8D05301 – «Химия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ұсынылған Сарсенбаева Замира Беркбайкызының «Күрделі оксидті маганиттердің нанобөлшектерін синтездеу және сутек алудағы (CAP, OAP) каталитикалық қасиеттерін физика-химиялық тұрғыда зерттеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына

# АҢДАТПА

**Диссертациялық жұмыс** Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрінің 06.01.2025 жылғы №4 бұйрығымен бекітілген ғылыми дәрежелерді беру қағидаларының 5-1. 2) диссертация мазмұнына сәйкес келетін ғылыми салалардың бірінен Clarivate Analytics (Кларивэйт Аналитикс) компаниясының Journal Citation Reports (Журнал Цитэйшэн Репортс) деректеріне сәйкес импакт-фактор бойынша бірінші және (немесе) екінші квартильге кіретін басылымдарда жарияланған кемінде екі мақала және бір шолу немесе үш мақала сериясы. Мақаланың біреуінде докторант үміткер бірінші автор немесе хат-хабарлардың авторы болу тармағына және №09-02-19/277 (25.05.2025ж.) бұйрығымен бекітілген «Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті» КеАҚ диссертациялық кеңес туралы ережесінің 7. Докторлық диссертациялық жұмысты ұсыну, 7.2.1. Ғылыми мақалалар сериясы негізінде қорғау тармақшасына сәйкес докторант жариялаған мақалалар топтамасы түрінде ұсынылды.

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы**

Зерттеу жұмысы күрделі оксидті маганиттердің нанобөлшектерін синтездеуге, олардың құрылымдық, морфологиялық және физика-химиялық қасиеттерін кешенді зерттеуге бағытталған. Жұмыста маганиттерді синтездеудің тиімді жағдайы қарастырылып, алынған материалдардың фазалық құрамы, кристалдық құрылымы, морфологиясы, элементтік құрамы, электрофизикалық және диэлектрлік қасиеттері зерттеледі. Перовскитті маганиттер – құрамындағы $ABO_3$ (A=Fe, La, In; B=Mn, Fe) кристалдық торларындағы А және В позициясындағы иондарды өзгерту және допирлеу арқылы қосылыстардың құрылым мен қаситтеріне ықпал ету. Сонымен қатар синтезделген күрделі оксидті маганиттердің сутек алу үдерісіндегі электрокаталитикалық қасиеті сутек алу реакциясы (CAP) және оттегіні алу реакциясы (OAP) реакциялары негізінде бағаланады. Зерттеу нәтижелері материалдардың құрамы, құрылымы мен физика-химиялық қасиеттерінің олардың электрокаталитикалық қасиетіне әсерін анықтауға бағытталған. Электрокаталитикалық қасиеттері сызықты вольтамперметрия және электрохимиялық импэдансты спектроскопия әдістерімен талдынды.

Зерттеу нәтижелері синтез жағдайлары, фазалық құрамы, кристаллографиялық параметрлері және морфологиясы арасындағы байланысты, сондай-ақ, осы факторлардың алыңған өнімдердің электрофизикалық және электрокаталитикалық қасиеттеріне ықпалын анықтауға бағытталған.

**Зерттеудің өзектілігі**

Қазіргі таңда энергияға сұраныстың артуы және дәстүрлі отын ресурстарын пайдаланудан туындайтын экологиялық мәселелер жаңартылатын әрі экологиялық таза энергия көздерін дамыту қажеттілігін күшейтуде.

Суды электрохимиялық ыдырату арқылы сутек алу үдерісінің тиімділігі САР және ОАР реакцияларында қолданылатын электрокатализаторлардың қасиеттеріне тікелей байланысты. Қазіргі жоғары белсенді асыл металл негізіндегі катализаторлардың құны мен ресурстық шектеулері оларды арзанырақ және қолжетімді материалдармен алмастыру қажеттілігін туындатады.

