

Faiq Heydər oğlu Paşayev

Bakı Dövlət Universiteti
fizika-riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
faig.pasha55@gmail.com

Arzuman Qardaşxan oğlu Həsənov

Silahlı Qüvvələrin Hərbi Akademiyası
fizika-riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
gasqhapk@gmail.com

Sübhənə Füzuli qızı Abdullayeva

Bakı Dövlət Universiteti
magistrant
subhaneabdullayeva0620@gmail.com

DƏMİR TƏRKİBLİ NANOHISSƏCİKLƏRİN MAQNİT PARAMETRLƏRİNİN HESABLANMASI

Açar sözlər: dəmir tərkibli nanohissəciklər, maqnit doyması, maqnit qavrayıcılığı, ferromaqnit, superparamaqnit

Calculation of magnetic parameters of iron-contained nanoparticles

Summary

Some values of magnetic parameters of iron-containing nanoparticles were calculated. The result of the calculations show that starting from 5 nm, the dimensions often, Fe_n , $(FeO)_n$, $(Fe_2O_3)_n$, $(Fe_3O_4)_n$ nanoparticles behave themselves as magnetic materials.

Key words: iron-containing nanoparticles, magnetic saturation, magnetic perception, ferromagnetic, superparamagnetic

Giriş

Nanohissəciklərin fiziki-kimyəvi xassələrinin tədqiqi nanotexnologiyanın əsas məsələlərindən biridir. Nanoölçülü nanokristalların fiziki-kimyəvi xassələri onların ölçülərindən güclü surətdə asılıdır, ona görə də bu kristalların yaradılması böyük əhəmiyyət kəsb edir. Maqnit xassəli nanohissəciklərin ölçüsü çox kiçik olur və müəyyən bir həddə çatırsa, onların maqnit xassəsi paramaqnetizmə xassəsinə çevrilir. Bu həddlərin ölçüsü 5-10 nm aralığında olur. Bu ölçülərdə biologiya, kimya və fizika sahələrində son illərdə bir çox nailiyyətlər əldə edilmişdir. Maqnit xassəli nanohissəciklərin geniş tətbiq sahələri olan biotexnologiya, təbabət, materialşünaslıq, mühəndislik və s. sahələr müxtəlif növ maqnit xassəli nanohissəciklərin birgə sintezinə əsaslanır.

Biotibbi istifadə üçün otaq temperaturunda superparamaqnitik xassə göstərən nanohissəciklərin tətbiqinə üstünlük verilir. Bundan əlavə tibb terapiya biologiyada maqnit nanohissəciklərin suda dayanıqlı qalması xassəsindən istifadə olunur. Maqnit materialları məlumatların saxlanması üçün də istifadə olunur. İnformasiya daşıyıcılarında nanohissəciklərin dayanıqlı olması temperatur dəyişmələri təsir göstərməyən informasiya bitlərini xarakterizə etmək üçün dəyişən maqnit sahəsi olmalıdır. Məlumat materiallarının müəyyən bir istiqamətdə maqnitləşdirilməsi ilə saxlanılır. Məsələn kredit kartları və bank maşın kartlarında maqnit xassəli γ - Fe_2O_3 və ya Fe_3O_4 nanoissəciklərindən istifadə edilir. Daimi maqnitlər, səsucaldıcılar, mühərriklər, generatorlar, məlumat saxlayıcı qurğularda, mineralların ayrılması daxil olmaqla bir çox tətbiqlərdə istifadə olunur. Ferritlər simsiz rabitə, induktor kimi tətbiqlərdə və mikroelektronikada istifadə olunur.

Çoxsaylı təcrübələrdən məlumdur ki, nanohissəciklərin maqnit xassələri bir çox amillərdən kristal qəfəsin növündən, ölçüsü, forması, atomların sayından və s. asılıdır. Nanohissəciklərin tərkibi, quruluşu, ölçüsünü dəyişməklə materialın maqnit xassələrini müəyyən etmək olar. Bu işdə dəmir tərkibli nanohissəciklərinin ölçünü dəyişməklə uyğun nanohissəciklərin maqnit parametrləri hesablanmışdır. Alınmış nəticələr əsasında onların maqnit xassələri müəyyən olunmuşdur.

