

DƏMİR NANOHISSƏCİYİN MAQNİT XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

PAŞAYEV FAİQ HEYDƏR OĞLU, HƏSƏNOV ARZUMAN QARDAŞXAN OĞLU,
ABDULLAYEVA SÜBHANƏ FÜZULİ QIZIBakı Dövlət Universiteti, AZ 1143 Bakı, Z.Xəlilov küç. 23, Azərbaycan
faig.pasha55@gmail.com

İşdə müxtəlif ölçülü dəmir nanohissəciklərin maqnit xassələri tədqiq olunmuşdur. Ölçüləri $D=0.665\text{nm}$, $D=4\text{nm}$ və $D=20.16\text{nm}$ olan dəmir nanohissəciklərin maqnit doyması (M_s), öz-özüne maqnitlənməsi (M_{sp}), maqnit momenti (m_0), maqnit nüfuzluğu (μ) və maqnit qavrayıcılığı (χ) nanohissəciyin ölçülərindən istifadə etməklə hesablanmışdır. Hesablamalarda həcmli dəmirin maqnit xassələrindən istifadə olunmuşdur. Hesablamaların nəticələri göstərir ki, ölçüləri 20 nm-dən böyük olan dəmir nanohissəcikləri özlərini ferromaqnit material kimi aparır.

Açar sözlər: dəmir nanohissəciyi, maqnit xassələri, maqnit nüfuzluğu, maqnit qavrayıcılığı.

PACS:07.05.Tp;81.07.-b;03.67.Lx

NƏZƏRİ HISSƏ

Materialın maqnit xassələrinin nəzəri tədqiqi üçün bir sıra kəmiyyətlər arasında əlaqəni bilmək zəruridir. Maqnit sahəsinin induksiyası, intensivliyi və maqnitlənmə vektoru arasında aşağıdakı kimi əlaqə var:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{J} \quad (1)$$

Maqnit sahəsinə xarakterizə edən digər kəmiyyət χ - maqnit sahəsinin qavrayıcılığıdır:

$$\vec{J} = \chi \vec{H} \quad (2)$$

$$\mu_r = 1 + \chi \quad (3)$$

μ_r nisbi maqnit nüfuzluğu olub $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ kimi təyin olunur. $\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{J}}$ materialın maqnit nüfuzluğu, μ_0 isə maqnit sabitidir.

χ maqnit sahəsinin qavrayıcılığı adsız kəmiyyətdir və onun qiymətindən asılı olaraq maddələri diamagnet, paramagnet və ferromagnet olmaqla üç növə ayırmaq olar. Biz əsasən ferromagnetləri nəzərdən keçirəcəyik. Ferromagnetlər kristallik quruluşlu güclü maqnitlərdir. Ferromagnetlərdə $\chi \gg 1$, $\mu_r \gg 1$. Ferromagnetlərin maqnitlənməsi paramagnet və diamagnet materialların maqnitlənməsindən dəfələrlə çoxdur. Ferromagnetləri fərqləndirən xüsusiyyətlər aşağıdakılardır:

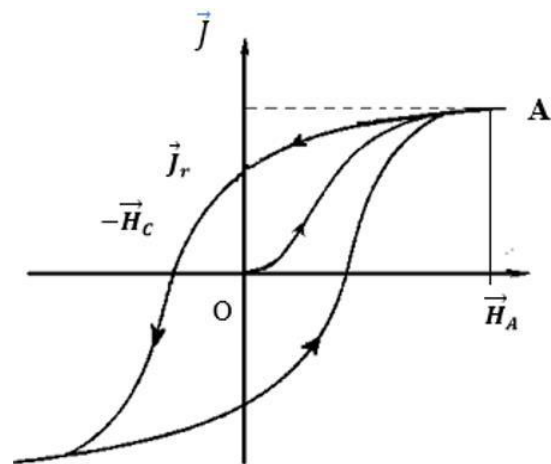
1) Çox böyük maqnit qavrayıcılığına malik olub bilirlər ($\chi \sim 10^6$).

2) Ferromagnetlərdə qalıq maqnitlənmə müşahidə olunur, materialı xarici sahədən çıxardıqda belə onun maqnitlənməsi yox olmur (şəkil 1).

3) Ferromagnetlərdə maqnitlənmə vektorunun (\vec{J}) sahənin intensivliyindən (\vec{H}) asılılığı qeyri-xətti olub, daha mürəkkəb xarakter daşıyır.

