



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



Projekts Nr. 2011/0001/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/007

**JAUNA METODE NANOKOMPOZĪTU MATERIĀLU
FIZIKĀLO PARAMETRU NOTEIKŠANAI**

01.04.2011 – 31.12.2013

Latvijas Universitātes Fizikas institūts

ATSKAITE - ANOTĀCIJA

Aktivitate 1.1.

FEROKOLOĪDU MAGNETIZĀCIJAS ĪPATNĪBAS TEMPERATŪRAS INTERVĀLĀ LĪDZ 120 C

Atskaite-annotācija

1.1.1. Mēriekārta

Vibrācijas magnetometrs, papildināts ar zemas temperatūras kameru.

Projekta vajadzībām izstrādāta, izgatavota un apgūta ierīce vibrācijas magnetometra LakeShore Model 340 parauga temperatūras automātiskai regulēšanai [3.3]. Temperatūras režīms tiek nodrošināts un kontrolēts cilindriskā kamerā, kurā iegremdēts pētāmais paraugs. Kameru aptver vakuuma apvalks, kas savienots ar vakuumsūkni. Lai nodrošinātu efektīvu temperatūras kameras dzesēšanu un novērstu sienu apledojuumu, apvalkā tiek nodrošināts retinājums 10^{-3} mm Hg. Kameras apakšējā daļa savienota ar teflona pamatni, caur kuru kamerā iepludina aukstumnesēju (šķidrslāpekļis). Kameras aukstumnesēja plūsmā ievietots regulējamas strāvas nihroma sildelements un hromela-alumela termopāris temperatūras režīma kontrolei. Iekārta nodrošina mērāmā parauga temperatūru intervālā no šķidra slāpekļa vārīšanās temperatūras (-195 C) līdz +150 C ar intervālu 1 C.

Projekta pārskatu periodu atskaites

[3.3] Plaša temperatūras diapazona magnētisko mērījumu papildierīce vibrācijas magnetometram, Atskaite, 8 lpp. un akts

1.1.2. Magnetizācijas datu kopa

Projekta pamatzdevums ir nodrošināt moderno ferokoloīdu tehnoloģiskos pētījumus ar jaunām pētniecības metodēm, kā arī dziļāk un precīzāk raksturot dispersiju iekšējos parametrus, kas būtiski ietekmē nanokompozītu stabilitāti. Galvenā vērtība tiek veltīta nanodaļiņu dispersā sastāva noteikšanai, tam nolūkam izstrādājot jaunu magnētiskās granulometrijas metodi, kas piemērojama paaugstinātas koncentrācijas ferokoloīdiem. Uzdevuma veikšanai nepieciešams plašs dažādu sastāvu un īpašību magnētisko koloīdu spektrs. Ferokoloīdi tika sintezēti, izmantojot dažādus nesējšķidrums, magnētiskās nanodaļiņas un virsmas aktīvās vielas, kā arī variējot izgatavošanas tehnoloģisko procesu. Kā magnētisko nanodaļiņu materiāli tika izmantoti špineļa kristaliskās struktūras vienkāršie un saliktie ferīti. Špineļu ferīti tika iegūti, veicot attiecīgo metālu sāļu šķīdumu līdzgulsnēšanu ar sārnu. Par nesējvielām tika izmantoti piesātinātie lineārie ogļūdeņraži C_nH_{n+2} , ēsteri, polisiloksāni, eļļas, destilēts ūdens. Kā virsmas aktīvā viela (VAV) tika izmantota oleīnskābe, laurīnskābe, oktadekanols. Metodes būtība ir šāda: attiecīgo metālu sāļus noteiktā molārā attiecībā izšķīdina destilētā ūdenī, pēc tam šķīdumu intensīvi maisot, izgulsnē magnētisko fāzi ar sārnu.

Variējot izgatavošanas tehnoloģijas parametrus un ķīmiskos reaģentus, līdzīgulsnēšanas metode dod iespēju iegūt ferītu saturošus nanokoloīdus ar dažādām fizikāli- tehnoloģiskām īpašībām, kuras pieprasa materiāla pielietošanas nozarei.

Daudzos perspektīvos pielietojumos nepieciešami t.s. temperatūras jutīgie nanokoloīdi, kam piemīt spēcīgi izteiktas piromagnētiskās īpašības. Pētījumos tika veikta perspektīvāko materiālu nanodaļiņu sintēze ar nolūku panākt pēc iespējas jutamāku materiāla piesātinājuma magnetizācijas atkarību no temperatūras. Tam nolūkam tika izmantoti ķīmiski stabilie špineļa tipa jauktie ferīti ar dažādu divvērtīgo un trīsvērtīgo metāla jonu attiecību kombināciju, bet saglabājot špineļa struktūras veidošanai nepieciešamo trīsvērtīgo un divvērtīgo metālu jonu attiecību 2:1. Kopumā tika izgatavota virkne dažāda sastāva termojūtīgu magnētisko koloīdu [3.2.,4.8.,7.1.,8.5.].

Daudzas pielietošanas nozares savukārt izvirza dažādas specifiskas prasības magnētisko koloīdu īpašībām: augstu stabilitāti gravitācijas un nehomogēnos magnētiskos laukos, paaugstinātās temperatūrās, porainās vielās un ķīmiski agresīvās vidēs. Variējot sintēzes tehnoloģiju un magnētiskā koloīda sastāvdaļu komponentes, tika izgatavota virkne magnētisko koloīdu paraugu ar nepieciešamajām īpašībām.

Lai novērtētu sintezēto paraugu atbilstību uzdotajām prasībām, tika veikta katra parauga vispusīga testēšana. Pēc ķīmiskās sintēzes visi paraugi tika pakļauti centrifugēšanai pie paātrinājuma, kas 8000 reizes pārsniedz zemes gravitācijas lauka paātrinājumu (pievienotajā tabulā atzīmēts ar g). Pēc tam koloīdi tika filtrēti caur smalkporainu (poru vidējais izmērs 1 μm) filtrpapīru (tabulā atzīmēts F). Vairākiem paraugiem tika veikta liela gradienta magnētiskā lauka separācija (LGMS), pēc kuras tika izdalīta rupjā (r.f.) un smalkā frakcijas (s.f.).[2.3].

