NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-6]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

01.00.00-FIZIKA-MATEMATIKA
journal.namdu.uz
PHYSICS AND MATHEMATICS

NIFE2O4 NANOZARRALARI ASOSIDA FERROSUYUQLIKLARNING MAGNIT XOSSALARINI XONA TEMPERATURASIDA O‘RGANISH.

Quvondiqov Obloqul Quvondiqovich
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Umumiy fizika kafedrasi professori, fizika matematika fanlari doktori.
Berdiyev Rustam Do‘stqobilovich
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Umumiy fizika kafedrasi tayanch doktaranti.
Nurimov Umidjon Elmuradovich
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti, Umumiy fizika kafedrasi assistenti, mustaqil tadqiqodchi.
e-mail: nurimovumid1@gmail.com

Annotatsiya. *NiFe2O4 nanozarrachalari asosida sintez qilingan ferrosuyuqliklarning turli xil konsetratsiyalaridagi magnit xossalari xona temperaturasida (T ≈ 300 K) eksperimental ravishda o‘rganildi. Nanozarrachalar kimyoviy cho‘ktirish usuli orqali sintez qilinib, turli konsetratsiyalarni tayyorlashda sirt faol modda sifatida olein kislota va tashuvchi suyuqlik sifatida suv qo‘llanildi. Bu na’munalarning magnit xossalari tebranuvchi magnetometri (VSM) yordamida o‘lchandi. Olingan natijalarga ko‘ra, to‘yingan magnitlanish (Ms), qoldiq magnitlanish (Mr) va koersitiv kuch (Hc) qiymatlari zarracha tarkibi va konsentratsiyasiga bog‘liq ravishda o‘zgarishi aniqlandi. Xona temperaturasida barcha ferrosuyuqliklada superparamagnit holat kuzatildi. Magnit xossalar nanozarrachalarning o‘lchami va ularning konsentratsiyasiga bog‘liqligi bilan tushuntirildi.*

Kalit so‘zlar: *Ferrosuyuqlik, 3d metallari, magnitlanish, superparamagnetizm, VSM, nanozarracha, anizotropiya; konsentratsiya.*

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ NIFE2O4 ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ.

Аннотация. *Магнитные свойства феррожидкостей, синтезированных на основе наночастиц CoFe2O4, при различных концентрациях были экспериментально исследованы при комнатной температуре (T ≈ 300 K). Наночастицы были синтезированы методом химического осаждения. При приготовлении феррожидкостей в качестве поверхностно-активного вещества использовалась олеиновая кислота, а в качестве несущей жидкости — вода. Магнитные свойства полученных образцов измерялись с помощью вибрационного магнитометра (VSM). Полученные результаты показали, что значения намагниченности насыщения (Ms), остаточной намагниченности (Mr) и коэрцитивной силы (Hc) изменяются в зависимости от состава частиц и их концентрации. При комнатной температуре во всех образцах феррожидкостей наблюдалось суперпарамагнитное состояние. Магнитные свойства объясняются зависимостью от размеров наночастиц и их концентрации.*

Ключевые слова: *Феррожидкость, 3d-металлы, намагниченность, суперпарамагнетизм, VSM, наночастицы, анизотропия, концентрация.*

STUDY OF THE MAGNETIC PROPERTIES OF FERROFLUIDS BASED ON COFE2O4 NANOPARTICLES AT ROOM TEMPERATURE.

Abstract. *The magnetic properties of ferrofluids synthesized based on $NiFe_2O_4$ nanoparticles with different concentrations were experimentally investigated at room temperature (T ≈ 300 K). The nanoparticles were synthesized using the chemical precipitation method. During the preparation of different concentrations, oleic acid was used as a surfactant, and water was used as the carrier liquid. The magnetic properties of the samples were measured using a vibrating sample magnetometer (VSM). The obtained results showed that the values of saturation magnetization (Ms), remanent magnetization (Mr), and coercive force (Hc) vary depending on the particle composition and concentration. At room temperature, a superparamagnetic state was observed in all ferrofluid samples. The magnetic properties were explained by the dependence on the size of nanoparticles and their concentration.*

Keywords: *Ferrofluid, 3d metals, magnetization, superparamagnetism, VSM, nanoparticle, anisotropy, concentration.*

I. Kirish. Ferrosuyuqliklar — magnit nanozarrachalarning tashuvchi muhitda kolloid dispersiyasi bo‘lib, ular bu suyuqlikning kinematik va dinamik xossalarini nanoo‘lchamli magnit tartib bilan birlashtiradi. Shu bois ferrosuyuqliklar tashqi magnit maydon orqali boshqariladigan “aqlli” materiallar sinfiga kiradi va biotibbiyot, suvni tozalash hamda elektron qurilmalari sohalarida turli xil qo‘llanilish imkoniyatlariga ega ekanligidan ularning ilmiy tadqiqotlarda faol o‘rganilishiga sabab bo‘lmoqda[1–3].

