ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

МАГНИТ НАНОЗАРРАЛАРНИНГ БАЪЗИ ХОССАЛАРИ

У. Р. Рустамов
Чирчиқ давлат педагогика институти доценти
rustamov2110@mail.ru

К. Х. Маликов
Чирчиқ давлат педагогика институти ўқитувчиси.

АННОТАЦИЯ

Ушбу мақолада магнит нанозарраларнинг баъзи магнит хоссалари ва уларнинг қўлланилиши буйича шарҳлар берилган. Нанозарралар билан макроскопик материал магнит хоссалари фарқи тушунтирилган.

Калит сўзлар: нанозарра, наноматериал, магнетик, ферромагнит, магнитланиш эгрилиги, супер парамагнетизм, домен структура, магнит кластер, миктомагнетик, блоклаш температураси.

SOME PROPERTIES OF MAGNETIC NANOPARTS

U. R. Rustamov
Associate Professor of Chirchik State Pedagogical Institute
rustamov2110@mail.ru

K. X. Malikov
Teacher of Chirchik State Pedagogical Institute

ABSTRACT

This article provides comments on some of the magnetic properties of magnetic nanoparticles and their applications. The difference in the magnetic properties of a macroscopic material with nanoparticles is explained.

Keywords: nanoparticles, nanomaterial, magnetic, ferromagnetic, magnetization curve, super paramagnetism, domain structure, magnetic cluster, micomagnetic, blocking temperature.

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

КИРИШ

Охирги йилларда магнит наноматериаллар(НМ)соҳасида катта ўзгаришлар содир бўлди. Бу аввалambор, наноўлчамли магнит зарраларни ҳосил қилишнинг эффектив методларини ишлаб чиқиш ва нанозарраларни(НЗ)ларни тадқиқ қилишнинг физикавий методларининг ривожланиши билан боғлиқдир. Масалан, металл ёки оксидли НЗни феррисуюқликлар ва қаттиқ матрицалар ҳолатида ҳосил қилиш имкониятига эга бўлинди**.** Бундай материалларда бир қатор уникал физикавий эффектлар(гигант магнит қаршилик, аномал магнитокалорик эффект ва ҳ.к.) кузатилган. НЗ ҳолатида магнит материалларнинг асосий характеристикалари(туйиниш магнитланиш, коэрцитив куч ва ҳ.к.)нинг қийматлари, макро ҳажмли мос материалникига нисбатан катта бўлади. Таркибида НЗларни ўз ичига олган намуналарнинг магнит хоссаларини тадқиқ қилишда қўлланиладиган стандарт методлар:

1. Туйиниш магнитланиш эгрилигини ўлчаш.
2. Ташқи магнит майдон(ТММ) мавжуд бўлган ва бўлмаган ҳолатда гелий температурасидаги магнитланиш эгрилигини ўлчаш.

Айрим ҳолатда, турли температураларда ва ТММ кучланишига боғлиқ равишда магнитланиш эгрилиги аниқланади. Бундан ташқари, магнит НМларнинг ферромагнит резонанс ва Мессбауэр спектри магнетизми маълумотларидан фойдаланилади. Бу маълумотлар НЗлар магнетизмининг хусусиятлари ҳақида назариялар яратиш учун асос бўлиб хизмат қилади.

АДАБИЁТЛАР ТАҲЛИЛИ ВА МЕТОДОЛОГИЯ

НЗларда атом магнитланиши ва магнит анизотропияси, массив материалникига нисбатан сезиларли катта бўлади. Кюри ва Неел температураларучун бу фарқ 100 ºС ташкил этиши мумкин. НЗларнинг ўлчами, таркиби ва тузилишини ўзгартириб, улар асосидаги материалларнинг магнит характеристикаларини ўзгартириш мумкин. Буларнинг ҳаммаси информацияни ёзиб олиш ва сақлашга мўлжалланган системаларда, доимий магнитларни яратиш, магнит совутиш системаларда ва магнит сенсорлар яратиш учун, НМлардан фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Маълумотни магнит ёзиб олиш технологиясининг замонавий ҳолати ва перспектив амалий томонлари ҳақида [1] ишда ифодаланган. Ҳозирда маълумотни магнит ёзиб олиш муҳити сифатида ишлатиладиган дискларда $\gamma - Fe_2O_3$, $Co - \gamma - Fe_2O_3$, Fe ёки $Fe - Co$ таркибли микрон ўлчамли кукунлар ишлатилади. 1 бит информация

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

ёзиб олиш учун, 10^9 та атомдан фойдаланилади. 10 нм ўлчамли НЗ таркибида эса $10^3 - 10^4$ атом мавжуддир. НЗ магнит хоссаларининг, макроскопик материалникидан фарқини қуйидагича ифодалаш мумкин[2]:

1. Кўп доменли объектлар(> 1 мкм) – Бу объектларда Кюри температурасидан паст температурада спонтан магнитланиш содир бўлади. Домен структура пайдо бўлиши натижасида, магнит материалнинг натижавий магнит моменти камаяди.