NANOHISSƏCİKLƏRİN MAQNİT PARAMETRLƏRİNİN HESABLANMASI DÜSTURLARI

Nanohissəciklərin tərkibini, quruluşunu və ölçüsünü dəyişməklə materialın maqnit xüsusiyyətlərini idarə etmək olar. Müəyyən edilmişdir ki, maqnit xassəli nanohissəciklərin ölçüsü kiçilərək müəyyən bir həddə çatırsa onların maqnit xassəsi paramaqnetizmə çevrilir. Bu həddin ölçüsü 5-10 nm aralığında olur. Dəmir tərkibli nanohissəciklərin maqnit xassəsini xarakterizə edən kəmiyyətlərin qiymətlərinə əsasən onların maqnit xassələri haqqında fikir söyləyə bilərik. Nanohissəciyin maqnit xassəsini müəyyənləşdirmək üçün əvvəlcə onun maqnit doyması qiymətini bilmək lazımdır. Nanohissəciyin maqnit doymasını təyin etmək üçün

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

düsturundan istifadə etmək olar. Burada M_{sb} həcmi materialın maqnit doyması xarakterizə edir və ölçü vahidi A/m . D - kürə formalı təsəvvür edilən nanohissəciyin ölçüsü, d - səth qabağının qalınlığıdır. d həmin nanohissəciyi təşkil edən atomların yerləşdiyi kürənin r_h radiusu ilə təyin oluna bilər. $d < r_h$, M_s - nanohissəciyin maqnit doyması olub ölçü vahidi A/m . Nanohissəciyin maqnit doyması məlum olduqda, onun öz-özünə maqnitlənməsini hesablamaq üçün

$$M_{sp} = M_s \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{T}{T_c}\right)^{1,2}\right) \quad (2)$$

düsturundan istifadə etmək olar. Burada T - nanohissəciyin temperaturu, T_c - həcmi materialın Küri temperaturudur. T_c maqnit materiallar üçün keçid temperaturdur, M_{sp} - nanohissəciyin öz-özünə maqnitlənməsi, ölçü vahidi A/m . T_c temperaturundan böyük qiymətlərdə nizamlı maqnit domenləri əmələ gəlmədiyinə görə öz-özünə maqnitlənmə yaranmır. Nanohissəcik üçün digər əhəmiyyətli maqnit kəmiyyətlərdən biri maqnit qavrayıcılığıdır. Bu adsız kəmiyyət olub materialın fundamental xassəsini xarakterizə edir. Materialın maqnit sahəsində necə maqnitlənməsini xarakterizə edir. Nanohissəciyin maqnit qabiliyyəti onun V həcmdən, T temperaturundan, həmçinin M_{sp} öz-özünə maqnitlənməsindən asılı olaraq aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

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

Burada χ - nanohissəciyin maqnit qavrayıcılığı, $V = \frac{4}{3}\pi(D/2)^3$ kürə formalı təsəvvür olunan nanohissəciyin həcmi, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$ vakuumdə materialın maqnit nüfuzluğu, $k_0 = 1.38065 \cdot 10^{-23} C/K$ Bolsman sabitidir. Nanohissəciyin maqnit xassəsindən asılı olaraq χ maqnit qavrayıcılığının ala biləcəyi qiymətlər cədvəl 1-də verilmişdir:

Cədvəl 1

χ maqnit qabiliyyətinin qavrayıcılığı

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

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

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) \quad (4)$$

$$m_0 = M_s \cdot V \quad (5)$$

MAQNİT PARAMETRLƏRİNİN HESABLANMASI

Ölçüləri $D = 2$ nm, 5 nm, 10 nm, 15 nm, 20 nm, 25 nm və 30 nm olan Fe_n nanohissəciyi üçün $T_c = 1043 K$, $T = 300K$, $M_{sb} = 1,747278 \cdot 10^6 A/m$, $d = 0,234 \cdot 10^{-9} m$; $(FeO)_n$ nanohissəciyi üçün $T_c = 858K$, $T = 300K$, $M_{sb} = 6,04788784 \cdot 10^5 \frac{A}{m}$, $d = 0,38 \cdot 10^{-9} m$; $(Fe_2O_3)_n$ nanohissəciyi üçün $T_c = 858K$, $T = 300K$, $M_{sb} = 6,04788784 \cdot 10^5 \frac{A}{m}$, $d = 0,614 \cdot 10^{-9} m$.