$NiFe_2O_4$ nanozarralari asosidagi spinel-ferrit tizimlari ferrosuyuqliklarning eng muhim “magnit yadrosi” bo‘lib, ularning d-elektronlari almashinuv o‘zaro ta’siri va magnit kristall anizotropiyasi tufayli keng diapazonda boshqariluvchi magnitsuyuqlikni ta’minlaydi. Xususan, Ni-tarkibli ferritlar yuqori anisotropiya va ko‘pincha kattaroq koersitiv kuch (Hc) bilan, Fe- tarkibli ferritlar esa yuqori to‘yingan magnitlanish (Ms) va Ni-tarkibli ferritlar esa o‘rtacha magnit parametrlar va yaxshi funksional moslashuvchanlik bilan tavsiflanadi[4,5].

Mazkur ilmiy tadqiqod ishimizda $NiFe_2O_4$ nanozarralari asosidagi ferrosuyuqliklarning xona temperaturasidagi magnit xossalarini (Ms, Mr, Hc, χ) VSM o‘lchovlari yordamida aniqlash, ularni konsentratsiya va mikrostrukturaviy omillar bilan bog‘lash, hamda zamonaviy nanomagnitizm konsepsiyalari doirasida fizik mexanizmlarini asosli izohlashdir[9].

II. Eksperimental qism. $NiFe_2O_4$ nanozarralari asosidagi nanozarralarni kimyoviy chuktirish usulidan foydalanib kukunsimon nanozarralar hosil qilindi. Kukunsimon magnit nanozarrachalarini hosil qilish uchun temir va kobalt tuzlari, suvli ammiak NH_3, etanol, olein kislota $C_{18}H_{34}O_2$, limon kislotasi $C_6H_8O_7$ va aseton C_3H_6O olindi. $NiFe_2O_4$ nanozarrachalarini hosil qilish NH_4OH qo'shish orqali temir va kobalt tuzlarini birgalikda aralashtirib cho'ktirish orqali amalga oshirildi. Bu quyidagi reaksiya orqali amalga oshirildi:

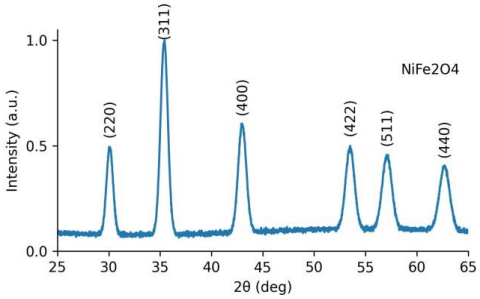
$$Ni^{2+} + Fe^{3+} + 8OH \rightarrow Ni(OH)_4 + 2Fe(OH)_2 \rightarrow (90\ ^0C) \rightarrow NiFe_2O_4 + 4H_2O$$

III. Olingan natijalar va ularning tahlili. $NiFe_2O_4$ nanozarralari quritilgan va kukun shaklida maxsus plastinkaga joylashtirilib, uning sirtiga birxil to‘lqin uzunligidagi rentgen nurlari 25^0-65^0 burchak ostida tushirildi. Rentgen nurlari Vulf-Berg shartini bajaruvchi burchak ostida joylashgan nanozarrachalarda difraksiyalandi. Difraksiyalangan rentgen nurlari intensivligi I(u.a)ning nanozarra sirtiga tushish burchagi $2\theta(^0)$ ga bog‘liqlik grafigi olindi.