Күрделі оксидті манганиттер құрамы мен кристалдық құрылымын өзгерту мүмкіндігі, әртүрлі тотығу дәрежесіндегі марганец иондарының болуы және физика-химиялық қасиеттерін мақсатты түрде реттеу мүмкіндігімен ерекшеленеді. Оларды нанобөлшек түрінде алу мен құрылымдық-морфологиялық ерекшеліктерін бақылау электрокаталитикалық қасиеттерін жақсартуға мүмкіндік береді.

Осыған байланысты күрделі оксидті манганиттердің нанобөлшектерін синтездеу, олардың құрылымы мен физика-химиялық қасиеттерін зерттеу және САР мен ОАР үдерістеріндегі электрокаталитикалық қасиетін бағалау – сутек энергетикасы үшін тиімді әрі қолжетімді электродтық материалдарды іздеуге бағытталған өзекті ғылыми міндет болып табылады.

**Тақырыптың зерттелу деңгейі**

Күрделі оксидті манганиттер соңғы жылдары құрылымдық, электрлік, магниттік, диэлектрлік және электрокаталитикалық қасиеттерінің кең ауқымына байланысты қарқынды зерттеліп келеді. Әдеби деректерде перовскитті және басқа құрылымдық типтегі манганиттерді қатты фазалық, золь-гель, Печини, золь-гель және жасыл синтез әдістерімен алу жолдары кеңінен қарастырылған.

Манганиттердің қасиеттері Me-O арасындағы байланыс, фазалық құрамына, кристалдық құрылымына, бөлшектерінің өлшемі (нано/микро) мен морфологиясына (элементтердің таралу картасына) рентген фазалы талдау (РФТ), сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ/ЭДС) әдістерімен, сондай-ақ металл катиондарының орналасуы ($ABO_3$, $A_xB_{1-x}O3$, $A_3B_5O_{12}$) мен тотығу дәрежесіне тәуелділігі ($Mn^{2+}$=$Mn^{4+}$, $Fe^{3+}$=$Fe^{2+}$) ТПО-$O_2$ әдісімен талданды. Осы факторлардың электр өткізгіштікке және диэлектрлік жауапқа ықпалын түсіндіру мақсатында олардың температуралық және жиіліктік тәуелділіктері зерттелуде. Алайда әртүрлі фазалық құрамдағы манганиттер үшін құрылымдық және морфологиялық ерекшеліктерді электрофизикалық сипаттамалармен салыстыра талдау өзектілігін сақтайды.

Сонымен қатар Mn және Fe негізіндегі күрделі оксидтердің диэлектрлік қасиеттері мен сутек алу (САР) және оттегі бөліну (ОАР) реакцияларындағы электрокаталитикалық белсенділігін зерттеуге қызығушылық артып келеді. Дегенмен синтез жағдайлары, фазалық құрам, кристалдық құрылым мен

морфологияның температура мен жиілікке тәуелді диэлектрлік сипаттамаларға, сондай-ақ электрокаталитикалық көрсеткіштерге ықпалы әрбір материалдық жүйе үшін нақтылауды қажет етеді. Осыған байланысты жұмыста манганиттердің диэлектрлік өтімділігі мен диэлектрлік шығындары зерттеліп, олардың электрокаталитикалық қасиеттері сызықтық вольтамперметрия (LSV) және электрохимиялық импеданс спектроскопиясы (EIS) әдістерімен бағаланады. Алынған нәтижелер материалдардың құрамы, құрылымы мен морфологиясы тұрғысынан салыстырылады.

**Зерттеудің мақсаты**

Күрделі оксидті манганиттердің нанобөлшектерін синтездеп, олардың құрылымдық, морфологиялық және физика-химиялық қасиеттерін анықтау, сондай-ақ суды электрохимиялық ыдырату кезіндегі сутек бөліну реакциясындағы (CAP/OAP) электрокаталитикалық қасиетін зерттеу.