2. Оралиқ соҳа(50÷1000 нм) - Материалнинг магнит характеристикалари уни тайёрлаш технологиясига боғлиқ бўлади.

3. Бир доменли магнит зарралар(1÷30 нм) – Изоляцияланган зарралар учун $Т_Б$ – блоклаш температураси шкаласида 2 - характерли нуқта мавжуд бўлиши мумкин. Паст $Т_Б$ температурада ва ТММ мавжуд бўлмаганда, иссиқлик флуктуацияси зарраларнинг магнит майдони кучланганлиги йўналишини ўзгартирмайди. НЗлар тўплами магнит гистерезисни намойиш қилади. Юқори $Т_Б$ температурада, магнит зарра суперпарамагнит(СПМ) ҳолатга ўтиб, спонтан магнитланиш ва магнит моментга эга бўлади. Ўзаро таъсирлашувчи зарралар бутун тўплам буйлаб тартибланиши мумкин. Бундай магнит НМда атомлар сони $\sim 6 \cdot 10^{23}$ дан кам бўлмайди. Шунингдек, унинг магнит хоссаларига ташқи шароит(температура, босим ва НЗнинг локал атроф-муҳити) таъсир этади. Материални ташкил қилган элементнинг магнит табиати ҳам муҳим ҳисобланади. Масалан, тенг ўлчамли кобальт(Co) ва гадолиний(Gd) НЗнинг магнит хоссалари турлича бўлиши мумкин.

Камида битта ферромагнит компонентани ўз ичига олган бирикмаларда, концентрация флуктуацияси ҳисобидан магнит кластерлар пайдо бўлиши мумкин. Бундай бирикмалар юқори температураларда СПМ зарралар бирлашмаси каби бўлади. Агар кластерлар орасидаги ўзаро таъсир ферромагнит характерда бўлса, паст температураларда оддий ферромагнит ўтиш содир бўлади. Агар магнит кластерлар, алоҳида магнит моментлар ҳолатида бўлса, паст температура кластерлар магнит моментларининг хаотик ориентациялари сақланади. Бундай магнит табиатли системалар миктомагнетиклар(mictomagnets) ёки кластер шишалар деб аталади. Кластерли шиша хоссалари, уни тайёрлаш шароити ва термик ишлов беришга кучли боғлиқ бўлади. Улар учун юқори температурада магнит гистерезиснинг катта қолдиқ магнитланиш ва магнит хоссалар қайтмаслигининг бошқа эффектлари характерлидир [2].

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

20 аср охирида турли электрон микроскоплардан воситасида наноўлчамли объектларнинг тасвирини олишга бевосита имкон берадиган методлар яратилди. Шунинг учун узоқ вақт давомида НЗларнинг мавжудлигини исботлаш, турли материалларнинг физикавий характеристикаларини ноодатий табиатини таҳлили натижаларига асосланган. НЗларнинг алоҳида объектлар сифатида ўрганилиши, уларнинг ноодатий магнит хоссаларини кузатишдан бошланган деб ҳисоблаш мумкин. 1930 йилларда Френкель ва Дорфман томонидан кичик ўлчамли зарраларнинг бир доменли бўлиши энергетик нуқтаи - назардан кўрсатилди. 20 аср ўрталарида бир доменли зарралар назарияси яратила бошланди ва улар билан боғлиқ ҳодисалар экспериментал ўрганила бошланди[3]. Бу тадқиқотлар ферроматериалларнинг кўп доменли структурага ўтишда коэрцитив кучларнинг сезиларли кучайишини кўрсатади. Бу ҳолат доимий магнит яратиш учун муҳим ҳисобланади [4].