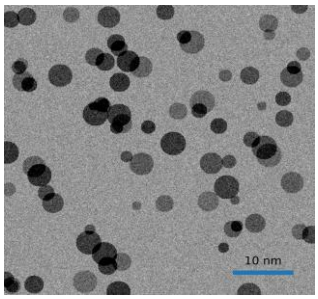
Bu olingan natijadan nanozarraning kristall tuzilishi tahlil qilindi. 1, 2 – rasmlardan ko‘rinadiki, hosil bo'lgan nanozarrachalarning rentgen nurlari kukuni diffraktsiyasida intensevlik cho'qqilar (220), (311), (400), (422), (511) va (400) ga to'g'ri keldi. Rentgen nurlar difraksiyasi spektrining barcha difraksiya cho‘qqilari $NiFe_2O_4$ nanozarralarida yuqori kristalli tartiblanish va barqaror kubik shpinel ferrit strukturali tuzilishda shakllanganligini ko‘rsatadi. $NiFe_2O_4$ magnit nanozarralari uchun eng intensiv pik (311) tekisligiga to‘g‘ri keladi, bu esa $NiFe_2O_4$ ferritlari uchun xos xususiyat hisoblanadi. Spektrda qo‘shimcha piklar kuzatilmagani sintez qilingan na’munalarda ikkinchi fazalar mavjud emasligini ko‘rsatadi. Difraksiya piklarining esa nisbatan kengligi sintez qilingan na’munalarning nanomasshtabli o‘lchamga ega ekanligini tasdiqlaydi[3,9].

Sintez qilingan $NiFe_2O_4$ ferrit nanozarrachalarining morfologiyasi va o‘lchamini aniqlash maqsadida Transmission Electron Microscopy (TEM) tahlili o‘tkazildi. TEM tasvirlari ferrit nanozarrachalarining shakli, agregatsiya darajasi va o‘lcham taqsimotini baholash imkonini berdi. Agar ferrosuyuqliklardagi nanozarrachalar o‘lchami kichiklashishi bilan ko‘p domeli struktura bitta domenli strukturaga aylanadi va bu superparamagnit holatga olib keladi. Ushbu ishdagi $NiFe_2O_4$ nanozarralarning o‘lchamlari esa 10–25 nanometr diapazonida bo‘ldi va bu ferrosuyuqlik to‘liq superparamagnit holatda ekanligini tasdiqlaydi. $NiFe_2O_4$ nanozarralar asosidagi ferrosuyuqliklarning magnit xossalari tebranuvchi magnetometr (VSM) yordamida o‘lchandi[10,11].

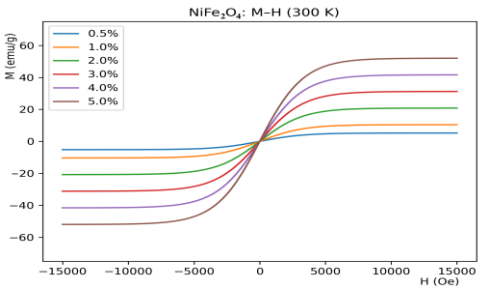
M~H magnitlanish egri chiziqlari (3-rasm) barcha konsentratsiyali ferrosuyuqliklar uchun o‘rganildi. O‘rganish natijasida magnitlanish egri chiziqlari juda kichik qoldiq magnitlanish (Mr) va past koersitiv kuch (Hc) qiymatlariga ega bo‘ldi, bu superparamagnit holat mavjudligini esa yana bir bor tasdiqladi. 3–rasmdan ko‘rinadiki, 0.5% konsentratsiyada Ms qiymatlari quyidagicha $NiFe_2O_4$ uchun Ms ≈ 5.21 emu/g, qiymatga ega bo‘ldi. Konsentratsiya 5% ga oshirilganda esa magnitlanish sezilarli darajada ortdi $NiFe_2O_4$uchun Ms ≈ 51.93 emu/g, qiymatga erishdi.