**Қойылған мақсатқа жету үшін келесі міндеттер айқындалды:**

– Жаңа күрделі оксидті манганиттерді Печини әдісімен синтездеу;

– Алынған манганиттердің фазалық құрамы мен кристалдық құрылымын және Ме–О байланыстарының түзілуін талдау;

– Манганиттердің морфологиясы мен элементтік құрамын анықтау;

– Электрофизикалық (электрөткізгіштігі және тыйым салынған аймақ) және диэлектрлік қасиеттерінің (диэлектрлік шығын, диэлектрлік өтімділік, электрөткізгіштік, импеданстің нақты бөлігі) температура мен жиелікке тәуелділігін талдау;

– Манганиттердің сутек бөліну реакциясындағы (CAP/OAP) электрокаталитикалық қасиетін зерттеу.

**Зерттеу объектісі –** перовскит құрылымды жаңа күрделі манганит және манганит-ферритті оксидтері.

**Зерттеу пәні –** күрделі манганиттердің синтезі, олардың құрылымдық, морфологиялық, электрофизикалық және электрокаталитикалық қасиеттері.

**Зерттеу әдістері –** диссертациялық зерттеу барысында келесі заманауи физика-химиялық зерттеу әдістері қолданылды: золь-гельге негізделген Печини синтез әдісі, рентгендік дифракциялық талдау XRD, сканерлеуші электрондық микроскопия (FE-SEM/EDS), инфрақызыл спектрометр (FTIR), диэлектрлік және электрлік қасиеттерді өлшеу, электрокаталитикалық қасиетін сызықты вольтамперметрия (LSV) және электрохимиялық импэденсті спектроскопия (EIS) әдістерімен талданды. Аталған әдістер синтезделген материалдардың құрылымдық және физикалық, электрокаталитикалық қасиеттерін кешенді түрде зерттеуге мүмкіндік береді.

**Диссертациялық зерттеудің ғылыми жаңалығы**

Зерттеу нәтижесінде:

– алғаш рет жаңа құрамды $FeMnO_3$, $La_{0.9}MnO_3$-$LaFeO_3$, $Fe_{0.84}Mn_{1.12}O_3$-$In_{0.12}Fe_{1.88}O_3$ және $FeMnO_3$-$Ho_3Fe_5O_{12}$ манганиттер мен ферро-манганиттер синтезделді;

– синтезделген қосылыстардың перовскитті құрылымды бірфазалы және қосфазалы күрделі оксидтер екендігі анықталды;

– олардың кристалдық құрылымы, морфологиясы және элементтік таралуы анықталды;

– жаңа синтезделген күрделі оксидтердің электрлік және диэлектрлік қасиеттеріне әсері анықталды;

– алынған өнімдердің алғаш рет электрокаталитикалық қасиеті сызықты вольтамперометрия (LSV) және электрохимиялық импеданстық спектроскопия (EIS) әдістері арқылы зерттелді.

**Диссертациялық зерттеудің ғылыми жаңалығы қорғауға ұсынылатын келесі негізгі қағидалармен айқындалады**

– Печини әдісімен синтездеу кезінде 600–1100 °C аралығында әрбір 100 °C-та 1 сағат термиялық өңдеудің манганиттердің құрамдық біртектілігіне, фазалық құрамына және микро/наноөлшемді бөлшектерінің қалыптасуына әсері.

– Манганиттерді сирек металдармен допирлеу кезінде фазалық құрамның өзгеруі мен қос фазалы құрылымның қалыптасуы орташа бөлшек өлшемінің ұлғаюына ықпалы.

– $FeMnO_3$ және $La_{0.9}MnO_3$-$LaFeO_3$ өнімдерінің электрлік кедергісінің 293–483 К аралығында жартылай өткізгіштік және металдық сипатты көрсетті, $FeMnO_3$ үшін 293–393 К аралығында диэлектрлік дисперсия және релаксациялық үдерісімен байланысты.