4) Ferromagnetlərdə, seqnetoelektriklərdə olduğu kimi, histerezis hadisəsi müşahidə olunur.

5) Maqnit qavrayıcılığı əmsalı maqnitlənməni bir-qiymətli xarakterizə etmir. O ferromagnetin halından, maqnitlənmə prosesindən, maqnit sahəsinin intensivliyinin modulu və istiqamətindən asılıdır.



Şəkil 1. Ferromagnetlərin histerezis əyrisi.

Materialların maqnit xassələrini onu təşkil edən atomların elektron quruluşuna əsasən izah etmək olar. Pauli prinsipinə əsasən bir orbitalda spinləri antiparalel olan yalnız iki elektron yerləşə bilər. Qapalı elektron təbəqəsinə malik atomlarda cütləşməmiş elektron olmaması səbəbindən tam maqnit momenti sıfır bərabərdir. Lantoidlər (4f təbəqəsi qismən dolmuş), aktinoidlər (5f qismən dolmuş) və eləcə də 3d, 4d, 5d təbəqələri tam dolmamış yəni açıq elektron təbəqəli elementlər cütləşməmiş elektronlar səbəbindən tam maqnit momentinə malikdir, məsələn, Cu, Sc, Fe və s. Beləliklə, tam maqnit momentinə malik atomlardan təşkil olunmuş bir sıra materiallar maqnit xassələri göstərmir. Dəmirin maqnitlənməsi ilk dəfə A.Q. Stoletov tərəfindən tədqiq edilmişdir. Dəmir materialında maqnit xüsusiyyətini gizlədən səbəb onun çoxlu sayda bir-birinə toxunan ayrı-ayrı hissələrdən - domenlərdən ibarət olmasıdır. Qonşu domenlərdə maqnitlənmə vektorlarının istiqaməti müxtəlif olduğundan, ferromagnetlər spontan maqnitlənmə xassəsinə malikdirlər. Xarici maqnit sahəsi tətbiq edildikdə dəmir atomunun xarici elektron təbəqəsində yerləşən elektronların ($3d^6 4f^2$) spinləri nizamlı şəkildə düzülür (şəkil 2). Nəticədə tam maqnitlənmə 0-dan fərqli olur.

Maqnit xassəli metal və metal oksid tərkibli nanohissəciklər elektronika və tibbdə geniş tətbiq sahələrinə

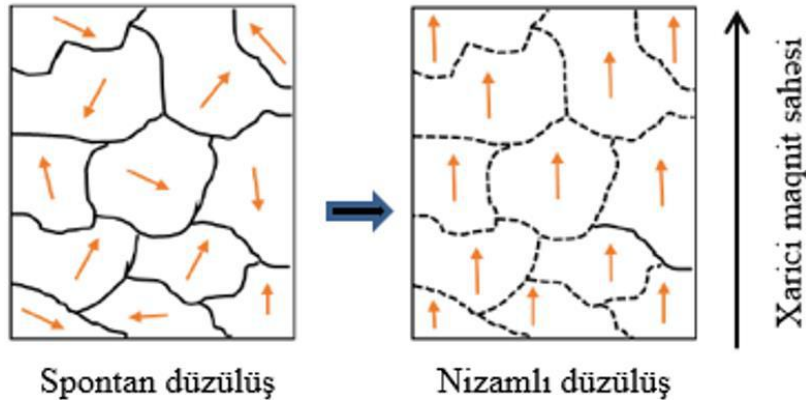
malikdir. Nanohissəciklərin maqnit xüsusiyyətləri bir çox amillərdən kristal qəfəsin növündən, ölçüsündən, formasından, atomların sayından və s. asılıdır. Nanohissəciyin tərkibi, quruluşu və ölçüsünü dəyişməklə materialın maqnit xüsusiyyətlərini müəyyən etmək

olar. Eyni atomlardan təşkil olunmuş dəmir nanohissəciyində atomların sayı məlum olduqda, onun ölçüsünü tapa bilərik. Nanohissəciyin, atomların sayı və ölçüləri arasında əlaqə düsturundan istifadə etməklə, Fe₁₃ nanohissəciyinin ölçüsünü təyin edərk [1, 2]:

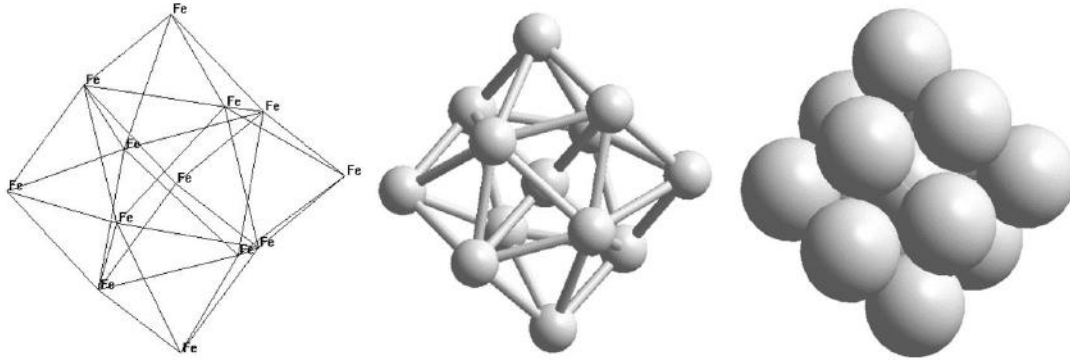
$$D = \sqrt[3]{\frac{6MN}{\pi\rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 55,845 \cdot 10^{-3} \cdot 13}{3,1415926536 \cdot 7,87 \cdot (10^{-9})^3 \cdot 6,0221415 \cdot 10^{23}}} \approx 0,665 \text{ nm}$$

Burada Fe atomunun atom kütləsinin $M = 55.845 \text{ q/mol} = 0.055645 \text{ kq/mol}$, sıxlığının $\rho = 7.87 \text{ q/sm}^3$, $N_A = 6.0221415 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ - Avaqadro sabiti və nanohissəcikdəki atomların sayı $N=13$ olduğu nəzərə alınmışdır. Beləliklə, 13 dəmir atomundan ibarət

olan dəmir nanohissəciyinin ölçüsü $D \approx 0.665 \text{ nm}$ olar. Atomların sayını bilərək dəmir nanohissəciyin vizual modelini qura bilərik. Şəkil 3-də atomların sayı $n=13$ üçün dəmir nanohissəciyin vizual modeli verilmişdir.



Şəkil 2. Maqnit momentlərinin spontan və nizamlı düzülüş halları



Şəkil 3. Fe₁₃ nanohissəciyinin vizual modelləri a) - xətlə, b) - xətlə və kürələrlə, c)- kürələrlə göstərilmişdir).

Dəmir nanohissəciyinin ölçülərinin 0,665 nm, 4 nm və 20 nm qiymətləri üçün maqnit parametrlərinin - M_s maqnit doyması, M_{sp} öz-özünə maqnitlənmə, χ maqnit qavrayıcılığı, m_0 maqnit momentinin və μ maqnit nüfuzluğunun qiymətlərini hesablamaq olar. Bunun üçün $T_C = 1043\text{K}$, $T = 300\text{K}$, $V = 1.539797 \cdot 10^{-28} \text{ mol}^3$, $M_{sb} = 219.569 \text{ emu/g} = 1.747278 \cdot 10^6 \text{ A/m}$, $d = 2 \cdot 0.117 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ qiymətləri

$$M_s = M_{sb} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot d}{D}\right)^3 \quad (4)$$

Burada

M_{sb} həcmi materialın öz-özünə maqnitlənməsi olub ölçü vahidi A/m;

D - kürə formalı təsəvvür edilən nanohissəciyin ölçüsü;

d - səth qabağının qalınlığıdır. d olaraq həmin nanohissəciyi təşkil edən atomların r_h radiusundan istifadə oluna bilər $d < 2 \cdot r_h$;

M_s - nanohissəciyin maqnit doyması olub ölçü vahidi A/m.