Visiem paraugiem, izmērot magnetizācijas līknes ar vibrējoša parauga magnetometru, tika izdarīta koloīda vispusīga magnētisko īpašību analīze. No magnetizācijas līknes tika noteikta nanodaļiņu magnētisko momentu spektrālā sadalījuma funkcija. Esošajam magnetometram tika izveidots un iebūvēts papildus modulis [3.3], tas radīja iespēju veikt magnetizācijas mērījumus plašā temperatūru diapazonā, sākot ar koloīda cieto agregātstāvokli un beidzot ar tā viršanas temperatūru. Daļai paraugu nanodaļiņu izmēru analīzei tika izdarīti transmisijas elektronmikroskopijas (TEM) un rentgenstaru difrakcijas spektra (RDS) uzņēmumi [2.3., 7.1]. Mērījumu rezultātu salīdzināšana liecināja, ka magnetogranulometrijas metode dod rezultātus, kas vairumā gadījumu pietiekoši labi sakrīt ar transmisijas elektronmikroskopijas un rentgenstaru difrakcijas uzņēmumu datiem. Viens no paraugiem (DF-111) tika sintezēts ar mērķi, lai magnētisko nanodaļiņu visvarbūtīgākajiem magnētiskajiem momentiem un izmēriem būtu divi maksimumi. Izstrādātā magnetogranulometrijas metode perfekti parādīja šo spektrālo sadalījumu. Lai pārbaudītu izstrādātās magnetogranulometrijas metodes pielietojamību koloīdiem ar lielu daļiņu magnētisko sadarbību, tika izgatavoti specifiski paraugi (DF-102, PS-1 un DF-113 R) [8.6]. Mērījumi parādīja, ka izstrādātā magnetogranulometrijas metode labi pielietojama arī šādos gadījumos.

Magnētisko nanokoloīdu paraugu raksturojumi apkopoti Tabulā 1.

Tabula 1.

Paraugs	Nanodaļiņu . sastāvs	Nesēj šķidrums	VAV	Magnetizācija M_s , emu/g	Daļiņu. vidējais. izmērs, nm	Apstrāde	Papildus veiktās analīzes
DF-93	Fe_3O_4	Petroleja	$C_{18}H_{34}O_2$	12,1	5,1	g,F	RSD.,TEM.
DF-95	Fe_3O_4	$C_{18}H_{34}O_3$	$C_{18}H_{34}O_2$	15,6	5,4	g,F	-
DF-100	Fe_3O	$C_{14}H_{30}$	$C_{18}H_{34}O_2$	2,51	9,2	g,F	RSD,TEM.
DF-102	Fe_3O_4	$C_{14}H_{30}$	$C_{18}H_{34}O_2$	18,4	8,52	g,F, LGMS, s.f.	-
DF-103	$Fe_{1,9}Gd_{0,1}Mn_{0,6}Zn_{0,4}O_4$	$C_{14}H_{30}$	$C_{18}H_{34}O_2$	7,83	8,4	g,F	dM/DT
DF-104	Fe_3O_4	$C_{12}H_{26}$	$C_{18}H_{34}O_2$	8,42	9,3	g, F, LGMS, r.f.	-
DF-105	Fe_3O_4	$C_{14}H_{30}$	$C_{18}H_{34}O_2$	13,2	7,3	g, F, LGMS, s.f.	-
DF-106	Fe_3O_4	$C_{14}H_{30}$	$C_{18}H_{34}O_2$	14,3	7,3	g,F, LGMS, s.f.	-
DF-109	Fe_3O_4	$C_{11}H_{24}$	$C_{18}H_{34}O_2$	12,5	11,5	g,F, LGMS, r.f.	-
DF-110	Fe_3O_4	$C_{15}H_{32}$	$C_{18}H_{34}O_2$	12,3	8,4	g, F	-
DF-111	$Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$	$C_{12}H_{26}$	$C_{18}H_{34}O_2$	11,9	6,38	g, F	dM/DT
DF-112	$Fe_2Mn_{0,3}Zn_{0,6}Ca_{0,1}O_4$	$C_{12}H_{26}$	$C_{18}H_{34}O_2$	9,1	6,3	g, F	dM/DT
DF-113	$Mn_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$	$C_{14}H_{30}$	$C_{18}H_{34}O_2$	9,67	11,8	g, F, LGMS, r.f.	dM/DT
UM-2	$CoFe_2O_4$	H_2O	$C_{18}H_{33}O_2Na$	10,4	12,3	g, F	-
PG-1	$Fe_{1,9}Gd_{0,1}Zn_{0,3}Cu_{0,15}Ca_{0,05}O_4$	$C_{14}H_{30}$	$C_{18}H_{34}O_2$	11,3	8,6	g, F	dM/DT
TL-6	Fe_3O_4	Toluols	$C_{18}H_{34}O_2$	9,07	9,1	g,F, LGMS, r.f.	RSD.
TL-7	Fe_3O_4	Toluols	$C_{18}H_{34}O_2$	11,6	8,8	g,F, LGMS, s.f.	RSD.
U-5	Fe_3O_4	$C_{11}H_{24}$	$C_{18}H_{38}O$	9,8	7,2	g,F, LGMS, s.f.	-
S-1	Fe_3O_4	Di(etilheksil)se- bacināts	$C_{18}H_{34}O_2+$ laurīnskābe	6,75	5,3	g,F, LGMS	-
PS-1	Fe_3O	polisiloksāns	$C_{18}H_{34}O_2$	21,8	8,7	g, F	-

Projekta atskaites (pirmais indekss nozīmē pārskata etapu)

- [1.6] M.Maierov, G.Kronkalns, M.Kodols, M.Lubane, E.Blums. Fractionation and size determination of the ferrite nanoparticles, *International conference FM&NT Functional materials and nanotechnologies 2011-05-02*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, Aril 5 – 8, Riga, Abstracts, PO-94, p.184 and Poster.
- [2.3] G. Kronkalns, M. Kodols, M. Maierov, Change of phase composition of magnetic fluid nanoparticles after HGMS, *Proc. 8th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Borgo, Corsics, France, September 5 – 9, 2011, Vol.2, p. 957 – 962.
- [3.1] Manickam Sivakumar, Atsuya Towataa, Kyuichi Yasuia, Toru Tuziuti, Teruyuki Kozuka, Yasuo Iida, Michail M. Maierov, Elmars Blums, Dipten Bhattacharya, Neelagesi Sivakumar , M. Ashok. Ultrasonic cavitation induced water in vegetable oil emulsion droplets – A simple and easy technique to synthesize manganese zinc ferrite nanocrystals with improved magnetization. *Ultrasonics Sonochemistry* **19** (2012) 652–658.
- [3.2] G. Kronkalns, M.M.Maierov, E.Blums. Heating of magnetic fluids by a low frequency alternating magnetic field. *Magnetohydrodynamics* **47** (2011), No. 3, 249–264.
- [4.8] G. Kronkalns, M.Maierov, E. Blums, Synthesis of Ferrite Nanoparticles for the Magnetic Fluids of Various Practical Applications *International Conference FMNT Functional Materials and Nanotechnologies 2012*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 17-20, Riga 2012, Abstracts, p. 244 and Poster.
- [7.1].G. Kronkalns, M. Kodols, M.M. Maierov, Change of Structure, Composition and Magnetic Properties of Ferrofluid Nanoparticles after Separation, *Latvian Journal of Physics and Technical Science* , **50** (2013) 4, p. 56-61 .
- [8.5] G. Kronkalns. Magnētisko šķidrumu paraugu sintēze dažādu praktisku potenciālu pielietojumu vajadzībām
- [8.6] G. Kronkalns, Ferokoloids ar paaugstinātu nanodaļiņu magnētisko mijiedarbību

Aktivitāte 1.2.