$FeMnO_3$ және $La_{0.9}MnO_3$-$LaFeO_3$ үлгілерінің сутек бөліну реакциясындағы электрокаталитикалық белсенділігі LSV және EIS әдістерімен бағаланып, циклдеу барысында катодтық токтың артуы және заряд тасымалдау кедергісінің электрод потенциалына тәуелділігі талданады.

**Ғылыми нәтижелер**

**1. Бірінші мақала бойынша ғылыми нәтижелер**

Зерттеу жұмысында Печинидің золь-гель әдісі арқылы $La_{0.9}MnO_3$-$LaFeO_3$ екі фазалы перовскиттік нанокомпозиті синтезделіп, оның фазалық-құрылымдық, морфологиялық, электрофизикалық және электрокаталитикалық қасиеттері кешенді зерттелді. Рентгенфазалық талдау нәтижесінде алынған материалдың $La_{0.9}MnO_3$ және $LaFeO_3$ фазаларынан тұратын поликристалды екі фазалы құрылым түзетіні анықталды. $La_{0.9}MnO_3$ фазасы гексагональды $R\bar{3}c$ кеңістік тобымен, тор параметрлері a = b = 5,52 Å, c = 13,37 Å сипатталса, $LaFeO_3$ фазасы кубтық $Pm\bar{3}m$ құрылымына (a = b = c = 3,89 Å) сәйкес келді. Шеррер теңдеуі бойынша кристаллиттердің орташа өлшемдері тиісінше 55,29 және 54,96 нм құрады.

FTIR спектроскопиясында 658 $см^{-1}$ аймағында Mn–O–Mn және Fe–O–Fe байланыстарына тән тербеліс жолағы анықталып, $MnO_6$ және $FeO_6$ октаэдрлерінің түзілуі расталды. Сонымен қатар 1095, 1328, 1408 және 1690

см$^{-1}$ аймақтарында қосымша жұтылу жолақтары тіркелді. FESEM–EDS зерттеулері материалдың морфологиялық ерекшеліктері мен элементтік құрамын сипаттап, микрокұрылымдық өлшемнің орташа мәні шамамен 186,87 нм екенін көрсетті.

Электрофизикалық зерттеулер $La_{0.9}MnO_3$-$LaFeO_3$ композитінің температураға тәуелді күрделі өткізгіштік сипатын көрсетті. Материал 293–323 K, 343–393 K және 413–483 K аралықтарында жартылай өткізгіштік қасиет танытты. Осы температуралық аралықтар үшін тыйым салынған аймақ ені сәйкесінше 1,38; 1,44 және 1,41 эВ болып, материалдың тар тыйым салынған аймақты жартылай өткізгіштерге жататыны анықталды. Диэлектрлік өтімділік температура жоғарылаған сайын айтарлықтай өсіп, ал өлшеу жиілігінің артуымен төмендейтіні байқалды.

$La_{0.9}MnO_3$-$LaFeO_3$ нанокомпозитінің сутек бөліну реакциясындағы (HER) электрокаталитикалық қасиеттері LSV және EIS әдістерімен бағаланды. LSV зерттеулерінде 50 цикл жүргізіліп, ток мәні бірінші циклдегі 0,0022 А-ден 50-циклде 0,0045 А-ге дейін артты. Бұл циклдер санының өсуімен композиттің HER үдерісіндегі электрокаталитикалық қасиетінің жоғарылағанын көрсетті. EIS нәтижелері бойынша қолданылған кернеу 0,50-ден 0,85 В-қа дейін жоғарылағанда материал импедансының төмендеуі байқалды, бұл электрод–электролит шекарасындағы заряд тасымалдау үдерістерінің өзгеретінін көрсетті.