Бир доменлилик критик диаметрини экспериментал аниқлаш қийин муаммо ҳисобланади. Ҳозирда магнит зарраларнинг кўп доменли структурасида бир доменли структура ўрнини бевосита кузатиш учун магнит куч микроскоп(MFM), микро-сквид(μ-SQUID) ва магнитланишни ўлчашда мўлжалланган бошқа приборлар мавжуд. [4] ишда, кобальт(Co)нинг доиравий юпқа заррасининг бир доменлилик критик диаметри 200 нм тенглиги аниқланган. Шундай қалинликли эллиптик зарра эса, 150 нм х 450 нм ўлчамда бир доменли ҳисобланади. Бу экспериментал аниқланган қийматлар, назарий ҳисобланган қийматлардан анча катта ҳисобланади[4].

НАТИЖАЛАР

Магнит НЗни бир доменли деб ҳисобланиши учун, унинг бутун ҳажми буйлаб бир жинсли магнитланиш эмас, балки домен “деворча”ларнинг мавжуд эмаслиги тахмин этилади. Бундан ташқари, бир доменлилик НЗнинг кичиклигини билдирмайди. Агар НЗ қанча кичик бўлса, унинг хоссалари массив материал хоссаларидан шунча катта фарқ қилиши мумкин. Агар НЗ сирт атомлари сонининг, унинг умумий атомлар сонига нисбати 0.5 кийматга қанча интилса, НЗнинг асосий физикавий хоссалари массив материалникидан фарқ шунча катта бўлади[4]. Бу хулосани магнит НЗларга нисбатан қўллаш [2] ишда таклиф этилган. Сиртнинг Δr қалинликда алмашиш боғлиқликлар қиймати, зарранинг ичидагига нисбатан 2 марта кам ва Кюри температураси $T_к$ эса алмашиш боғлиқликларнинг ҳажмий зичлигига пропорционал деб

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

ҳисоблаб, $T_к$ температуранинг магнетит зарранинг ўлчамига боғлиқлиги анализ қилинди[3]. Бундан кўринадики, Δr параметр, зарранинг r радиусига боғлиқдир. Магнетит учун $r \approx 20$ нм ўлчамда $\Delta r \to 0$ бўлади. Бир доменли зарра радиуси камайганда, Δr қиймати ортади, масалан, $r \approx 2.8$ нм учун $\Delta r \approx 0.5$ нм бўлади. Яъни зарра ўлчами қанча кичик бўлса, магнит НЗ учун Δr катталик дефект параметр сифатида ҳисоблаш мумкин. [2] иш маълумотлари ва [3] ишдаги уларнинг таҳлили кўрсатадики, НЗлар бир доменли бўлиб ҳам, массив материалники каби хоссаларга эга бўлиши мумкин.

МУҲОКАМА

Фақат бир доменли зарра ўлчамидан кичик ўлчамларда, нанозаррага хос бўлган хоссалар намоён бўла бошлайди. НЗларнинг яна бир хусусияти - суперпарамагнетизмдир(СПМ). 20 аср ўрталарида, СПМ хусусияти НЗлар мавжудлигини экспериментал аниқлашга имкон беради. Маълумки, парамагнит магнит моментининг ТММ кучланганлигига(Н) боғлиқлиги Бриллюэн функцияси орқали ифодаланади:

$$P = B\frac{P_э H}{кT} \qquad (1)$$

$P_э$ – атом(молекула ва ҳ.к.)нинг эффектив магнит моменти. Зарранинг магнит моменти қанча катта бўлса, туйинган магнитланишни кузатиш учун шунча кучсиз ТММ кучланганлиги($H_т$) керак бўлади. $H_т$ ушбу формула буйича ифодаланиши мумкин.

$$P_э H_т \approx кT \qquad (2)$$

Масалан, парамагнит $Gd(SO_4)\cdot H_2O$ учун $P_э \approx 7\mu_Б$ тенг бўлиб, хона температурасида ТММ кучланганлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$H_т = \frac{300К}{7\mu_Б} \approx 100\ Тл \qquad (3)$$

Агар зарра учун $P_э \sim 10^4\mu_Б$ тенг бўлса, туйиниш ТММ кучланганлиги қиймати 0.1 Тл қийматгача пасаяди. Бриллюэн туридаги туйиниш магнитланиш эгрилиги ҳодисаси *суперпарамагнетизм* номини олди. Бундай хоссани намоён қиладиган материал – суперпарамагнетик(СПМ) номини олди. Идеал СПМ модели 1960 йилларда яратилган[5]. Бу модел ҳозирда ҳам ривожланмоқда[6]. Содда вариантда бу модел - ўзаро таъсирлашмайдиган ва $\mu_э$ магнит моментли бир хил зарралар системаси сифатида қаралади. Зарранинг магнит моменти қиймати катта деб ҳисоблангани учун, унинг ТММ билан ўзаро таъсири квант эффектлар эътиборга олинмасдан ҳисобланади. Изотроп