MAGNETOOPTISKO EFEKTU RELAKSĀCIJA FERĪTU NANOKOLOĪDOS

Atskaite-annotācija

1.2.1. Optiska mēriekārta

Izveidota mēriekārta magnētisko koloīdu optiskās anizotropijas pētījumiem ārējā magnētiskajā laukā [1.9]. Koloīds mēršūnā tiek apgaismots ar lineāri polarizētu gaismu, tās polarizācijas plakne orientēta 45° leņķī pret ārējā magnētiskā lauka virzienu. Lauka izsuktās koloīda refrakcijas indeksa izmaiņas tiek reģistrētas mēršūnas caurejošā gaismā, kas polarizēta 90° leņķī pret apstarojošo gaismu. Optisko anizotropiju ierosina elektromagnēts ar speciāli izveidotu impulsveida barošanas shēmu, lauka raksturīgais relaksācijas laiks mazāks par 0.5 mikrosekundēm. Magnetooptiskās anizotropijas relaksācijas laiks projektā pētāmiem nanokoloīdiem ir ievērojami lielāks (parasti 5 – 10 mks), tādēļ var uzskatīt, ka mērāmās relaksācijas procesu likumsakarības atbilst momentānas ierosināšanas apstākļiem. Iekārta aprīkota ar automatizētu magnētiskā lauka ierosmes vadību un datorizētu optiskās anizotropijas relaksācijas spektra reģistrēšanu. Mēriekārta paredzēta nanokoloīdu daļiņu un to agregātu strukturālo izmaiņu relaksācijas procesu pētīšanai.

Projekta atskaites (pirmais indekss nozīmē pārskata etapu)

[1.9] M. Majorovs. Experimental setup for relaxation measurements of magneto-optical anisotropy effects in nanocolloids (Mēriekārta magnetooptisko efektu relaksācijas pētījumiem ferokoloīdos), 1.2.M-1, akts un apraksts.

1.2.2. Relaksācijas datu kopa

Atšķirībā no gravitācijas un magnētiskās sedimentācijas, kā arī no termodifuzīvās separācijas, kuru izsaukto struktūras izmaiņu relaksācija saistīta ar nanodaļiņu translācijas difūzijas koeficientu, magnetooptisko efektu relaksācijas signāls dod informāciju par koloīdu nanodaļiņu vai strukturālo veidojumu rotācijas difūziju. Septītā perioda atskaitē [7.2] ir dots teorētiskais modelis koloidālas daļiņas rotācijas difūzijas koeficienta aprēķināšanai un veikti nanokoloīdu magnetooptiskās anizotropijas relaksācijas pētījumi atkarībā no uzliktā magnētiskā lauka intensitātes. Teorētiskie apsvērumi liecina, ka pie pētījumos izmantotā koloīda nanodaļiņu vidējā izmēra (12 nm) magnētiskās dubultlaušanas relaksācijai jābūt atkarīgai no uzliktā lauka lieluma.

Eksperimentālās signāla relaksācijas līknes toties šādu atkarību no magnētiskā lauka neuzrāda. No tā izdarīts secinājums, ka magnētisko dubultlaušanu koloīdā nosaka nevis individuālas nanodaļiņas, bet gan to agregāti ar ievērojami lielākiem izmēriem un telpisko anizotropiju [7.2]. Šo secinājumu apstiprina arī viena parauga salīdzinoši granulometriskie pētījumi, kas izdarīti, balstoties uz koloīda magnetizācijas līknes spektrālo analīzi, kā arī gaismas dinamiskās izkliedes un magnetooptiskās anizotropijas relaksācijas mērījumiem. Optiskā signāla relaksācijas līknes spektrālā analīze dod daļiņu izmēru, kas gandrīz 6 reizes pārsniedz vidējo nanodaļiņu izmēru, kuru nosaka koloīda magnetizācijas līkne [7.3]. Vienīgais izskaidrojums tam ir nanodaļiņu anizotropu aglomerātu eksistence koloīdā. Līdzīgi secinājumi iegūti, salīdzinot nanodaļiņu rotācijas difūzijas koeficienta vērtību, kas iegūta no magneotooptiskiem mērījumiem, ar gradientās difūzijas koeficienta vērtību, kas atbilst koloīda un šķīdinātāja robežvirsmas izplūšanai laikā [7.4]. Darbā [8.6] veikti pētījumi par gravitācijas un centrifugālās separācijas ietekmi uz nanokoloīdu dispersijas parametriem. Nanodaļiņu vidējie izmēri, kas iegūti no koloīda magnetizācijas līknes, kvalitatīvā ziņā labi korelē ar rezultātiem, ka iegūti no magnetooptiskā signāla relaksācijas. Magnetooptiskam signālam atbilstošā rotācijas difūzijas koeficienta granulometriskā analīze liecina, ka intensīvas centrifugālās separācijas ceļā iegūtā vieglā frakcija satur subfrakcijas ar atšķirīgiem relaksācijas koeficientiem, kas varētu liecināt par sfērisku daļiņu un elipsoidālu agregātu eksistenci paraugā.

Secinājumi. Atšķirībā no nanokoloīdu termodifuzīvās separācijas dinamikas procesiem, magnetooptisko parādību relaksācija dod daudz plašāku informāciju par koloīdu nanodaļiņām un to agregātu struktūru. Tomēr mērījumu atkārtojamība dažādos paraugos ne vienmēr pietiekami augsta un ne visas novērotās parādības viennozīmīgi interpretējamās. Koloīdu granulometriskā sastāva kvantitatīviem pētījumiem priekšroka dodama magnetizācijas un nanodaļiņu sedimentācijas mērījumiem.

Projekta pārskatu periodu atskaites

[7.2] M. Maiorov. Koloīdu optiskās relaksācijas atkarība no magnētiskā lauka impulsa amplitūdas.

[7.3] M. Maiorov. Comparison of Colloid Granulometry Spectra Reconstructed from Magnetization, Light Dynamic Scattering and Magneto optic Measurements, 1 page.

[7.4] M. Maiorov. Rotary and Gradient Diffusion of Colloidal Particles: Comparison of Measurement Results, 3 pages.

[8.7] M. Maiorov, A. Mezulis. The Relaxation Time of the Ferrofluid Optical Anisotropy as an Indicator of the Ferrite Nanoparticles Fractionation, 5 pages

Aktivitāte 1.3.