**2. Екінші мақала бойынша ғылыми нәтижелер**

Синтез золь-гельге негізделген Печини әдісі арқылы $FeMnO_3$ (FMO) перовскиттәрізді нанобөлшектері синтезделіп, олардың фазалық-құрылымдық, морфологиялық, тотығу-тотықсыздану, электрофизикалық, диэлектрлік және сутек бөліну реакциясындағы электрокаталитикалық қасиеттері кешенді түрде зерттелді. Рентгенфазалық талдау нәтижесінде $FeMnO_3$-тің жоғары кристалдылыққа ие кубтық $Ia\bar{3}$ кеңістік тобында түзілгені анықталды. Кристалдық тор параметрлері a = b = c = 9,45 Å, ал Шеррер теңдеуі бойынша орташа кристаллит өлшемі 52,47 нм құрады.

FTIR спектроскопиясы $FeMnO_3$ құрылымында метал–оттек байланыстарының түзілгенін растады. 755,13; 715,99 және 668,62 см$^{-1}$ аймақтарындағы жұтылу жолақтары Fe–O және Mn–O байланыстарының валенттік тербелістеріне сәйкес келді. FESEM зерттеулерінде бөлшектердің салыстырмалы біркелкі морфологиясы байқалып, олардың орташа өлшемі шамамен 55,84 нм болды. EDS және элементтік карталау нәтижелері Fe, Mn және O элементтерінің материал бетінде біркелкі таралғанын көрсетті.

TPO-$O_2$ талдауы $FeMnO_3$ құрылымындағы тотығу-тотықсыздану үдерістерін сипаттауға мүмкіндік берді. 528 және 651 °C аймақтарында тотығу процестері байқалып, жоғары температурада бастапқы FMO кристалдық құрылымының қайта қалпына келетіні көрсетілді. Бұл үдеріс $Fe^{3+} + Mn^{2+}/Mn^{3+} \leftrightarrow Fe^{2+} + Mn^{4+}$ түріндегі электрондық ауысулармен байланыстырылды.

Электрофизикалық зерттеулер $FeMnO_3$-тің жартылай өткізгіштік сипатын көрсетті. Тыйым салынған аймақ ені 313–373 K аралығында 0,12 эВ, 363–403 K-де 0,82 эВ және 413–483 K-де 1,18 эВ болып анықталды. Диэлектрлік

өтімділік 1 кГц жиілікте 293 K кезіндегі 69-дан 483 K-де $2{,}43 \cdot 10^5$-ке дейін өсті, ал жиілік жоғарылағанда төмендеу үрдісі байқалды. Кең жолақты диэлектрлік спектроскопия екі түрлі релаксациялық үдерісті, заряд тасымалдаушылардың алыс және қысқа қашықтықтағы секірмелі тасымалының және түйіршік шекараларындағы поляризация маңызды рөл атқаратынын көрсетеді.

$FeMnO_3$-тің HER кезіндегі белсенділігі LSV әдісімен бағаланды. –0,8-0,4 V потенциал аралығында сутек бөлінуіне сәйкес ток тіркеліп, цикл саны артқан сайын ток сигналы тұрақтанды. Нәтижелер FMO нанобөлшектерінің бастапқы активтенуден кейін тұрақты электрокаталитикалық қасиет көрсететінін және HER үшін орташа каталитикалық белсенділікке ие.

**3. Үшінші мақала бойынша ғылыми нәтижелер**

Шолу мақаласында перовскитті манганиттердің синтезі, құрылымдық ерекшеліктері мен функционалдық қасиеттері арасындағы өзара байланыс жүйеленіп, осы материалдардың қасиеттерін мақсатты түрде басқарудың негізгі факторлары айқындалды. Перовскитті манганиттердің қасиеттері олардың кристалдық құрылымына, Mn–O–Mn байланысының геометриясына, $Mn^{3+}/Mn^{4+}$ иондарының арақатынасына, оттектік вакансияларға және катиондық орынбасуға тікелей тәуелді екені көрсетілді.

