өрісі (H) мен температураға (T) тәуелді:

$$M = M_s \tanh\left(\frac{\mu_0 m H}{k_B T}\right)$$

мұндағы
 M_s — қанығу магниттелуі,
 μ_0 — вакуумның магниттік өтімділігі,
 m — бір бөлшектің магниттік моменті,
 k_B — Больцман тұрақтысы,
 T — температура.



Fe_3O_4 нанобөлшектерінің ТЭМ (тасымалдаушы электрондық микроскопия) кескіні

Кванттық эффектiлер және өлшемге тәуелдiлiк

Наноөлшемдiк материалдарда физикалық қасиеттердiң классикалық заңдылықтардан ауытқуы **кванттық өлшем эффектiлерiнiң** (quantum size effects) пайда болуымен түсiндiрiледi. Бұл эффект электрондар мен басқа да заряд тасымалдаушылардың қозғалысы кеңiстiктiк тұрғыдан шектелген кезде байқалады.

Материалдың өлшемі электрондардың де Бройль толқын ұзындығымен салыстырмалы болғанда, энергия деңгейлері үздіксіз емес, **дискретті** мәндерге айналады:

мұндағы

E_n — бөлшектің энергиясы,

h — Планк тұрақтысы,

m — электрон массасы,

L — нанокұрылымның тиімді өлшемі,

n — кванттық сан.

$$E_n = \frac{n^2 h^2}{8mL^2}$$

Бұл формула электронның энергиясы өлшемнің квадратына кері пропорционал екенін көрсетеді: бөлшек өлшемі азайған сайын энергия деңгейлері арасындағы айырмашылық артады. Осы себептен наноөлшемге өткенде материалдың **өткізгіштік, оптикалық және магниттік қасиеттері** түбегейлі өзгереді.

Кванттық эффектiлердiң үш негiзгi түрi ажыратылады:

- ❑ **Кванттық нүктелер (0D)** — электрон қозғалысы барлық бағытта шектелген;
- ❑ **Кванттық сымдар (1D)** — қозғалыс бір ғана бағытта еркін;
- ❑ **Кванттық қабықшалар (2D)** — қозғалыс екі бағытта еркін, ал бір бағытта шектелген.

Мұндай құрылымдарда электрон тығыздығы мен энергия таралуы өзгереді, сондықтан өткізгіштік қасиет сатылы сипатта байқалады. Бұл құбылыс **кванттық өткізгіштік** заңымен сипатталады:

мұндағы

G — өткізгіштік,

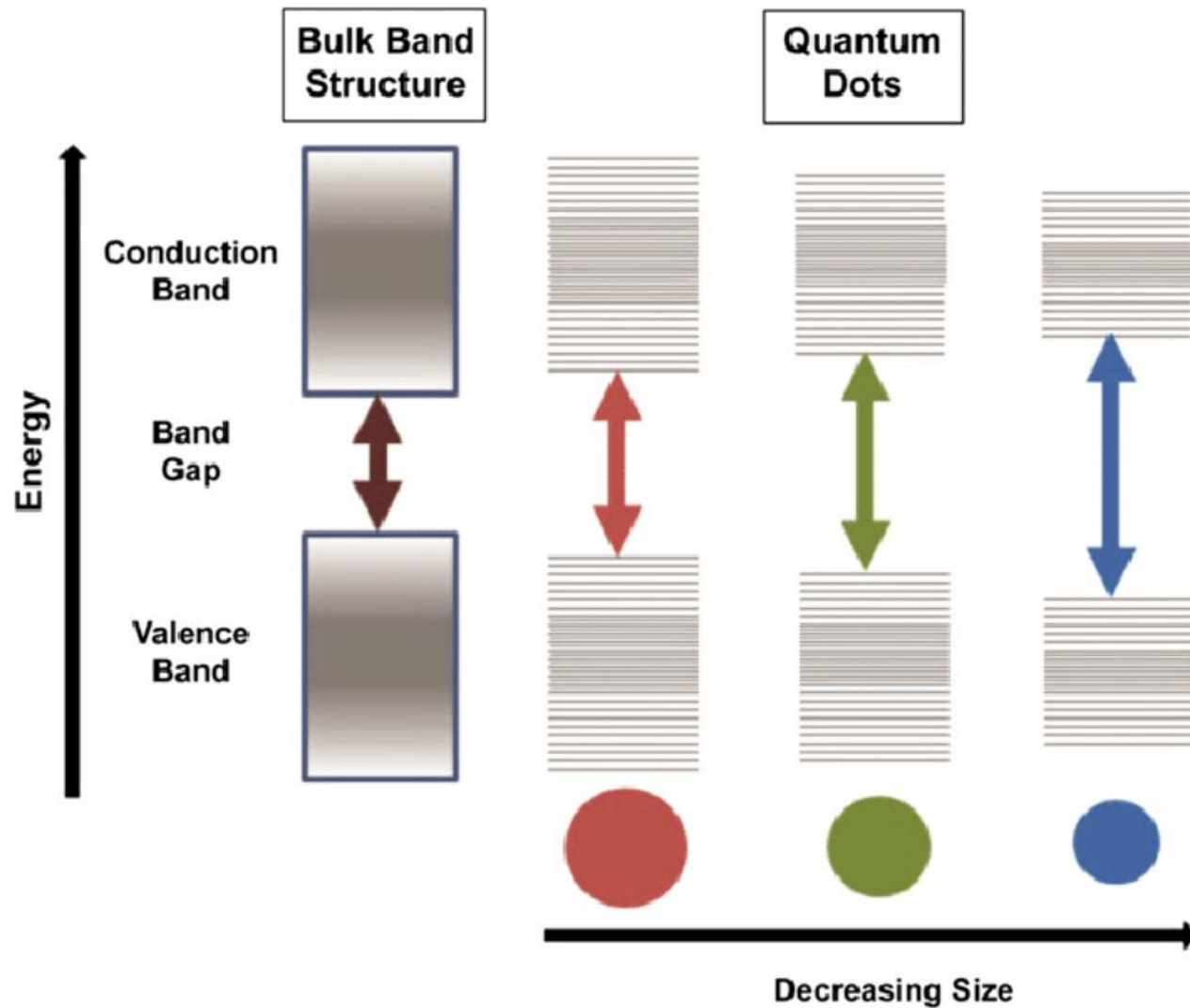
e — электрон заряды,

h — Планк тұрақтысы,

n — ашық кванттық арналардың саны.

$$G = n \times \frac{2e^2}{h}$$

Кванттық өлшем эффектiлерi **наносенсорлар, лазерлік диодтар, кванттық нүктелi дисплейлер, және наноэлектроника элементтерiнде** кеңiнен қолданылады. Бұл құбылыстардың зерттелуi жаңа буын **функционалды наноматериалдар** мен жоғары дәлдіктегі құрылғылардың дамуына негiз болады.



- Мұнда өлшем азайған сайын энергия деңгейлерінің бөлшектенуі айқын көрсетілген;
- Кванттық нүктелер мысалында энергияның дискреттілігі және электрон қозғалысының шектелуі жақсы көрінеді;
- Сол жақта көлем үлкен → үздіксіз деңгейлер, оң жақта көлем кішірейген сайын → дискретті деңгейлер.