Nanohissəciyin maqnit doyması məlum olduqda, onun öz-özünə maqnitlənməsini hesablamaq üçün

$$M_{sp} = M_s \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \left(\frac{T}{T_C}\right)^{1.2}\right) \quad (5)$$

düsturundan istifadə olunur. Burada T - nanohissəciyin temperaturu, T_C - həcmi materialın Kuri temperaturu olub, maqnit materiallar üçün keçid temperaturdur, M_{sp} - nanohissəciyin öz-özünə maqnitlənməsi olub ölçü va-

DƏMİR NANOHISSƏCİYİN MAQNİT XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

hidi A/m . T_c temperaturundun böyük qiymətlərdə nizamlı maqnit domenlər əmələ gəlmədiyinə görə öz-özünə maqnitlənmə əmələ gəlmişdir. Nanohissəcik üçün digər əhəmiyyətli maqnit kəmiyyətlərdən biri maqnit qavrayıcılığıdır. O, adsız kəmiyyət olub materialın fundamental maqnit xassəsini xarakterizə edir və materialın maqnit sahəsində necə maqnitlənməsini göstərir. Nanohissəciyin maqnit qavrayıcılığı onun V həcmindən, T temperaturundan, həmçinin M_{sp} öz-özünə maqnitlənməsindən asılı olaraq aşağıdakı kimi təyin oluna bilər [3, 4]:

$$\chi = M_{sp}^2 \cdot \left(\frac{\mu_0 V}{3 \cdot k_0 \cdot T} \right) \quad (6)$$

burada

χ – nanohissəciyin maqnit qavrayıcılığı,

V – nanohissəciyin

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$ maqnit sabiti,

$k_0 = 1.38065 \cdot 10^{-23} J/K$ maqnit Bolsman sabitidir.

Ümumiyyətlə nanohissəciklərin maqnit qavrayıcılığının müəyyən edilməsi çox mürəkkəb məsələdir. Nanohissəciyin maqnit xassəsindən asılı olaraq χ maqnit qabiliyyətinin ala biləcəyi qiymətlər cədvəl 1-də verilmişdir:

Cədvəl 1.

χ maqnit qavrayıcılığının qiymətləri

N	Maqnit qavrayıcılığı	Maqnit xassəsi olmayan		Maqnit xassəli	
		Diamaqnit	Paramaqnit	Superparamaqnit	Ferromaqnit
1	X	$-10^{-3} \div -10^{-6}$	$10^{-6} \div 10^{-3}$	5000	$10^3 \div 10^6$

M_S nanohissəciyin maqnit doyması və χ maqnit qavrayıcılığının qiymətləri məlum olduqda, onun maqnit momentini m_0 (ölçü vahidi $A \cdot m^2$) və nüfuzluğunu μ (ölçü vahidi N/A^2) da hesablamaq olar:

$$m_0 = M_S \cdot V \quad (7)$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) \quad (8)$$

KOMPÜTER HESABLAMALARI

$$D = 0,665 \text{ nm}: M_S = 1.747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{0,665 \cdot 10^{-9}} \right)^3 = 45425.074 \text{ A/m}$$

$$M_{sp} = 45425.074 \cdot \left(1 - 0.3 \left(\frac{300}{1043} \right)^{1.2} \right) = 42370.003 \text{ A/m}$$

$$\chi = 42370.003^2 \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1.539797 \cdot 10^{-28}}{3 \cdot 1.38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 2.796 \cdot 10^{-5}$$

$$m_0 = 45425.074 \cdot 3.331 \cdot 10^{-28} = 6.995 \cdot 10^{-24} \text{ A} \cdot m^2$$

$$\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 2.796 \cdot 10^{-5}) = 1.257 \cdot 10^{-6} \text{ N/A}^2$$

$$D = 4 \text{ nm}: M_S = 1.747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-9}} \right)^3 = 1202940.122 \text{ A/m}$$

$$M_{sp} = 1202940.122 \cdot \left(1 - 0.3 \left(\frac{300}{1043} \right)^{1.2} \right) = 1122036.195 \text{ A/m}$$

$$\chi = 1122036.195^2 \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 3.351 \cdot 10^{-26}}{3 \cdot 1.38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 4.267$$

$$m_0 = 1202940.122 \cdot 3.351 \cdot 10^{-26} = 4.031 \cdot 10^{-20} \text{ A} \cdot m^2$$

$$\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 4.267) = 1.091 \cdot 10^{-5} \text{ N/A}^2$$

$$D = 20.16 \text{ nm}: M_S = 1.747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{20.16 \cdot 10^{-9}} \right)^3 = 1628395.139 \text{ A/m}$$

$$M_{sp} = 1628395.139 \cdot \left(1 - 0.3 \left(\frac{300}{1043} \right)^{1.2} \right) = 1518877.169 \text{ A/m}$$

$$\chi = 1518877.169^2 \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 4.29 \cdot 10^{-24}}{3 \cdot 1.38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 1000.9198$$

$$m_0 = 1628395.139 \cdot 4.29 \cdot 10^{-24} = 6.986 \cdot 10^{-18} \text{ A} \cdot m^2$$

$$\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 1000.9198) = 1.259 \cdot 10^{-3} \text{ N/A}^2$$

Nəticələr cədvəl 2-də verilmişdir.