$10^{-9}m$; $(Fe_3O_4)_n$ nanohissəciyi üçün $T_c = 858K$, $T = 300K$, $Msb = 7,32112738 \cdot 10^5 \frac{A}{m}$,
 $d = 0,68 \cdot 10^{-9}m$ qiymətlərini (1)-(5) düsturlarında nəzərə alıb ayrı-ayrılıqda baxılan dəmir
 tərkibli nanohissəciklər üçün maqnit doymasını M_s , öz-özünə maqnitlənməni M_{sp} , maqnit momenti
 m_0 , maqnit nüfuzluğu μ və maqnit qavrayıcılığı χ – nın qiymətlərini hesablamaq olar:

$(Fe)_n$ nanohissəciyi üçün:

$D = 2 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \pi \left(\frac{2 \cdot 10^{-9}}{2} \right)^3 = 4,188790205 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 1,727478 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}} \right)^3 = 0,77642379033 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 0,77642379033 \cdot 10^6 \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27} = 3,252276367854 \cdot 10^{-21} \text{ A} \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 0,77642379 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{1043} \right)^{1,2} \right) = 0,7242052865 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$\chi = (0,7242052865 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 0,22212648$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 0,22212648422137) \approx 15,357694338349 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$D = 5 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{5 \cdot 10^{-9}}{2} \right)^3 = 65,44984695 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 1,747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-9}} \right)^3 = 1,301133022463 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 1,301133022463 \cdot 10^6 \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27} = 85,15895718179 \cdot 10^{-21} \text{ A} \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 1,301133022463 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{1043} \right)^{1,2} \right) = 1,213625117019 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$\chi = (1,213625117019 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 9,7468908010559$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 9,7468908010559) \approx 135,0494127581153 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$D = 10 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{10 \cdot 10^{-9}}{2} \right)^3 = 523,598775598 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 1,747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-9}} \right)^3 = 1,513261941658 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 1,513261942 \cdot 10^6 \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27} = 792,3420998 \cdot 10^{-21} \text{ A} \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 1,5132619417 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{1043} \right)^{1,2} \right) = 1,41148727234 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$\chi = (1,41148727234 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 105,4729048$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 105,4729048) \approx 1337,977968869 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$D = 15 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{15 \cdot 10^{-9}}{2} \right)^3 = 1767,14586764 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 1,747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{15 \cdot 10^{-9}} \right)^3 = 1,588782322936 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 1,588782322936 \cdot 10^6 \cdot 1767,14586764 \cdot 10^{-27} = 2807,614579064 \cdot 10^{-21} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 1,588782322936 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{1043}\right)^{1,2}\right) = 1,48192851852699285 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$X = (1,481928518526993 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1767,14586764 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 392,387589428$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 392,387589428) \approx 4943,45424385 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 20 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{20 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 4188,790205 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 1,747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-9}}\right)^3 = 1,627466915319765 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$m_0 = M_s \cdot V = 1,627466915 \cdot 10^6 \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27} \approx 6817,11740968 \cdot 10^{-21} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 1,62746691532 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{1043}\right)^{1,2}\right) \approx 1,51801137258 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$X = (1,51801137258038 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 975,9487489$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 975,9487488) \approx 12276,7 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 25 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{25 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 8181,230868723 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_{sb} = 1,747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{25 \cdot 10^{-9}}\right)^3 = 1,65097 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 1,6509763449 \cdot 10^6 \cdot 8181,230868723 \cdot 10^{-27} = 13507,018637 \cdot 10^{-21} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 1,65097 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{1043}\right)^{1,2}\right) \approx 1,5399396718 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$\chi = (1,539939671818 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8181,230868723 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 1961,617896$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 1961,617896) \approx 24662,9838582259 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 30 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{30 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 14137,166941154 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 1,747278 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,234 \cdot 10^{-9}}{30 \cdot 10^{-9}}\right)^3 = 1,6667744089 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 1,6667744089 \cdot 10^6 \cdot 14137,16694 \cdot 10^{-27} = 23563,46807 \cdot 10^{-21} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 1,6667744089 \cdot 10^6 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{1043}\right)^{1,2}\right) \approx 1,554675235 \cdot 10^6 \text{ A/m}$$