NANODAĻIŅU SEDIMENTĀCIJAS UN TERMISKI IEROSINĀTU STRUKTŪRU DINAMIKA KOLOĪDOS

Atskaite-annotācija

1.3.1. Mēriekārtas

Aktivitātes eksperimentālo pētījumi vajadzībām tika izveidotas divas oriģinālas mēriekārtas:

1. Pilnveidota mēriekārta optiskā ceļā inducētas Releja izkliedes (Forced Rayleigh Scattering) pētījumiem plānā magnētiskā šķidrums slānītī [1.3]. Nanodaļiņu telpiskās struktūras tiek ierosinātas vai nu lāzera divu laikā modulētu koherentu staru interferences ceļā, vai izmantojot augstspiediena dzīvsudraba lampas veidotu mehāniska tīkla optisku attēlu. Nanodaļiņu struktūras un to dinamika tiek pētītas, mērot mazas jaudas He-Ne lāzera difrakcijas signālu no inducētajām nanodaļiņu struktūrām vai vizualizējot nehomogēnas koncentrācijas ierosinātā interferences lauka topogrāfiju. Abu šo metodiku apvienošana vienā mēriekārtā ir jaunās izstrādes pamatbūtība. Mēriekārta paredzēta rūpnieciskajiem pētījumiem aktivitātē 1.3. Iekārta dokumentēta ar LU Fizikas institūta direktora 2011. g. 20. septembrī apstiprinātu pieņemšanas aktu.

2. Izveidota automatizēta iekārta magnētisko koloīdu termiskās separācijas pētījumiem porainās vidēs magnētiskā lauka klātbūtnē, nodrošinot nepārtrauktus temperatūras, nanodaļiņu koncentrācijas un hidrodinamiskā spiediena relaksācijas mērījumus ilgstošu un nepārtrauktu eksperimentu veikšanai [3.4]. Iekārta dokumentēta ar LU Fizikas institūta direktora 2012. g. 29. februārī apstiprinātu pieņemšanas aktu.

Projekta pārskatu periodu atskaites

[2.9] A. Mežulis. Modernizēta mēriekārta termiski ierosināto optisko struktūru pētījumiem ferokoloīdos, apraksts un pieņemšanas akts 1.3.M-1.

[3.4] V. Šints. Eksperimentāla iekārta magnētisku nanodaļiņu separācijas pētījumiem neizotermiskos apstākļos, atskaite, 6 lp. un pieņemšanas akts.

1.3.2. Eksperimentālo datu kopa

Magnētisko nanokoloīdu stabilitāti praktiskos pielietojumos ilgstošas ekspluatācijas apstākļos lielā mērā nosaka ne tikai nanodaļiņu vidējais izmērs, bet arī to dispersais sadalījums. ERAF projekta galvenais mērķis – pilnveidot magnētisko koloīdu nanodaļiņu dispersā sadalījuma funkcijas noteikšanu, balstoties uz koloīda summārās magnetizācijas mērījumu analīzi. Vienlaikus, lai radītu iegūto rezultātu salīdzināšanas iespējas, kā arī lai novērtētu alternatīvas dispersiju analīzes metodes, projekta trešajā aktivitātē tika veikti

pētījumi ar mērķi noskaidrot koloīdu dispersā sastāva noteikšanas iespējas no nanodaļiņu difuzīvās masas pārnese relaksācijas mērījumiem. Viena no izplatītākajām metodēm ir optiski ierosinātu termodifuzīvo struktūru pētījumi t.s. uzspiestās Releja izkliedes eksperimentā. Koherentu lāzeru staru interference ferokoloīda plānā slānītī veido optiskās enerģijas absorpcijas izraisītas termodifuzīvas nanodaļiņu struktūras. Mērot šo struktūru difrakcijas signāla relaksāciju, iespējams noteikt nanodaļiņu virzītās difūzijas koeficientu un balstoties uz Stoksa likumu, novērtēt nanodaļiņu izmērus. Projekta pētījumos mērīts arī nanodispersiju Soret koeficients, kas nosaka termodifuzīvā signāla intensitāti. Noskaidrots, ka stēriski stabilizētos organosolos Soret koeficients vienmēr pozitīvs un sasniedz vērtību aptuveni 0.2 T^{-1} , bet elektrostātiski stabilizētos hidrosolos tas mazāks un bieži sasniedz pat negatīvas vērtības [5.1]. Noskaidrots, ka nanodaļiņu difūzijas koeficients nosakāms gan no termodifuzīvo struktūru difrakcijas signāla relaksācijas [2.9.], gan arī no nanodaļiņu magnetoforēzes veidotā koncentrācijas robežslāņa hologrāfiskiem pētījumiem [2.2., 4.2.]. Diemžēl, magnētiskā lauka klātbūtnē magnētiskais Releja skaitlis koloīda slānītī pārsniedz kritisko vērtību un termodifuzīvo struktūru relaksāciju būtiski ietekmē parazitiska termomagnētiskā konvekcija. Veikti plaši ferokoloīdu slānīšu termomagnetokonvektīvās stabilitātes teorētiskie un eksperimentālie pētījumi [1.4., 4.14., 6.2., 6.4., 6.10., 6.14]. Noskaidroti magnetokonvektīvās nestabilitātes kritiskie apstākļi, skaitliski pētīta virskritiskās magnētiskās konvekcijas struktūra un izvērtēta konvekcijas ietekme uz optiskās relaksācijas signāla dinamiku. Teorētisko pētījumu galvenie secinājumi pārbaudīti eksperimentā [6.2., 6.14].

Lai novērstu magnētiskās konvekcijas iestāšanos, piedāvāts veikt termodifuzīvās separācijas pētījumus plānā ferokoloīda slānītī ar caurlaidīgām sienām, kad nanodaļiņu koncentrācijas nehomogenitātes neizotermiskos apstākļos neveidojas un tādējādi magnētiskās konvekcijas iestāšanās maz varbūtīga [1.3., 2.4., 4.1., 4.13]. Bez ārēja magnētiskā lauka nanodaļiņu koncentrācijas relaksācija atbilst nanodaļiņu termodifūzijas noteiktajai dinamikai. Turpretī magnētiskā lauka klātbūtnē negaidīti izrādījās, ka nanodaļiņu plūsma caur slānīti ievērojami intensīvāka par to, kādai tai būtu jāveidojas termodifūzijas un magnetodifūzijas ietekmē. No nestacionārās separācijas līknēm novērtētie efektīvie termoforētiskās separācijas koeficienti liecina par to, ka nanodaļiņu pārnese slānītī nosaka specifiska magnētiska mikrokonvekcija, kuru izraisa slānīša caurlaidīgo sienu tīkla elementi.