Ölçüləri 0.665 nm, 4 nm və 20.16 nm olan dəmir nanohissəciyi üçün maqnit parametrlərinin hesablanmış qiymətləri

№	Nano-hissəciyin ölçüsü	Maqnit doyması $M_s(\text{emu/g})$	Öz-özünə maqnitlənmə $M_{sp}(\text{emu/g})$	Maqnit momenti ($A \cdot m^2$)	Maqnit nüfuzluğu (N/A^2)	Maqnit qavrayıcılığı χ
1	0.665	5.708	5.324	$6.995 \cdot 10^{-24}$	$1.257 \cdot 10^{-6}$	$2.796 \cdot 10^{-5}$
2	4	151.166	140.999	$4.031 \cdot 10^{-20}$	$6.618 \cdot 10^{-6}$	4.267
3	20.16	204.63	190.868	$6.986 \cdot 10^{-18}$	$1.259 \cdot 10^{-3}$	1000.9198

NƏTİCƏ

Müəyyən edilmişdir ki, dəmir nanohissəciyinin maqnit xassələri onun ölçülərindən asılı olaraq dəyişir.

Ölçüləri 20 nm - dən böyük olan dəmir nanohissəcikləri özlərini əsasən ferromaqnit material kimi aparır.

- [1] Liu X, M. Atwater, J. Wang, Q. Huo. Extinction coefficient of gold nanoparticles with different sizes and different capping ligands. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2007; 58(1):3.
- [2] Abel M. Maharramov, Mahammadali A. Ramazanov, Arzuman G. Gasanov and Faig G. Pashaev. The study of Silver Nanoparticles in Basis of Slater Functions. *Physical Science International Journal* 10(3): 1-6, 2016, Article no. PSIJ.23370 ISSN:2348-0130
- [3] Kai, Wu. Magnetic Nanoparticles in Nanomedicine. Kai Wu. Diqing Su, Jinming Liu. [et al.]. University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota: 55455, USA, November 4, 2018, 67 p.
- [4] F.R. Rodriguez. F.R. Rodriguez, A.C. Oliveira and P.C. Moraisa. *Journal of applied physics*, 2003, vol. 93, N 10, p. 4.

**Pashayev Faig Geydar oğlu, Gasanov Arzuman Gardashchan oğlu,
Abdullayeva Subhane Fuzuli kizi**

STUDY OF MAGNETIC PROPERTIES OF IRON NANOPARTICLES

The magnetic properties of iron nanoparticles of different sizes are studied in the present work. Magnetic saturation (M_s), self-magnetization (M_{sp}), magnetic moment (m_0), magnetic permeability (μ), magnetic susceptibility (χ) of iron nanoparticles with sizes $D=0.665\text{nm}$, $D=4\text{nm}$ and $D=20.16\text{nm}$ are calculated using nanoparticle sizes. Magnetic properties of massive iron are used in calculations. The results of the calculations show that iron nanoparticles with sizes larger than 20 nm behave like a ferromagnetic material.

**Пашаев Фаиг Гейдар оглы, Гасанов Арзуман Гардашхан оглы,
Абдуллаева Субхана Физули кызы**

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ЖЕЛЕЗА

В работе исследованы магнитные свойства наночастиц железа разного размера. Магнитное насыщение (M_s), самомагничивание (M_{sp}), магнитный момент (m_0), магнитная проницаемость (μ), магнитная восприимчивость (χ) наночастиц железа с размерами $D=0.665\text{ нм}$, $D=4\text{ нм}$ и $D=20.16\text{ нм}$. рассчитывается с использованием размеров наночастиц. В расчетах использовались магнитные свойства массивного железа. Результаты расчетов показывают, что наночастицы железа размером более 20 нм ведут себя как ферромагнитный материал.

Qəbul olunma tarixi: 27.01.2021