$$\chi = (1,554675234539 \cdot 10^6)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 14137,1669 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 3454,857$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 3454,857173525) \approx 43427,5820328 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

(FeO)_n nanohissəcisi üçün:

D = 2nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{2 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 4,188790205 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 1,44138 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 1,44138101 \cdot 10^5 \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27} \approx 6,037642669 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 1,441381013 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 1,3188458278 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (1,318845827821838 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 0,007366565$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 0,00736656492541799) \approx 12,658943138514 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 5 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{5 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 65,44984695 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 3,688 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 3,68800313188 \cdot 10^5 \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27} \approx 241,3792405325 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 3,688 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 3,374477 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (3,374477324 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 0,75371198$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 0,7537119842) \approx 22,0377947449 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 10 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{10 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 523,598775598 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 4,771112335 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 4,771112335359068 \cdot 10^5 \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27} \approx 2498,148577035 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 4,771112335 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 4,36550887 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (4,365508869779 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 10,091416465$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 10,091416465) \approx 139,3788499 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 15 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{15 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 1767,14586764 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{15 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 5,174399058 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 5,174399058 \cdot 10^5 \cdot 1767,1458676 \cdot 10^{-27} \approx 9143,9179131 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 5,174399 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 4,734511241 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (4,734511241 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1767,14586764 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 40,050787093977$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 40,050787) \approx 515,859404634 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 20 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{20 \cdot 10^{-9}}{2} \right)^3 = 4188,790205 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-9}} \right)^3 \approx 5,3842962167 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 5,384296217 \cdot 10^5 \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27} \approx 22553,68725 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 5,38429621666 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858} \right)^{1,2} \right) \approx 4,926564549 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (4,926564549 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 102,793479342$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 102,79342) \approx 1304,3065847288 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 25 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{25 \cdot 10^{-9}}{2} \right)^3 = 8181,230868723 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{25 \cdot 10^{-9}} \right)^3 \approx 5,5129182049 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 5,5129182049 \cdot 10^5 \cdot 8181,230868723 \cdot 10^{-27} \approx 45102,45659470 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 5,5129182 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858} \right)^{1,2} \right) \approx 5,044252080064 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (5,04425208 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8181,230868723 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 2104,7502207$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 2104,750220768) \approx 26461,637695 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

D = 30 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{30 \cdot 10^{-9}}{2} \right)^3 = 14137,166941154 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{30 \cdot 10^{-9}} \right)^3 \approx 5,599794235 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 5,59979424 \cdot 10^5 \cdot 14137,166941154 \cdot 10^{-27} \approx 79165,22594216 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 5,5997942354 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858} \right)^{1,2} \right) \approx 5,12374257517 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (5,12374257517 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 14137,166941154 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300} \right) \approx 3752,5401043$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 3752,5401043018) \approx 47168,3760665 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

(Fe₂O₃)_n nanohissəciyi üçün:

D = 2 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{2 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 4,188790205 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,614 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 0,347828883291 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 0,34782888 \cdot 10^5 \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27} \approx 1,4569822193457 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 1,456982219 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 1,3331207388 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (1,3331207388 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 0,007526896263$$