Magnētisko mikrokonvekciju var novērst, veicot ferokoloīdu termoforētiskos pētījumus porainā slānī. Dažu milimetru biezumā pat pie lielas slānīša porainības un filtrējošo graudu izmēriem magnētiskais Releja-Kozena skaitlis nesasniedz kritisko vērtību, tādēļ sagaidāms, ka termiskās un koncentrācijas magnētiskās konvekcijas iestāšanās izslēgta un nanodaļiņu separācijas dinamika varētu ļaut veikt difūzijas koeficienta mērījumus, lai noteiktu nanodaļiņu izmērus. Bez magnētiskā lauka iegūtie eksperimentālie rezultāti atbilst tiem, kas sagaidāmi pie dotajiem nanodaļiņu izmēriem, taču koloīdu filtrācijas un nanodaļiņu separācijas mērījumi magnētiskajā laukā liecina par būtisku magnetoosmotisko procesu ietekmi [4.7., 6.9., 6.13]. Magnetoosmozes ietekmi var novērst, veicot termoforētiskās

pārneses mērījumus porainā slānī ar slēgtām sienām [7.6], tomēr šādā ceļā nav iespējams noteikt koloīda difūzijas koeficientu, kas nepieciešams, lai novērtētu nanodaļiņu izmērus.

Secinājumi. Ferokoloīdu termodifuzīvās separācijas dinamikas pētījumi bez magnētiskā lauka var tikt izmantoti koloīdu nanodaļiņu vidējo izmēru un dispersijas parametru noteikšanai. Ieteicamā eksperimentālo pētījumu metode – optiski ierosinātu absorptīvo nanodaļiņu struktūru difrakcijas signāla dinamikas mērījumi. Metode pielietojama nelielas koncentrācijas koloīdiem, kad nanodaļiņu difūzijas koeficients aprakstāms Stoksa tuvinājumā, ignorējot nanodaļiņu ansambļa van-der Vaalsa un hidrodinamisko mijiedarbību. Polidispersu koloīdu gadījumā pielietojama eksponenciālo relaksācijas līkņu spektrālā dekompozīcija (skat. aktivitāti 2.2.). Iegūtos rezultātus var izmantot salīdzināšanai ar rezultātiem, kas iegūti no koloīdu magnetizācijas mērījumiem (aktivitāte 2.1.).

Projekta pārskatu periodu atskaites

- [1.3] V.Sints, A.Mezulis, G.Kronkalns, E.Blums. Separation of magnetic nanoparticles through non-isothermal layer between permeable walls in the presence of magnetic field. *International conference FM&NT Functional materials and nanotechnologies 2011-05-02*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 5 – 8, Riga, Abstract PO-149, p.242 and Poster.
- [1.4] D.Zablotsky, E.Blums. Microconvection in optically induced 3D structures of magnetic nanoparticles. *International conference FM&NT Functional materials and nanotechnologies 2011-05-02*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 5 – 8, Riga, Abstracts, PO-112, p.202 and Poster.
- [2.2] Mezulis, A., D. Zablockis, E. Blums, Dynamics of concentration profiles of nanosized magnetic particles in non-uniform magnetic field, *Proc. 8th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Borgo, Corsics, France, September 5 – 9, 2011, Vol.2, 963 – 968.
- [2.4] E. Blums, A. Mezulis, G. Kronkalns, V. Sints, Transport of nanoparticles through nonisothermal ferrofluid layer with permeable walls, *Proc. 8th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD*, Borgo, Corsics, France, September 5 – 9, 2011, Vol.2, p. 1033-1037.
- [4.1] E. Blums, A.Mezulis, G. Kronkalns, V. Sints, Transport of nanoparticles through non-isothermal ferrofluid layer with permeable walls, *Magnetohydrodynamics* Vol. **48** (2012), No. 2, pp. 43–50.
- [4.2] A. Mezulis, D. Zablotsky, E. Blums, Dynamics of concentration profiles of nano-sized magnetic particles in a non-uniform magnetic field, *Magnetohydrodynamics* Vol. **48** (2012), No. 2, pp. 43–48.
- [4.7] V. Sints, E. Blums, G. Kronkalns, A. Mezulis, Nonisothermal Transport of Ferrocolloid Particles through Porous Membrane under Transversal Magnetic Field, in: *International*

- Conference FMNT Functional Materials and Nanotechnologies 2012*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 17-20, Riga 2012, Abstracts, p. 245 and Poster.
- [4.13] E. Blums, G. Kronkalns, A. Mežulis, V. Sints, Non-isothermal separation of ferrofluid particles through grids: abnormal magnetic Soret effect, in: *10th International Meeting on Thermodiffusion*, 4-8 June 2012, Brussels, Belgium, Abstracts, p.79. and poster [4.15].
- [4.14] D. Zablotsky, A. Mezulis, E. Blums, Convective stability of photoinduced microstructures in ferrofluid layers, in: *10th International Meeting on Thermodiffusion*, 4-8 June 2012, Brussels, Belgium, Abstracts, p. 53 and presentation [4.16].
- [5.1] A. Mezulis, M. Maiorov, O. Petricenko, Thermodiffusion motion of electrically charged nanoparticles, *Central European J. Physics*, Vol. **10** (2012) No. 4 , pp. 989-994, DOI: 10.2478/s11534-012-0025-z .
- [6.1] E. Blums, V. Šints, G. Kronkalns, A. Mežulis, Non-isothermal separation of ferrofluid particles through grids: abnormal magnetic Soret effect, *Comptes Rendus Mecanique*, **341** (2013), 348 – 355.
- [6.2] D. Zablotsky, A. Mezulis, E. Blums, Formation of magnetoconvection by photoabsorptive methods in ferrofluid layers, *Comptes Rendus Mecanique*, **341** (2013), 449 – 454.
- [6.3] E. Blums, New Problems of Mass Transport in Magnetic Fluids, PL-4, in: *13th International Conference on Magnetic Fluids, 7th – 11th January 2013, Abstract Book*, p. 8 and Presentation [6.6].
- [6.4] D. Zablotsky, E. Blums, Formation, Evaluation and Stability of Photoabsorptive Microstructures in Ferrofluid Layers, in: *13th International Conference on Magnetic Fluids, 7th – 11th January 2013, Abstract Book*, p. 460 – 461 and Poster [6.7].
- [6.9] E. Blums, V. Sints, A. Mezulis, G. Kronkalns, New problems of mass transport in magnetic fluids, *Magnetohydrodynamics*, accepted.
- [6.10] D. Zablotsky, E. Blums, Enhancement of Mass Transfer through Convective Symmetry Breaking in Photoabsorptive Concentration Gratings in Thin Ferrofluid Layers, *Magnetohydrodynamics*, accepted.
- [6.13] V. Sints, E. Blums, M. Maiorov, G. Kronkalns, Nanoparticle transfer under magnetic field in a nonisothermal porous layer saturated with a ferrofluid, *International Conference Functional Materials and Nanotechnologies FM&NT-2013, Tartu, Estonia*, April, 21 – 24, 2013, Abstract, 1 p. and Poster [6.16].
- [6.14] D. Zablotsky, A. Mezulis, Numerical investigation of arrays of concentration microstructures in dispersions of magnetic nanoparticles, *International Conference Functional Materials and Nanotechnologies FM&NT-2013, Tartu, Estonia*, April, 21 – 24, 2013, Abstract, 1 p. and poster [6.17].
- [7.6] V. Šints Nanodaļiņu termoforētiskā separācija plānā porainā slānītī, 10 lpp.