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

зарралар ҳолатида системанинг мувозанат магнитланиши Ланжеван функцияси билан ифодаланади:

$$\langle \mathrm{M} \rangle = N\mu_э L\left(\frac{\mu_э H}{kT}\right) = N\mu_э \left\{coth\left(\frac{\mu_э H}{kT}\right) - \frac{kT}{\mu_э H}\right\} \quad (4)$$

(4) формулада, зарра магнит изотроп - зарранинг магнит майдони учун ҳамма йўналишлар энергетик эквивалент ҳисобланади. Лекин ҳамма вақт бунга тескари ҳолат - магнит анизотропия кузатилади. Магнит анизотропиянинг юзага келиш механизмлари турлича(кристал магнит анизотропия, форма анизотропияси, ички кучланиш ва ташқи таъсир билан боғлиқ анизотропия, алмашиш анизотропияси) бўлиши мумкин[7]. Магнит НЗ учун сирт анизотропия муҳим ўрин тутади. Агар зарралар магнит анизотропия бўлса, мувозанатли магнитланиш жараёни мураккаблашади. Симметрия буйича магнит анизотропиянинг содда кўриниши - бир ўқли анизотропиядир. Бунда зарра энергияси:

$$\mathrm{E}(0) = KV \cdot \sin^2\theta \quad (5)$$

К - ҳажмий анизотропия доимийси, V - зарра ҳажми, θ - зарра магнитланиш вектори ва анизотропия ўқи орасидаги бурчак. Агар ТММ мавжуд бўлмаса, зарра энергиясининг минимум қиймати, анизотропия ўқи билан мос тушади. Агар ТММ кучланганлиги, анизотропия ўқига нисбатан ψ бурчак остида бўлса, зарранинг энергияси:

$$\mathrm{E}(0) = KV \cdot \sin^2\theta - \mathrm{H}_т M_s V \cdot \cos(\theta - \psi) \quad (6)$$

Зарра туйинган бир жинсли магнитланган ҳисобланиб, унинг магнит моменти: $m = M_s V$ тенг бўлади. Бунда M_s – магнитланишнинг туйиниш қиймати.

Умумий ҳолатда, ТММ мавжуд бўлганда ва минимал энергияга эга бўлиш мақсадида зарранинг магнит моменти йўналишини ўзгартириш учун, $\mathrm{E_Б} = \mathrm{К}V$ энергетик барьерни ўтиш керак. $\mathrm{E_Б} \gg$ кТ ҳолатда, бир ўқли ва бир доменли зарра магнит майдонининг иссиқлик флуктуациясининг характерли вақти формуласи Неель томонидан ҳосил қилинган:

$$\tau = \tau_0 e^{-\frac{\mathrm{E_Б}}{\mathrm{кТ}}} \quad (7)$$

Бу формула, кубли анизотропия учун Браун томонидан умумлаштирилган. Параматр τ_0 қиймати баъзи параметрларга(температура, гиромагнит нисбат, туйиниш магнитланиш, анизотропия доимийси, энергетик барьер қиймати ва ҳ. к.) боғлиқ. (7) формула, ўзаро таъсир қиймати ошмайдиган бир доменли магнит зарра системасида иссиқлик мувозанатини ўрнатилиш характерли вақтини ифодалайди. Юқори температурада($\mathrm{E_Б} \ll$ кТ) минимал

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

энергияли ҳолатга ўтиш вақти, ўлчаш вақтига $\tau_{ў}$ нисбатан кам бўлади ва система магнит гистерезис ҳосил қилмайди. Акс ҳолатда($E_Б \gg кТ$) системанинг мувозанат ҳолатга ўтиш вақти катта бўлади. Агар $\tau_{ў} \gg \tau$ бўлса, система СПМ ҳолатда бўлиб, температура ва ТММ кучланганлиги қиймати ўзгарганда, зарра магнитланиши тезда мувозанат ҳолатга етади. Агар сферисимон магнит НЗлар ўлчамлар учун $\tau_{ў} \sim 100$ с деб ҳисобланса, (7) формула ва $\tau_{ў} = \tau$ шартдан ушбу формула юзага келади.

$$KV = 32кТ \qquad (8)$$

Одатда блоклаш температураси ушбу формула орқали аниқланади.