$$\mu = \mu_0 \cdot (1 + \chi) = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 0,007526896263) \approx 12,6609563823775 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 5 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{5 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 65,44984695 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,614 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 2,59662221089 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 2,596622210889588 \cdot 10^5 \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27} \approx 169,94852629 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 2,5966222109 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 2,375877258 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (2,375877258 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 0,3736288417685$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 0,3736288417685) \approx 17,26152911 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 10 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{10 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 523,598775598 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,614 \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 4,0822499976 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 4,0822499976 \cdot 10^5 \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27} \approx 2137,4611 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 4,0822499976 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 3,7352083373056 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (3,7352083373 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 2,9890307341366$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 2,9890307341366) \approx 50,127640135562 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 15 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{15 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 1767,14586764 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,614 \cdot 10^{-9}}{15 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 4,680809789 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 4,68080979 \cdot 10^5 \cdot 1767,14586764 \cdot 10^{-27} \approx 8271,67367620 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 4,680809789 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 4,282883155 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (4,28288315521 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1767,14586764 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 32,77428333029$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 32,77428333029) \approx 424,4201745875 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 20 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{20 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 4188,790205 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,614 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 5,000867847468 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 5,0008678474 \cdot 10^5 \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27} \approx 20947,58625597 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 5,000867847 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 4,575732326 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (4,5757323261714 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 88,674384598$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 88,674384598) \approx 1126,8815860467 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

$D = 25 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{25 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 8181,230868723 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,614 \cdot 10^{-9}}{25 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 5,199730886 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 5,19973089 \cdot 10^5 \cdot 8181,230868723 \cdot 10^{-27} \approx 42540,198837199 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 5,199730886 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 4,75768955 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (4,75768955 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8181,230868723 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 187,240244816865$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 187,2402448) \approx 2365,49675349955 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

$D = 30 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{30 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 14137,166941154 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 6,04788784 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,614 \cdot 10^{-9}}{30 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 5,33519281 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 5,33519281 \cdot 10^5 \cdot 14137,16694 \cdot 10^{-27} \approx 75424,51142416 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 5,33519281 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 4,88163553879 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (4,8816355388 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 14137,166941154 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 340,628861052$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 340,62886105248996) \approx 4283,034880547 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

$(Fe_3O_4)_n$ nanohissəciyi üçün:

$D = 2 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{2 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 4,188790205 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 7,32112738 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 1,744829646 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 1,74482964622 \cdot 10^5 \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27} \approx 7,30872533148 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 1,744829646 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 1,59649695 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (1,5964969526879 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,188790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 0,0107947639$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 0,01079476392798) \approx 12,702021618571 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 5 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{5 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 65,44984695 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 7,32112738 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,68 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 2,8246985118 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 2,824698512 \cdot 10^5 \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27} \approx 184,867085278 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 2,824698512 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 2,5845642569 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (2,584564256926 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 65,44984695 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 0,442147384823$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 0,442147384823) \approx 18,122558518 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 10 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{10 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 523,598775598 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 7,32112738 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,68 \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 4,72192615 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 4,72192615 \cdot 10^5 \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27} \approx 2472,39475 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 4,72192615 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 4,320504119 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (4,3205041186 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 523,598775598 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 9,88442081564$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 9,8844208156) \approx 136,7776658919 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 15 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{15 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 1767,14586764 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 7,32112738 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,68 \cdot 10^{-9}}{15 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 5,5048729105 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 5,50487291 \cdot 10^5 \cdot 1767,1458676 \cdot 10^{-27} \approx 9727,91341568 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 5,50487291 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 5,036890735 \cdot 10^5 A/m$$

$$\chi = (5,036890735 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1767,14586764 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 45,3300096$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 45,33000960216) \approx 569,6337006132 \cdot 10^{-7} N/A^2$$

D = 20 nm olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{20 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 4188,790205 \cdot 10^{-27} m^3$$

$$M_s = 7,32112738 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,68 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 5,919588059 \cdot 10^5 A/m$$

$$m_0 = 5,919588058659 \cdot 10^5 \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27} \approx 24795,9124777 \cdot 10^{-22} A \cdot m^2$$

$$M_{sp} = 5,919588 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 5,41634997 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (5,4163499744 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 4188,790205 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 124,24828356328$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 124,24828356328) \approx 1561,3500273693 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$D = 25 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{25 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 8181,230868723 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 7,32112738 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,68 \cdot 10^{-9}}{25 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 6,1901383234 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 6,19013832338 \cdot 10^5 \cdot 8181,2308687 \cdot 10^{-27} \approx 50642,950736 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 6,1901383234 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 5,663900126 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (5,66390012568 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 8181,230868723 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 265,361658887$$