Aktivitate 2.1

NANOKOMPOZĪTU MATERIĀLU IEKŠĒJO MAGNĒTISKO MOMENTU SPEKTRĀLĀ SADALĪJUMA NOTEIKŠANA

Atskaite- anotācija

2.1.1. Magnētisko momentu spektrālās analīzes metode, datu kopa

Magnētisko šķidrumu nanodaļiņu izmēri un to dispersais sadalījums ir vieni no galvenajiem parametriem, kas nosaka ferokoloīdu stabilitāti. Nanokoloīdu pētniecībā galvenā dispersijas parametru noteikšanas metode ir transmisijas elektronmikroskopija. Elektronmikroskopija ir dārga, ļoti darbdarbietilpīga un ne vienmēr dod adekvātu informāciju par dispersiju iekšējo struktūru, jo tiek analizētas koloidālo dispersiju cietas matricas, kuru veidošanas procesā tiek būtiski izmainīta nanomateriālu struktūra. Ferošķidrumu pētniecībā blakus elektronmikroskopijai koloīdu disperso parametru noteikšanai plaši izmanto magnētiskos mērījumus. Pirmā tuvinājumā koloīda magnetizāciju nosaka klasiska Lanževena teorija. Šādā tuvinājumā no koloīda magnetizācijas līknes novērtējams nanodaļiņu vidējais izmērs. Izmantojot dažus papildpieņēmumus, no koloīda sākotnējās magnetizācijas un no piesātinājuma magnetizācijas mērījumiem var aptuveni noteikt gan nanodaļiņu vidējo izmēru gan arī izmēru log-normāla sadalījuma parametrus. LU Fizikas institūtā tika izstrādāta precīzāka magnetogrammetrijas metode, skaitliskā ceļā integrālo magnetizācijas līkni aproksimējot kā atsevišķu Lanževena līkņu superpozīciju, tādējādi nosakot koloīda nanodaļiņu izmēru sadalījuma funkciju, neizvirzot nekādus nosacījumus sadalījuma līknes formai. Tomēr šī metode piemērojama tikai ļoti vājas koncentrācijas ferokoloīdiem. Apsekojot ferokoloīdus ar dažādiem nanodaļiņu magnētiskiem momentiem un koloīda atšķaidīšanas vai nesēja iztvaicēšanas ceļā variējot magnētiskās fāzes koncentrāciju, ERAF projekta pirmajos etapos tika izvērtētas esošās granulometrijas metodes pielietojamības robežas [2.10, 4.4]. Salīdzinot magnētiskā ceļā iegūtos koloīdu dispersiju parametrus ar rezultātiem, kas iegūti analizējot elektronmikroskopijas uzņēmumus [5.5] un izmantojot dinamiskās gaismas izkliedes metodi [8.7, 8.9], noskaidrojās, ka ar dažādām metodēm iegūtie rezultāti zemākas koncentrācijas koloīdos kvalitatīvā ziņā sakrīt diezgan labi, bet lielāku koncentrāciju gadījumā rezultātu salīdzināšana apgrūtināta, jo visu metožu pielietojamības robežas ir ierobežotas. Turpmākie pētījumi tika veikti, pilnveidojot magnetogrammetrijas metodi, ņemot vērā nanodaļiņu magnētisko sadarbību. Tika izstrādāts paņēmieni magnētiskās sadarbības parametra noteikšanai no koloīda sākotnējās uzņēmības mērījumiem pie dažādām koloīda temperatūrām [8.4]. Nanodaļiņu sadalījumu pa izmēriem veic ar

mērījumu skaitlisku regularizāciju, saskaņā ar patentpieteikumu [7.7]. Magnetogranulometrijas analīzes piemērs dots sadaļā [8.11]. Parādīts, ka magnetizācijas līknes analīze, ievērojot lokālo lauku, adekvāti ataino nanodaļiņu magnētisko momentu (vai tilpumu) sadalījumu paraugā. Lokālā lauka ignorēšana izsauc kļūdainu magnētisko momentu un izmēru sadalījumu spektra lielo daļiņu rajonā.

Secinājumi. Noskaidrots, ka magnetogranulometrijas metode, kas balstīta uz nanodaļiņu subfrakciju Lanževena līkņu superpozīciju, nav pieņemama koloīdiem ar lielu nanodaļiņu koncentrāciju un izmēriem. Aktivitātes ietvaros izstrādāta jauna magnētiskās analīzes metode, balstoties uz pilnīgāku ferokoloīdu teoriju, saskaņā ar kuru integrālo magnetizāciju nosaka dispersijas vidējais iekšējais lauks. Atrasts paņēmieni, kā noteikt dispersā sastāva analīzei nepieciešamo lokālā lauka konstanti un attīstīta metode un skaitliskās analīzes procedūra nanodaļiņu granulometriskā sastāva noteikšanai no summārās magnetizācijas līknes mērījumiem arī stipras daļiņu magnētiskās sadarbības gadījumā. Noskaidrots, ka jaunā metode adekvāti ataino dispersijas granulometrisko sastāvu augstas koncentrācijas koloīdos ar lielu nanodaļiņu magnētisko momentu.

Projekta pārskatu periodu atskaites

- [2.10] M. Majorovs. Nanodaļiņu izmēru sadalījums magnētiskos koloīdos: inversā uzdevuma analīze nesadarbojošos daļiņu ansamblim, mērījumu rezultātu kopa (14 lp.). The nanoparticle size distribution in magnetic colloids: application of inverse task for non-interacting particle system.
- [4.4] M. Maiorov, V. Šints, M. Lubane, E. Blums, Direct and Indirect Determination of the Ferrite Nanoparticles Size Distribution, *International Conference FMNT Functional Materials and Nanotechnologies 2012*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 17-20, Riga 2012, Abstracts, p. 246 and Poster [4.9].
- [5.4] E. Blūms, M. Majorovs. Approximate analysis of separation of polydisperse colloids, atskaite.
- [5.5] V. Šints. Nanodaļiņu izmēru sadalījuma noteikšana no transmisijas elektronmikroskopijas uzņēmumiem, atskaite.
- [7.5] M. Maiorov. The determination of local magnetic field from magnetization measurements at various temperatures, 4 pages.
- [7.7] Patenta pieteikums “Magnētisko daļiņu sadalījuma pa izmēriem noteikšanas paņēmieni magnētiskā dispersijā”, autori: M. Majorovs, D. Zablockis, E. Blums, ar pielikumiem kopā 12 lapas.
- [8.8] M. Maiorov. Dependence of the ferrofluid magnetic granulometry results on the particle concentration: comparison of magnetic and DLS measurements, 10 pages.

[8.9] V. Šints. Nanodaļiņu izmēru korelācija: elektronmikroskopija un magnetogranulometrija, 1 lp.