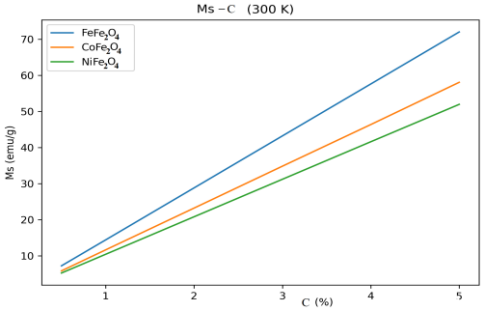
1-rasm. $NiFe_2O_4$



2-rasm. $NiFe_2O_4$



3-rasm.$NiFe_2O_4$ nanozarralarning M~H



4-rasm.$NiFe_2O_4$ nanozarralarning M_S~C

Natijalardan xulosa qilib, ferrosuyuqlikda magnit nanozarrachalar konsetratsiyasi ortishi bilan umumiy magnit momentni oshirishi kuzatildi. 4-rasmda ferrit nanozarrachalar asosidagi ferrosuyuqlik uchun koersitiv kuchning konsentratsiyaga bog'liqligi ko'rsatilgan bo'lib, $FeFe_2O_4$va $NiFe_2O_4$ uchun Hc juda kichik qiymatlarni qabul qildi, $CoFe_2O_4$uchun esa yuqori qiymatlarni qabul qildi.

Na'munalar	T (K)	C (%)	ϱ (g/cm³)	Ms (emu/g)	Mr (emu/g)	Hc (Oe)
$NiFe_2O_4$	300	0.5	1.16	5.21	0.04	26.8
		5	1.33	51.93	0.38	24.5

1-jadval. $NiFe_2O_4$ ferrimagnet nanozarralar magnit parametrlari.

To'yingan magnitlanish (Ms), qoldiq magnitlanish (Mr) va koersitiv kuch (Hc) qiymatlari ferrit nanozarracha tarkibi va konsentratsiyasiga sezilarli darajada bog'liq ekanligi aniqlandi (1-jadval).

Shu xulosalardan kelib chiqqan holda ferrosuyuqlikning magnitlanishi quyidagicha ifodalanadi:

$$M = n\mu L(\alpha)$$

bu erda $L(\alpha) = coth(\alpha) - \frac{1}{\alpha}$ Lavjeven funksiyasi, $\alpha = \frac{\mu H}{kT}$, M-magnitlanish, n-hajm birligidagi nanozarrachalar soni, nanozarrachaning magnit momenti, H-tashqi magnit maydon kuchlanganligi, k-Bolsman doimiysi, T-temperatura.

IV.Xulosalar. Ushbu ilmiy tadqiqod ishda $NiFe_2O_4$ ferrit nanozarrachalar asosidagi ferrosuyuqliklarning strukturaviy va magnit xossalari xona temperaturasida kompleks tarzda o'rganildi. XRD tahlillari sintez qilingan nanozarrachalar kubik spinel ferrit strukturasiga ega ekanligini hamda namunalarda ikkilamchi fazalar mavjud emasligini ko'rsatdi. TEM tasvirlari nanozarrachalar asosan sferik shaklga ega bo'lib, ularning o'lchami 10–25 nm diapazonida ekanligini aniqladi. VSM o'lchovlari esa barcha konsetratsiyali ferrosuyuqliklarda xona temperaturasida superparamagnit holat mavjudligini ko'rsatdi. Usbu ilmiy tadqiqod ishida olingan natijalar $NiFe_2O_4$ asosidagi ferrosuyuqliklarning magnit xossalarini juda yaxshi boshqarilishini ko'rsatib, kelajakda ularni tog'-kon sanoatida, neft sanoatida, shuningdek, tibbiyot sohasida onkologik kasalliklarni davolashda, sensor texnologiyalari va magnit suyuqlik qurilmalarida qo'llash uchun muhim yangi istiqbolli material sifatida foydalanish mumkin bo'ladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rosensweig R. Ferrohydrodynamics. Cambridge University Press, 2014.
2. Odenbach S. Magnetic Fluids. Springer, 2017.
3. Shliomis M. Magnetic fluids. Physics Reports, 2018.
4. Kodama R. Magnetic nanoparticles. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2019.
5. Laurent S. Magnetic iron oxide nanoparticles for biomedical applications. Chemical Reviews, 2020.
6. Gubin S. Magnetic nanoparticles. Wiley, 2019.
7. Sun C. Magnetic nanoparticles in biomedical applications. Advanced Drug Delivery Reviews, 2020.
8. Langevin P. Theory of paramagnetism. Annales de Chimie et de Physique.
9. . Batlle X. Superparamagnetism of nanoparticles. Journal of Physics D, 2020.
10. Cullity B. Introduction to Magnetic Materials. Wiley, 2018.
11. Chikazumi S. Physics of Ferromagnetism. Oxford University Press, 2019.