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (1 + 265,361658887) \approx 3347,199323 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

$D = 30 \text{ nm}$ olduqda:

$$V = \frac{4}{3}\pi \left(\frac{30 \cdot 10^{-9}}{2}\right)^3 = 14137,166941154 \cdot 10^{-27} \text{ m}^3$$

$$M_s = 7,32112738 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot 0,68 \cdot 10^{-9}}{30 \cdot 10^{-9}}\right)^3 \approx 6,3699091746 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$m_0 = 6,36990917 \cdot 10^5 \cdot 14137,16694 \cdot 10^{-27} \approx 90052,4694 \cdot 10^{-22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$$

$$M_{sp} = 6,369909175 \cdot 10^5 \cdot \left(1 - 0,3 \cdot \left(\frac{300}{858}\right)^{1,2}\right) \approx 5,82838823456 \cdot 10^5 \text{ A/m}$$

$$\chi = (5,82838823456 \cdot 10^5)^2 \cdot \left(\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 14137,166941154 \cdot 10^{-27}}{3 \cdot 1,38065 \cdot 10^{-23} \cdot 300}\right) \approx 6144,36065 \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2.$$

Nəticələr cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2.

Dəmir tərkibli nanohissəciklərinin maqnit parametrlərinin hesablanmış qiymətləri

Nano-hissəcik	Ölçüsü nm	Maqnit doyması M_s (A/m)	Öz-özünə maqnitlənmə M_{sp} (A/m)	Maqnit momenti m_0 ($\text{A} \cdot \text{m}^2$)	Maqnit nüfuzluğu μ (N/A^2)	Maqnit qabiliyyəti χ
Fe	2	$0,7764 \cdot 10^6$	$0,7242 \cdot 10^6$	$3,25228 \cdot 10^{-21}$	$15,3577 \cdot 10^{-10}$	0,22213
	5	$1,3011 \cdot 10^6$	$1,2136 \cdot 10^6$	$85,15896 \cdot 10^{-21}$	$135,049 \cdot 10^{-7}$	9,74689
	10	$1,5133 \cdot 10^6$	$1,4115 \cdot 10^6$	$792,342 \cdot 10^{-21}$	$1337,978 \cdot 10^{-7}$	105,4729
	15	$1,58878 \cdot 10^6$	$1,4819 \cdot 10^6$	$2807,615 \cdot 10^{-21}$	$4943,454 \cdot 10^{-7}$	392,3876
	20	$1,62747 \cdot 10^6$	$1,51801 \cdot 10^6$	$6817,12 \cdot 10^{-21}$	$12276,7 \cdot 10^{-7}$	975,949