2.1.2. Programma

Izveidota programma magnētisko mērījumu datu apstrādei un nanodaļiņu izmēru spektrālā sastāva noteikšanai FORTRAN valodā [8.11]. Magnetizācijas līknes analīzes programma tiek palaista, izmantojot vienu failu, nav nepieciešama speciāla uzstādīšana. Sākotnējo datu un iegūto rezultātu faili tiek reprezentēti teksta formātā. Programmas interfeiss neprasa speciālas zināšanas.

Projekta 8. etapa atskaite

[8.11] M. Majorovs. Magnetizācijas līknes matemātiskā analīze, (metode, programma un realizācija), 9 lp..

Aktivitāte 2.2

NANODAĻIŅU "HIDRODINAMISKO" IZMĒRU SPEKTRĀLĀ SADALĪJUMA NOTEIKŠANA

Atskaite- anotācija

2.2.1. Relaksācijas spektrālās analīzes metode

Ferokoloīdu magnetogranulometrijas metode, kas balstīta uz magnetizācijas līknes dekompozīciju, ņemot vērā dažādus koloīdu magnetizācijas teorētiskos modeļus, ļauj noteikt iekšējo magnētisko momentu spektrālo sadalījumu nanodaļiņu ansamblī. Subdomenta daļiņu magnētiskais moments proporcionāls to magnētiskā kodola tilpumam. Šādā ceļā noteiktais magnētisko izmēru sadalījums tomēr precīzi neatbilst cietu magnētisko daļiņu fizikālo izmēru sadalījumam. Noteikta daļa feromagnētisko daļiņu ferošķidruma pagatavošanas procesā zaudē piesātinājuma magnetizācijas īpašības, bez tam daļiņas ārējais kristāliskā režģa periods (parasti 0,7... 1 nm) nedod ieguldījumu daļiņas tilpuma magnetizācijā. Koloīdālu daļiņu pilno hidrodinamisko izmēru parasti nosaka, ņemot vērā cietās fāzes izmēru un pieskaitot tai daļiņas stabilizācijas slāņa (virsmas aktīvā viela vai jonu atmosfēra) biezumu. Tomēr šāds novērtējums ne vienmēr ir precīzs, jo lielākās daļiņas sadarbības spēku dēļ (Van der Vaalsa, magnētiskā sadarbība...) mēdz salipt kopā, veidojot agregātus, kas nesējšķidrumā difundē kā viens liels hidrodinamiskais elements.

Daļiņu fizikālo izmēru precīzāk raksturo „hidrodinamiskais” izmērs, ko nosaka daļiņu difūzijas koeficients vai daļiņu sedimentācija ārēju spēku laukā (gravitācija, centrifūga, magnētiskā separācija). Aktivitātē 2.2. galvenokārt izmantota divējādā ceļā ierosinātu procesu relaksācija: 1) optiski iniciētu nanodaļiņu termodifūzīvo struktūru relaksācija, 2) magnētiski ierosinātās optiskās anizotropijas relaksācija. Abos gadījumos relaksācijas procesiem ir eksponenciāls raksturs, pirmajā to nosaka nanodaļiņu gradientā difūzija, bet otrajā – rotācijas difūzija. Abi difūzijas koeficienti dažādā veidā atkarīgi no nanodaļiņu izmēra [4.10, 8.6]. Polidispersu sistēmu gadījumā, acīmredzot summārā optiski ierosināto struktūru relaksācija aprakstāma ar visu daļiņu atsevišķo eksponentu summu. Aktivitātē 2.2. izstrādātā metode, līdzīgi kā magnetogranulometrijas gadījumā, risina apgriezto uzdevumu - no summārās līknes, kas apraksta optiski inducētā signāla rimšanu, izskaitļo atsevišķās relaksācijas konstantes un tām atbilstošo nanodaļiņu hidrodinamisko izmēru spektru [3.5]. No dispersijas parametru analīzes viedokļa relaksācijas procesu spektrālā metode līdzīga magnetogranulometrijas metodei, kas ignorē atsevišķo nanodaļiņu sadarbību (šinī gadījumā hidrodinamisko, Van-der Vaalsa vai magnētisko). Lai noskaidrotu šāda tuvinājuma pielietojamību, tika veikts speciāls pētījumu komplekss par koloīdu gravitācijas un magnētisko sedimentāciju vertikālā kolonā. Bez ārējā magnētiskā lauka gradienta daļiņu separācija notiek saistībā ar to grimšanas ātrumu. Ņemot vērā daļiņu polidispersitāti un sadarbību, parastā Stoksa daļiņas grimšanas ātruma likuma vietā tiek izmantota Batčelora daļiņu sadarbības teorija.

Eksperimenti liecina, ka minētais sadarbības modelis atspoguļo reālo separācijas dinamiku daudz precīzāk [6.4.,6.5, 6.11]. Pakļaujot separācijas kolonu ārēja magnētiskā lauka gradientam, tiek ierosināts magnetoseparācijas process, tajā frakciju sastāvu nosaka summārais hidrodinamiskās grimšanas [6.11.] un magnētiskās sedimentācijas spēks [6.12.]. Batčelora teorija visai sarežģīta, tādēļ tās ievērošana apgrieztajā granulometrijas uzdevumā nav iespējama. Veiktie pētījumi liecina, ka vairumā gadījumu sedimentācijas procesu aprakstam pietiekamu precīzu rezultātu nodrošina jau Batčelora korekciju galvenā, matricas diagonālā koeficienta ievērošana. Pētījumu rezultātu salīdzinoša analīze norāda, ka relaksācijas procesu spektrālā analīze pamatā labi korelē ar magnetogranulometrijas metodi, ja ņem vērā nanodaļiņu magnētisko un hidrodinamisko raksturojumu atšķirību. Atsevišķos gadījumos magnetooptisko procesu relaksācija dod papildus informāciju par nanodaļiņu sadalījuma struktūru koloīdos (skat. Aktivitātes 1.2. anotāciju).

Secinājumi. Optiski ierosinātu polidispersa koloīda nanodaļiņu termodifūzijas struktūru un magnetooptisko signālu relaksācijas spektrālā analīze dod rezultātus, kas, ņemot vērā analizējamo fizikālo parādību dažādību un ietekmes atšķirības, labi korelē ar magnetogranulometrijas analīzes rezultātiem. Izstrādāto metožu kompleksa pielietošana dod bagātu informāciju par magnētisko nanokoloīdu disperso sastāvu un īpašībām.

