

# Հաստատում եմ՝

ՀՀ Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական  
Լաբորատորիայի տնօրեն՝ Գ.Ա. Քառյան  
«05» հունիս 2025 թ.



## ԱՌԱՋԱՏԱՐ ԿԱԶՄԱԿԵՐՊՈՒԹՅԱՆ ԿԱՐԾԻՔ

Հարություն Տիգրանի Գյուլասարյանի «Երկաթի հիմքով մագնիսական նանոմասնիկների և նանոձուլվածքների սինթեզը և հետազոտությունը քաղցկեղային հյուսվածքների մագնիսական գերտաքացման համար» թեմայով Ա.04.07 - «Կոնդենսացված վիճակի ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացված ատենախոսության վերաբերյալ

Հարություն Գյուլասարյանի ատենախոսությունը կազմված է Ներածությունից, չորս գլուխներից, Ամփոփումից, Հապավումների և Գրականության ցանկերից: Ներածությունում ներկայացված են աշխատանքի արդիականությունը, նպատակը, գիտական նորույթը, կիրառական նշանակությունը, պաշտպանության ենթակա հիմնական դրույթները, աշխատության կառուցվածքը և ատենախոսության թեմայով հրատարակված աշխատանքների ցանկը, որը ներառում է 8 հոդված գրախոսվող ամսագրերում: Ատենախոսության ծավալը կազմում է 136 էջ, որը ներառում է 61 նկար և 12 աղյուսակ: Գրականության ցանկում բերված է 176 հղում:

Մագնիսական նանոմասնիկները մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում իրենց արտասովոր մագնիսական հատկությունների և բազմաթիվ տեխնոլոգիական կիրառությունների շնորհիվ: Մասնավորապես կենսաբժշկության մեջ դրանք օգտագործվում են որպես կոնտրաստային նյութեր՝ մագնիսառեզոնանսային շերտագրության համար, մագնիսական կրիչներ՝ դեղամիջոցների հասցեավորված առաքման համար, էներգիայի կլանիչներ՝ մագնիսական մասնիկների գերտաքացման (հիպերթերմիա) բնագավառում և այլն:

Հարություն Տիգրանի Գյուլասարյանի ատենախոսությունը նվիրված է գրաֆիտանման ածխածնային պատիճով երկաթի հիմքով մագնիսական նանոմասնիկների ստացմանը ինչպես նաև մագնիսական և կառուցվածքային բնութագրերի ուսումնասիրություններին: Նանոկոմպոզիտները սինթեզվել են պինդֆազային պիրոլիզի եղանակով: Այս եղանակով սինթեզված նանոմասնիկների

հատկությունները կարելի է բարելավել վերահսկելով պիրոլիզի պարամետրերը, մասնավորապես, քիմիական նյութերի կոնցենտրացիան, ռեակցիայի տևողությունը, ջերմաստիճանը և ճնշումը, ինչը թույլ է տալիս ստանալ տարբեր կիրառությունների համար նախատեսված անհրաժեշտ բնութագրերով նանոկառուցվածքներ: Մինթեզված նանոկառուցվածքները կարող են կիրառվել կենսաբժշկության բնագավառում՝ մագնիսական տեղային գերտաքացման մեթոդով քաղցկեղային հյուսվածքների ոչնչացման համար, ինչպես նաև կարող են ծառայել որպես էլեկտրոդային նյութեր բարձր ունակությամբ գերկոնդենսատորներում:

Ատենախոսության թեմային վերաբերվող գրականության ակնարկը ներկայացված է *առաջին գլխում*: Այն պարունակում է տեղեկություններ մագնիսական գերտաքացման մեխանիզմների, մագնիսական նանոմասնիկների բաղադրության և դրանց պատրաստման մեթոդների, ինչպես նաև դրանց առավելությունների ու թերությունների մասին:

Աշխանանքի *երկրորդ գլուխում* ներկայացված են նանոգրաֆենային կլաստերներից բաղկացած ածխածնային միկրոգնդերի սինթեզը օրգանական նյութերի (անմետաղ ֆտալոցիանին, պոլիէթիլեն) պինդֆազային պիրոլիզի եղանակով: Պարզելու համար ածխածնային կառուցվածքների հնարավոր ներդրումը հետագա մետաղ-ածխածնային նանոկոմպոզիտների մագնիսականության մեջ, ուսումնասիրվել է դրանց կառուցվածքը և մագնիսական հատկությունները: Էլեկտրոնային մանրադիտման, ռենտգենյան դիֆրակտաչափության և ռենտգենյան ֆոտոէլեկտրոնային սպեկտրադիտման արդյունքների վերլուծությունը ցույց են տվել, որ ածխածնային միկրոգնդերը բաղկացած են մի քանի շերտից կազմված նանոգրաֆենային կլաստերներից և ամորֆ ածխածնից: Ածխածնային միկրոգնդերի սինթեզի ժամանակ անմետաղ ֆտալոցիանինի քայքայումից առաջացած ազոտի ատոմները ձևավորված նանոգրաֆենային կլաստերներում զբաղեցնում են պիրոլային, պիրիդինային և գրաֆիտային կոնֆիգուրացիաներ: Ցույց է տրվել, որ պիրոլային ազոտի բարձր կոնցենտրացիան նպաստում է ածխածնային նյութերի մագնիսական հատկությունների ուժեղացմանը, որը նաև հաստատվել է խտության ֆունկցիոնալի տեսության (density functional theory-DFT) մոդելավորմամբ:

Ատենախոսության *երրորդ գլուխը* նվիրված է երկաթի ֆտալոցիանինի ( $\text{FeC}_{32}\text{N}_8\text{H}_{16}$ ) պինդֆազային պիրոլիզի եղանակով ստացված գրաֆիտանման ածխածնային մատրիցում տեղակայված միաֆազ և երկֆազ (երկաթ, ցեմենտիտ) մագնիսական նանոմասնիկների սինթեզին և կառուցվածքային ու մագնիսական բնութագրերի հետազոտություններին՝ որպես ֆունկցիա սինթեզի պայմաններից (տևողություն և ջերմաստիճան): Մանրամասն ներկայացված են ռեակցիայի ջերմաստիճանի ազդեցությունը նանոկոմպոզիտների հազեցման մագնիսացվածության (Ms), արդյունաբար անիզոտրոպության հաստատունի ( $K_{eff}$ ),  $\alpha$ -երկաթի պարունակության, ինչպես նաև  $\text{Fe@Fe}_3\text{C}$  մասնիկների ձևաբանության վրա: Առաջին անգամ ընդլայնված ռենտգենյան կլանման նուրբ կառուցվածքի (EXAFS) հետազոտության և ռեակտիվ ուժի

դաշտի մոլեկուլային դինամիկայի մոդելավորման համադրությամբ բնութագրվել է «միջուկ-թաղանթ» կազմությունը Fe-Fe<sub>3</sub>C երկմետաղ նանոմասնիկներում, որտեղ միջուկը բաղկացած է մաքուր երկաթից, իսկ թաղանթը՝ ցեմենտիտից: Ուսումնասիրությունների արդյունքում գնահատվել են նանոկոմպոզիտների հետևյալ մագնիսական բնութագրերը՝ հագեցման մագնիսացվածությունը (M<sub>s</sub>), մնացորդային մագնիսացվածությունը (M<sub>R</sub>), կոերցիտիվ ուժը (H<sub>c</sub>), ինչպես նաև 10 նմ-ից փոքր գերպարամագնիսական նանոմասնիկների բլոկավորման ջերմաստիճանը (T<sub>B</sub>), արդյունաբար անիզոտրոպության հաստատունը (K), և միադոմեն մասնիկների միջին մագնիսական մոմենտը ( $\bar{\mu}$ ):

Կալորիմետրական եղանակով որոշվել են նանոկոմպոզիտների կորուստերի տեսակարար հզորության (SLP) գործակցի արժեքները և համեմատվել փոքր հիստերեզիսի օղակների կորուստների հետ: Ցույց է տրվել SLP -ի արժեքների անմիջական կապը մագնիսական բնութագրերի հետ: Արդյունքում տաքացման առավել բարձր արդյունավետությամբ նմուշի համար իրականացվել է կենսահամատեղելիության փորձարկումներ էրիթրոցիտների քայքայման (հեմոլիզի) արդյունքների վերլուծության եղանակով:

Չորրորդ գլխուսմ ներկայացված են գրաֆիտանման ածխածնային մատրիցում տեղակայված երկաթի միջուկով և մագնետիտի (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) թաղանթով մագնիսական նանոմասնիկների սինթեզը, ինչպես նաև համալիր կառուցվածքային և մագնիսական հատկությունների արդյունքները: Համեմատվել են տարբեր աստիճանի օքսիդացված նանոմասնիկների մագնիսական հատկությունները և փոփոխական մագնիսական դաշտում դրանց տաքացման արագությունները: Ուսումնասիրվել է SLP գործակցի և մագնիսական բնութագրերի միջև կապը:

Ատենախոսության ամփոփման մեջ ձևակերպված են ստացված հիմնական արդյունքները, որոնցից կարևոր են հետևյալները.

1. Առաջին անգամ նանոգրաֆենի վրա հիմնված կառուցվածքներում գրանցվել է ֆեռոմագնիսական ռեզոնանսային կլանում:
2. Մշակվել է երկաթի ֆտալոցիանինի պինդֆազային պիրոլիզի մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս ստանալու գրաֆիտանման ածխածնային պատիճով ինչպես երկաթի (Fe) և ցեմենտիտի (Fe<sub>3</sub>C) մագնիսական նանոմասնիկներ, այնպես էլ երկաթ-ցեմենտիտային (Fe@Fe<sub>3</sub>C) երկմետաղ նանոմասնիկներ: Ցույց է տրվել, որ պիրոլիզի ջերմաստիճանի փոփոխությունը (700–1100 °C) էականորեն ազդում է Fe@Fe<sub>3</sub>C նանոմասնիկների բաղադրության վրա, իսկ պիրոլիզի տևողության փոփոխությունը (3–1020 ր)՝ մասնիկների միջին չափերի վրա:
3. EXAFS անալիզի և ռեակտիվ ուժի դաշտի՝ մոլեկուլային դինամիկ սիմուլյացիայի համադրությամբ հաշվարկված շառավղային բախման ֆունկցիաների համեմատությունը ցույց է տվել, որ դիտարկված Fe@Fe<sub>3</sub>C երկմետաղ

նանոմասնիկները ունեն «միջուկ-թաղանթ» ճարտարապետություն՝ Fe միջուկով և Fe<sub>3</sub>C թաղանթով:

4. Մինթեզված (Fe-Fe<sub>3</sub>C)@C նանոկոմպոզիտների 1մգ/մլ կոնցենտրացիայով ջրային կախույթների մագնիսական գերտաքացման հետազոտություններում առավելագույն կորուստների տեսակարար հզորության SLP գործակցի արժեք՝ 419 Վտ/գ, գրանցվել է պիրոլիզի 900 °C ջերմաստիճանի և 5 ը տևողությամբ նմուշում:
5. Մշակվել է Fe@C նանոմասնիկների օքսիդացման մեթոդ՝ առանց վնասելու գրաֆիտանման ածխածնային պատիճը, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@C և երկմետաղ Fe-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@C «միջուկ-թաղանթ» ճարտարապետությամբ մագնիսական նանոմասնիկներ ստանալու համար:

Կարելի է փաստել, որ ատենախոսության շրջանակներում կատարված է մեծ ծավալի աշխատանք, որի արդյունքներն ունեն ինչպես հիմնարար, այնպես էլ կիրառական արժեք: Ատենախոսությունը գերծ չէ որոշ թերություններից: Կարելի է անել հետևյալ դիտողությունները.