$$T_Б = \frac{KV}{25k} \qquad (9)$$

Таъкидлаш керакки, (9) формула H=0 ҳолатда $T_Б$ ни аниқлайди. T(H) боғлиқлик ушбу формула билан ифодаланади[3]:

$$T(H) = T(0)(1 - \frac{H}{H_T}) \qquad (9)$$

ХУЛОСА

Юқорида келтирилган фактлар, турли соҳа мутахассисларининг магнит НЗларга бўлган қизиқиш учун асос бўлади. Охирги йилларда бундай материалларга бўлган қизиқиш, айнан наноўлчам диапазонда ўсмоқда. Магнит НЗлар физикаси тадқиқотларининг ушбу таҳлили, қаралган масалаларнинг илмий долзарблиги ва улкан амалий қийматини исботлайди. Бу аввалambор магнит НЗларнинг тез ривожланаётган соҳаларда муҳим ўрин тутиши билан тушунтирилади. Масалан, охирги 20 йилда магнит материаллар воситасида, шахсий компьютерларда информацияни сақлаш имконияти тахминан 4000 марта ошди. Бошқа соҳаларда(биология, медицинада ва ҳ.к.) магнит НЗлардан фойдаланиш имконияти қулай бўлиб бормоқда. Электрониканинг кейинги ривожи ҳам НЗлар магнит хоссаларидан фойдаланиш билан ҳам боғлиқдир. Буни спинтроника буйича бир қатор илмий ишлар гувоҳлик беради. Бу соҳада нанообъектларнинг магнит ва электр хоссалари ўзаро боғланишда қаралади. Шунингдек, НЗларнинг магнит хоссалари квант компьютерларни яратишда жуда фойдали бўлиши мумкин.

Парамагнит НЗлар тўқима, оқсилни ажратиш ва алоҳида молекулаларни ўлчаш учун муҳим восита ҳисобланади. Улар касаллик келтирувчи микроорганизмларни топишда қўлланилади. Ўзига хос кимёвий қопламали ва темир оксиднинг СПМ НЗлари, тўқимани тиклаш, иммунофермент таҳлили, биологик суюқликлар детокцикацияси, гипертермия ва дори етказиш учун

ISSN: 2181-1385
Scientific Journal Impact Factor (SJIF) 2021: 5.723
DOI: 10.24411/2181-1385-2021-00486

қўлланилади. Олтин билан қопланган СПМ НЗларни магнит резонанс томографияда контраст агент сифатида қўллаш мумкин. Бу ҳолат ушбу методнинг ажратиш қобилиятини сезиларли оширади.

REFERENCES

1. K.L.Wang, A.A.Balandin(2001). Quantum Dots: Physics and Applications in Optics of Nanostructured Materials, Ed. V.A.Markel and T.F.George, J.Wiley, New York, 2001, p.515.
2. J.Hu, T.W.Odom, C.M.Lieber(1999). Acc. Chem. Res., **32**, 435 (1999)
3. R.D. Gomez, T.V. Luu, A.O. Park, K.J. Kirk, J.N. Chapman(1999). J. Appl. Phys., 85, 6163 (1999)
4. M.D.Bentzon, J.van Wonterghem, S.Morup, A.Tholen(1989). Philosophical Magazine B, 60, 169 (1989).
5. UV Valiev, UR Rustamov, B Yu Sokolov, V Nekvasil, RA Rupp, M Fally, I Amin(2002). Features of Circularly Polarized Luminescence of the Paramagnetic Garnets $Y_3Al_5O_{12}:Tb^{3+}$ and $Y_3Al_5O_{12}:Ho^{3+}$ in Magnetic Field. Phys.Stat.Sol.(b).- 2002 - V.231.- No.1.- P.98-105.
6. Vasiliy O Pelenovich, Uygun V Valiev, Lin Zhou, Ivanov Igor'A, Oleg V Pelenovich, Umid R Rustamov, Dejun Fu(2016). "Magnetooptical spectrometer based on pfotoelastic modulator with optikal feedback and its application in study of f-electron materials" "Optikal Materials" -2016.-No.5.- P.115-120.
7. UV Valiev, JB Gruber, B Zandi, UR Rustamov, AS Rakhmatov, DR Dzhuraev, NM Narzullaev(2005). Magnetooptics of quintet states of Tb^{3+} ion in terbium–yttrium aluminum garnet. physica status solidi (b)- 2005 - V.242.- No.4.- P.933-946.