Манганиттерді алудың қатты фазалық, золь-гель, Печини, гидротермиялық, тұндыру, жану, микротолқынды, ультрадыбыстық және басқа да әдістері салыстырмалы түрде талданды. Синтез әдісі мен термиялық өңдеу жағдайлары материалдың фазалық тазалығын, кристаллит өлшемін, морфологиясын, оттектік стехиометриясын және электрлік, магниттік әрі электрокаталитикалық қасиеттерін анықтайтыны көрсетілді. Печини әдісінің металл катиондарын молекулалық деңгейде біркелкі араластыруға, күрделі құрамдардың стехиометриясын сақтауға және салыстырмалы төмен температурада перовскиттік фазаны қалыптастыруға мүмкіндік беретіні негізделді.

Перовскитті манганиттердің $ABO_3$, қос перовскитті, қабатты және төмен өлшемді құрылымдық түрлері қарастырылып, олардың құрылымдық өзгерістері функционалдық қасиеттерімен байланыстырылды. A- және B-позицияларындағы катиондарды алмастыру кристалдық тордың симметриясына, $Mn^{3+}/Mn^{4+}$ қатынасына және $MnO_6$ октаэдрлерінің деформациясына әсер ететіні анықталды. Жан–Теллер эффектісі мен $MnO_6$ октаэдрлерінің бұрылуы Mn–O–Mn бұрышын өзгертіп, электрондардың тасымалдануына, электрөткізгіштік пен магниттік күйге ықпал ететіні жүйеленді.

Әртүрлі құрамдағы манганиттердің магниттік, электрлік, диэлектрлік, оптикалық және каталитикалық қасиеттері салыстырылып, оларды катиондық орынбасу мен ақаулық құрылымды өзгерту арқылы басқаруға болатыны көрсетілді. A-позицияны $Ca^{2+}$, $Sr^{2+}$, $Ba^{2+}$ сияқты иондармен алмастыру аралас $Mn^{3+}/Mn^{4+}$ валенттік күйінің қалыптасуына және қос алмасу механизмі арқылы магниттік және электрлік қасиеттердің өзгеруіне алып келетіні анықталды.

Жүргізілген талдау негізінде перовскитті манганиттердің қасиеттерін анықтайтын негізгі «синтез жағдайы → ақаулық құрылым → кристалдық

құрылым → функционалдық қасиет → қолданылу аясы» өзара имбайланысы жүйеленді. Әсіресе оттектік вакансиялар, катиондық орынбасу және құрылымдық деформациялардың HER/OER электрокаталитикалық тиімділігіне ықпалы маңызды бағыт ретінде көрсетілді. Осы нәтижелер перовскитті манганиттерді электрокатализ, сутек энергетикасы, энергияны сақтау, сенсорлар, фотокатализ, спинтроника және магниттік салқындату үшін перспективалы көпфункционалды материалдар ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

**Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы**

Зерттеу нәтижелері күрделі оксидті манганиттердің (перовскитті, гранатты) синтез жағдайлары, фазалық құрамы, кристалдық құрылымы мен морфологиясы арасындағы байланысты сипаттауға мүмкіндік береді. Олардың электрофизикалық және диэлектрлік қасиеттерін температура мен жиілікке тәуелді зерттеу бұл материалдардың қасиеттері туралы ғылыми түсінікті толықтырады. Құрылымдық сипаттамаларды электрохимиялық нәтижелермен салыстыру CAP және OAP кезіндегі электрокаталитикалық қасиеттерін түсіндіруге негіз болады.

Алынған деректер зерттелген манганиттердің су электролизіндегі CAP және OAP реакцияларына арналған электродтық материал ретінде бастапқы бағалауға қолданылады. Синтез жағдайлары мен электрохимиялық көрсеткіштерді салыстыру келесі зерттеулерге үлгілерді таңдауға және олардың құрамын оңтайландыруға негіз болады.