1. Ոչ բոլոր աղյուսակներում է բերված փորձից ստացված մեծությունների արժեքների սխալանքի չափը:
2. Միևնույն ֆիզիկական մեծության չափման միավորները տարբեր գրաֆիկների վրա արտահայտված են տարբեր միավորներով, Օրինակ Գլուխ 2-ում մագնիսացվածության առանցքի միավորները արտահայտված են էմմ/գ-ով, իսկ Գլուխ 3-ում մագնիսացվածությունը արտահայտված է Ամ<sup>2</sup>/կգ-ով:
3. Գրականության ակնարկում նշված է, որ մագնիսական գերտաքացման փորձերում սահմանափակում է դրվում մագնիսական դաշտի լայնույթի և հաճախության վրա, այն է  $H \times f$  արդյունարար արտադրյալը չպետք է գերազանցի  $5 \cdot 10^9$  Ա/մվ արժեքը: Սակայն մագնիսական գերտաքացման փորձերում ընտրված են փոփոխական մագնիսական դաշտի լայնույթի և հաճախության մեծ արժեքներ:

Նշված դիտողությունները չեն վերաբերվում պաշտպանությանը ներկայացված հիմնական դրույթներին, ուստի չեն նսեմացնում աշխատանքի արժեքն ու դրա վերաբերյալ դրական կարծիքը: Աշխատանքում ստացված արդյունքները հավաստի են և կարևոր:

Ատենախոսությունն իր արդիականությամբ, ծավալով, գիտական նորությով, կիրառական նշանակությամբ և հիմնական արդյունքների կարևորությամբ համապատասխանում է ՀՀ գիտական աստիճանաշնորհման կանոնակարգի պահանջներին: Սեղմագիրն ամբողջովին համապատասխանում է ատենախոսությանը և արտացոլում է դրա հիմնական դրույթները:

Ատենախոսության արդյունքները կարող են օգտագործվել ՀՀ ԳԱԱ ֆիզիկական հետազոտությունների ինստիտուտում, ՀՀ ԳԱԱ Լ. Ա. Օրբելու անվան Ֆիզիոլոգիայի ինստիտուտում, ՌԴ Հարավային դաշնային համալսարանի Ֆիզիկայի հետազոտական

ինստիտուտում, ՌԴ «Կուրչատովի ինստիտուտ» ազգային հետազոտական կենտրոնում, Գերմանիայի Դաշնության Դույսբուրգ-Էսենի համալսարանում և Հունաստանի Սալոնիկի Արիստոտելի համալսարանում, ինչպես նաև սպինտրոնիակայում, էներգետիկայի ոլորտում և մի շարք կենսաբժշկական կիրառություններում:

Եզրակացություն

Ելնելով վերը շարադրվածից՝ կարելի է եզրակացնել, որ Հարություն Տիգրանի Գյուլասարյանի «Երկաթի հիմքով մագնիսական նանոմասնիկների և նանոձուլվածքների սինթեզը և հետազոտությունը քաղցկեղային հյուսվածքների մագնիսական գերտաքացման համար» թեմայով թեկնածուական ատենախոսությունն իրենից ներկայացնում է հիմնավոր և ավարտուն գիտական աշխատանք: Այն լիովին բավարարում է ՀՀ գիտական աստիճանաշնորհման կանոնակարգի պահանջներին, իսկ նրա հեղինակն արժանի է Ա.04.07 - «Կենդենսացված վիճակի ֆիզիկա» մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի աստիճանի շնորհմանը:

Հեղինակը աշխատանքը ներկայացրել է ՀՀ Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան Ազգային Գիտական Լաբորատորիայի Կիրառական Ֆիզիկայի Հետազոտությունների բաժանմունքի ընդհանուր սեմինարին՝ 2025 թ. հունիսի 5-ին: Աշխատանքի քննարկմանը մասնակցել են ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտորներ՝ Հարությունյան Վաչագանը, Սահակյան Արամը, ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածուներ՝ Հովսեփյան Գագիկը, Գրիգորյան Նորիկը, Նիկողոսյան Սերգեյը, Ալեքսանյան Էդուարդը, ինչպես նաև Կոստանյան Գայանեն, Բաղայան Անուշը, Մարտիրոսյան Արփինեն, Արեստակյան Արևիկը, Նելլի Բարսեղյանը, Հովհաննիսյան Ադասին, Հովհաննիսյան Արմանը:

ԱԱԳԼ Կիրառական Ֆիզիկայի

Հետազոտությունների բաժանմունքի ղեկավար՝  Հարությունյան Վաչագան

Քարտուղար՝

 Բաղայան Անուշ