Наноматериалдардың қолдану салалары

Сала	Негізгі наноматериалдар	Қолданылу бағыты / Мысал	Артықшылықтары
Электроника және энергия сақтау	Графен, CNT (көміртекті нанотүтікшелер), Si нанобөлшектері	Наноөткізгіштер, микрочиптер, литий-ионды аккумулятор анодтары	Жоғары электр өткізгіштік, жеңілдік, жылу тұрақтылығы
Медицина және биотехнология	Fe_3O_4 , CoFe_2O_4 , Au нанобөлшектері	MPT контраст агенттері, дәрі жеткізу жүйелері, қатерлі ісік терапиясы	Биосәйкестілік, мақсатты бағыттау, уыттылығы төмен
Сенсорика және экологиялық мониторинг	ZnO , TiO_2 , SnO_2 , Graphene Oxide	Газ және биосенсорлар, фотокаталитикалық тазарту	Жоғары сезімталдық, тез жауап беру, үлкен беткі аудан
Қорғаныс және құрылыс материалдары	SiO_2 , Al_2O_3 , TiN nanoқабықшалары	Антикоррозиялық жабындар, жеңіл композиттер	Беріктік, химиялық төзімділік, ультракүлгінге тұрақтылық
Ақпараттық технологиялар және спинтроника	FePt, CoPt, магниттік нанобөлшектер	Деректер сақтау құрылғылары, MRAM жад элементтері	Жоғары ақпарат тығыздығы, магнит өрісіне жоғары сезімталдық

Қорытынды

- **Наноматериалдардың өткізгіштік және магниттік қасиеттері** олардың өлшемдік эффектілерімен, яғни наномасштаптағы құрылымдық өзгерістермен тығыз байланысты.
- Материал өлшемі азайған сайын **кванттық шектеу құбылыстары** байқалып, электрондардың қозғалысы дискретті сипат алады. Нәтижесінде өткізгіштік кванты мен энергия деңгейлері өзгереді.
- **Металл нанобөлшектері мен графен тәрізді нанокұрылымдар** жоғары электр өткізгіштікке және аз кедергіге ие, сондықтан олар наноэлектроника мен энергия сақтау құрылғыларында маңызды орын алады.
- **Магниттік нанобөлшектер (Fe_3O_4 , CoFe_2O_4)** өздерінің суперпарамагниттік қасиеттерінің арқасында медицинада, әсіресе магниттік-резонанстық томографияда, дәрі жеткізу және қатерлі ісік терапиясында кеңінен қолданылады.
- Наноматериалдардың ерекше қасиеттері — **жоғары беттік аудан, кванттық өлшем эффектісі, және атомаралық өзара әрекеттесу ерекшелігі** — олардың физикалық, химиялық және биологиялық белсенділігін арттырады.
- Бұл қасиеттерді басқару мүмкіндігі қазіргі заманғы **наноэлектроника, спинтроника, биомедицина, және сенсорлық технологиялар** салаларында жаңа буын құрылғыларын әзірлеуге жол ашады.
- Нәтижесінде наноматериалдар қазіргі ғылым мен техникада стратегиялық маңызы бар бағыт ретінде қарастырылады және олардың зерттелуі материалтану дамуының негізгі басымдығы болып табылады.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

Негізгі әдебиеттер:

Мансұров З.А., Діністанова Б.Қ., Керімқұлова А.Р., Нәжіпқызы М. *Нанотехнология негіздері: оқу құралы*. – Алматы: Қазақ университеті, 2013. – 244 б.

Елисеев А.А., Лукашин А.В. *Функциональные наноматериалы*. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 456 с.

Gubin S.P. *Magnetic Nanoparticles: Preparation, Structure and Properties*. – Berlin: Springer, 2009. – 356 p.

Kumar N., Kumbhat S. *Essentials in Nanoscience and Nanotechnology*. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016. – 470 p.

Қосымша әдебиеттер:

5. Geim A.K., Novoselov K.S. *The Rise of Graphene*. // *Nature Materials*. – 2007. – Vol. 6. – P. 183–191.

6. Bayda S., Adeel M., Tuccinardi N., Cordani M., Rizzolio F. *The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine*. // *Molecules*. – 2020. – Vol. 25(1). – 112 p.

7. AlJahdaly B.A., Elsadek M.F., Ahmed B.M., Farahat M.F., Taher M.M., Khalil A.M. *Outstanding Graphene Quantum Dots from Carbon Source for Biomedical and Corrosion Inhibition Applications: A Review*. // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13(4). – Article ID 2127.

8. Wang Z., Hu T., Liang R., Wei M. *Application of Zero-Dimensional Nanomaterials in Biosensing*. // *Frontiers in Chemistry*. – 2020. – Vol. 8. – 320 p.