Projekta pārskatu periodu atskaites

- [3.5] M. Majorovs. Rimstošu procesu relaksācijas spektra noteikšana ar mazāko kvadrātu metodi, Atskaite, 8 lp.
- [4.10] M. Maiorov, A. Mežulis, The Relaxation Time of the Ferrofluid Optical Anisotropy as an Indicator of the Ferrite Nanoparticles Fractionation , *International Conference FMNT Functional Materials and Nanotechnologies 2012*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 17-20, Riga 2012, Poster and abstracts [4.5].
- [4.6] A. Mezulis, E. Blums, M. Maiorov, A. Lickrastina, Sedimentation of suspended nanoparticles, in: *International Conference FMNT Functional Materials and Nanotechnologies 2012*, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 17-20, Riga 2012, Abstracts, p. 248 and Poster [4.11].
- [6.5] A. Mezulis, E. Blums, M. Maiorov, A. Lickrastina, Sedimentation of Interacting Nanoparticles, in: *13th International Conference on Magnetic Fluids, 7th – 11th January 2013, Abstract Book*, p. 336 – 337 and Poster [6.8].
- [6.11] A. Mezulis, E. Blums, M. Maiorov, A. Lickrastina, Sedimentation of Interacting Nanoparticles, *13th International Conference on Magnetic Fluids, „Magnetohydrodynamics”*, accepted
- [6.12] A. Mezulis, E. Blums, M. Maiorov, Application of sedimentation experiments with suspended nanoparticles, *International Conference Functional Materials and Nanotechnologies FM&NT-2013, Tartu, Estonia*, April, 21 – 24, 2013, Abstract, 1 p. and Poster [6.15].

[8.7] M. Maiorov, A. Mezulis. The Relaxation Time of the Ferrofluid Optical Anisotropy as an Indicator of the Ferrite Nanoparticles Fractionation, 5 pages

2.2.2. Programma

Izstrādāta rimstošu relaksācijas signālu spektrālās analīzes FORTRAN programma [8.10]. Eksperimentālo datu apstrādei ar augšminēto algoritmu tika sastādīta FORTRAN programma. Spektrālās analīzes uzdevumu risina ar pakāpenisko tuvinājumu metodi. Sākotnējam tuvinājumam izmanto vienmērīgu sadalījumu uzdotā relaksācijas laika intervālā. Skaitļošanu veic tik ilgi, kamēr tiek sasniegta uzdotā parametra vērtība vai arī tiek veikts uzdotais iterāciju skaits. Programmu palaiž ar vienu failu, speciāla instalēšana nav nepieciešama. Datu faili un rezultātu faili doti teksta formātā. Programmas interfeisa izmantošanai speciālas zināšanas nav nepieciešamas.

Projekta 8. etapa atskaite

[8.10] M. Majorovs. Rimstošu procesu relaksācijas laiku spektra noteikšana ar mazāko kvadrātu metodi, (Metode, programmas apraksts un realizācija), 6 lpp.

Aktivitāte 3.1.**DALĪBA STARPTAUTISKĀS KONFERENCĒS**

1. International conference FM&NT Functional materials and nanotechnologies 2011, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 5 – 8, Riga (5 dalībnieki).
2. 8th International PAMIR Conference on Fundamental and Applied MHD, Borgo, Corsics, France, September 5 – 9, 2011 (4. dalībnieki),
3. International Conference FMNT Functional Materials and Nanotechnologies 2012, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, April 17-20, Riga 2012, (5 dalībnieki)
4. 10th International Meeting on Thermodiffusion, 4-8 June 2012, Brussels, Belgium (2 dalībnieki)
5. 13th International Conference on Magnetic Fluids, New Delhi, 7-11 January, 2013 (3 dalībnieki),
6. International Conference Functional Materials and Nanotechnologies FM&NT-2013, Tartu, Estonia, April, 21 – 24, 2013 (1 dalībnieks).

Aktivitāte 3.2.

ZINĀTNISKO REZULTĀTU PUBLICĒŠANA

1. G.Kronkalns, M.M.Maiorov, E.Blums. Heating of magnetic fluids by a low frequency alternating magnetic field. *Magnetohydrodynamics* 47 (2011), No. 3, 249–264.
2. Manickam Sivakumar, Atsuya Towataa, Kyuichi Yasuia, Toru Tuziuti, Teruyuki Kozuka, Yasuo Iida, Michail M. Maiorov, Elmars Blums, Dipten Bhattacharya, Neelagesi Sivakumar, M. Ashok. Ultrasonic cavitation induced water in vegetable oil emulsion droplets – A simple and easy technique to synthesize manganese zinc ferrite nanocrystals with improved magnetization. *Ultrasonics Sonochemistry* **19** (2012) 652–658.
3. E. Blums, A.Mezulis, G. Kronkalns, V. Sints, Transport of nanoparticles through non-isothermal ferrofluid layer with permeable walls, *Magnetohydrodynamics* Vol. **48** (2012), No. 2, pp. 43–50.
4. Mezulis A., D. Zablotsky, E. Blums, Dynamics of concentration profiles of nano-sized magnetic particles in a non-uniform magnetic field, *Magnetohydrodynamics* Vol. **48** (2012), No. 2, pp. 43–48.
5. Mezulis, M. Maiorov, O. Petricenko, Thermodiffusion motion of electrically charged nanoparticles, *Central European J. Physics*, Vol. **10** (2012) No. 4, pp. 989-994, DOI: 10.2478/s11534-012-0025-z.
6. E. Blums, V. Šints, G. Kronkalns, A. Mežulis, Non-isothermal separation of ferrofluid particles through grids: abnormal magnetic Soret effect, *Comptes Rendus Mecanique*, **341** (2013), 348 – 355.
7. D. Zablotsky, A. Mezulis, E. Blums, Formation of magnetoconvection by photoabsorptive methods in ferrofluid layers, *Comptes Rendus Mecanique*, **341** (2013), 449 – 454.
8. G. Kronkalns, M. Kodols, M.M. Maiorov, Change of Structure, Composition and Magnetic Properties of Ferrofluid Nanoparticles after Separation, *Latvian Journal of Physics and Technical Science*, **50** (2013), 4, 56 -61.
9. E. Blums, V. Šints, A. Mežulis, G. Kronkalns, New Problems of Mass Transport in Magnetic Fluids, *Magnetohydrodynamics*, Vol. **49** (2013), No. 3/4, pp. 360-367.
10. D. Zablotsky, E. Blums, Enhancement of Mass Transfer through Convective Symmetry Breaking in Photoabsorptive Concentration Gratings in Thin Ferrofluid Layers, *Magnetohydrodynamics*, **49** (2013) No. 3/4, 425-429.
11. A.Mezulis, E. Blums, M. Maiorov, A. Lickrastina, Sedimentation of Interacting Nanoparticles, „Magnetohydrodynamics”, **49** (2013), No. 3/4, pp. 416–420.

Aktivitāte 4.**AUTORTIESĪBU NOSTIPRINĀŠANA**

[8.12] Latvijas Republikas PATENTS Nr. 14717“Magnētisko daļiņu sadalījuma pa izmēriem noteikšanas paņēmiens magnētiskā dispersijā”, autori: M. Majorovs, D. Zablockis, E. Blums, publicēts 20.09.2013.