	25	1,65098 · 10 ⁶	1,5399 · 10 ⁶	13507,0186 · 10 ⁻²¹	24662,984 · 10 ⁻⁷	1961,618
	30	1,6668 · 10 ⁶	1,554675 · 10 ⁶	23563,468 · 10 ⁻²¹	43427,582 · 10 ⁻⁷	3454,857
<i>FeO</i>	2	1,44138 · 10 ⁵	1,31885 · 10 ⁵	6,0376 · 10 ⁻²²	12,6589 · 10 ⁻⁷	0,00737
	5	3,688 · 10 ⁵	3,37448 · 10 ⁵	241,379 · 10 ⁻²²	22,0378 · 10 ⁻⁷	0,75371
	10	4,77111 · 10 ⁵	4,3655 · 10 ⁵	2498,15 · 10 ⁻²²	139,379 · 10 ⁻⁷	10,0914
	15	5,17439 · 10 ⁵	4,73451 · 10 ⁵	9143,92 · 10 ⁻²²	515,859 · 10 ⁻⁷	40,0508
	20	5,38429 · 10 ⁵	4,92656 · 10 ⁵	22553,7 · 10 ⁻²²	1304,307 · 10 ⁻⁷	102,793
	25	5,51292 · 10 ⁵	5,044252 · 10 ⁵	45102,5 · 10 ⁻²²	26461,64 · 10 ⁻⁷	2104,75
	30	5,5998 · 10 ⁵	5,12374 · 10 ⁵	79165,2 · 10 ⁻²²	47168,38 · 10 ⁻⁷	3752,54
<i>Fe₂O₃</i>	2	0,347828 · 10 ⁵	1,33312 · 10 ⁵	1,45698 · 10 ⁻²²	12,66097 · 10 ⁻⁷	0,007527
	5	2,596622 · 10 ⁵	2,37588 · 10 ⁵	169,949 · 10 ⁻²²	17,26153 · 10 ⁻⁷	0,373629
	10	4,08225 · 10 ⁵	3,73521 · 10 ⁵	2137,46 · 10 ⁻²²	50,12764 · 10 ⁻⁷	2,98903
	15	4,68081 · 10 ⁵	4,28288 · 10 ⁵	8271,67 · 10 ⁻²²	424,42017 · 10 ⁻⁷	32,7743
	20	5,000868 · 10 ⁵	4,57573 · 10 ⁵	20947,6 · 10 ⁻²²	1126,8816 · 10 ⁻⁷	88,6744
	25	5,19973 · 10 ⁵	4,75769 · 10 ⁵	42540,2 · 10 ⁻²²	2365,4968 · 10 ⁻⁷	187,24024
	30	5,335193 · 10 ⁵	4,88164 · 10 ⁵	75424,5 · 10 ⁻²²	4283,0349 · 10 ⁻⁷	340,6289
<i>Fe₃O₄</i>	2	1,7448 · 10 ⁵	1,5965 · 10 ⁵	7,3087 · 10 ⁻²²	12,702 · 10 ⁻⁷	0,01079
	5	2,8247 · 10 ⁵	2,5846 · 10 ⁵	184,867 · 10 ⁻²²	18,1226 · 10 ⁻⁷	0,4421
	10	4,7219 · 10 ⁵	4,3205 · 10 ⁵	2472,39 · 10 ⁻²²	136,778 · 10 ⁻⁷	9,88442
	15	5,5049 · 10 ⁵	5,0369 · 10 ⁵	9727,9 · 10 ⁻²²	569,634 · 10 ⁻⁷	45,33
	20	5,9196 · 10 ⁵	5,41635 · 10 ⁵	24795,9 · 10 ⁻²²	1561,35 · 10 ⁻⁷	124,248
	25	6,19014 · 10 ⁵	5,6639 · 10 ⁵	50642,95 · 10 ⁻²²	3347,199 · 10 ⁻⁷	265,362
	30	6,3699 · 10 ⁵	5,8284 · 10 ⁵	90052,469 · 10 ⁻²²	6144,36 · 10 ⁻⁷	485,565

Nəticə

Dəmir və dəmir oksid nanohissəcikəri üçün müxtəlif ölçülərdə maqnit kəmiyyətlərinin qiymətləri hesablanmışdır. Cədvəldən görüldüyü kimi dəmir nanohissəciyinin ölçüləri artdıqca onların maqnit xüsusiyyətlərini xarakterizə edən kəmiyyətlərin qiymətləri də artır. Bu isə nanohissəciyin xassələrinin onun ölçü və formasından asılı olduğunu göstərir. Maqnit parametrlərinin hesablanmış qiymətlərinə əsasən $(Fe)_n$ və $(FeO)_n, (Fe_2O_3)_n, (Fe_3O_4)_n$ nanohissəciklərinin ölçülərinin artması ilə paramaqnit xassəsinin ferromaqnit xassəsi ilə əvəz olduğunu demək olar. 5 nm-dən kiçik ölçülərdə baxılan nanohissəciklər paramaqnit, 5 nm –dən böyük qiymətdə isə özlərini maqnit xassəli materiallar kimi aparırlar.

Ədəbiyyat

1. 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.
2. Rodriguez, F. R. Study of magnetic susceptibility of magnetite nanoparticles / F. R. Rodriguez, A. C. Oliveira, and P. C. Moraisa // Journal of Applied Physics –2003., volume 93, number 10, –4 p.