**Зерттеудің практикалық нәтижелерін апробациялау**

Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері халықаралық ғылыми конференцияларда баяндалып, ғылыми қауымдастық өкілдерінің талқылана ұсынылды.

1. Қырғызстан Республикасының ҰҒА академигі Сулайманқұлов Какина Сулайманқұлұлы туғанына 90 жыл толуына арналған «Химия мен инновациялық технологиялардың дамуының іргелі және қолданбалы аспектілері» атты халықаралық конференция. Бішкек. Қырғызстан. 2023ж.

**Зерттеудегі жарияланымдар және автордың жеке үлесі**

Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері жарияланған 14 жұмыста көрсетілген, оның ішінде **3 мақала Clarivate Analytics** (Clarivate Analytics) Web of Science базасы бойынша импакт-фактор бірінші және/немесе екінші квартильге енгізілген ғылыми жарияланымдарда және Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитетінің тізіміне енгізілген ғылыми басылымдарда **3 мақала** және Ресейлік ғылыми дәйексөздер индексінде (РИНЦ) **1 мақала,** халықаралық конференцияларда **7 мақала** мен тезистер жарияланды және ҚР инновациялық патентке **1 өтінім** берілді.

1. Mataev, M., **Sarsenbaeva, Z.,** Keskin, B., Nurbekova, M., Meldeshov, A., Tursyn, Z., & Seitbekova, K. (2025). Synthesis, Structure, and Electrophysical and Electrochemical Properties of Novel Composite $La_{0.9}MnO_3$-$LaFeO_3$. *Molecules*, *30*(1), 132. https://doi.org/10.3390/molecules30010132 Журнал көрсеткіштері (2025): импакт-фактор 5.1; Физикалық және теориялық

химия бойынша Q1 (87%). CiteScore (2025): 10.3; Химия (әртүрлі бағыттар) бойынша 80%. Докторанттың үлесі: эксперименттер жүргізді, алынған нәтижелерді интерпретациялады; мақаланың түпнұсқа жобасын дайындап, ресімдеді; журнал талаптарына сәйкес мақаланы толық дайындауға қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

2. Mataev, M., **Sarsenbaeva, Z.,** Nurbekova, M., Krishnamoorthy, R., Keskin, B., Abdraimova, M., Tursyn, Z., Seitbekova, K., & Durmenbayeva, Z. (2026). $FeMnO_3$: Synthesis, Morphology, Dielectric Properties, and Electrochemical Behavior Toward HER by LSV. *Nanomaterials*, *16*(5), 310. https://doi.org/10.3390/nano16050310. Авторлық мәртебесі: докторант корреспондент автор. Журнал көрсеткіштері (2026): импакт-фактор 4.8; Жалпы химиялық инженерия Q1 (87%). CiteScore (2026): 10,3; Жалпы материалтану бойынша 84-пайыздық көрсеткіш. Докторанттың үлесі: эксперименттер жүргізді, алынған нәтижелерді интерпретациялады; мақаланың түпнұсқа жобасын дайындап, ресімдеді; журнал талаптарына сәйкес мақаланы толық дайындауға қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

3. Nurbekova, M., Mataev, M., Abdraimova, M., Tursyn, Z., Durmenbayeva, Z., & **Sarsenbaeva, Z.** (2026). Perovskite Manganites: An Overview of Synthesis, Classification, Characterization, and Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, *27*(13), 5709. https://doi.org/10.3390/ijms27135709. Авторлық мәртебесі: докторант корреспондент автор. Журнал көрсеткіштері (2026): импакт-фактор 5.6; Бейорганикалық химия бойынша Q1. CiteScore (2026): 10; Бейорганикалық химия бойынша 90-пайыздық көрсеткіш. Докторанттың үлесі: эксперименттер жүргізді, алынған нәтижелерді интерпретациялады; мақаланың түпнұсқа жобасын дайындап, ресімдеді; журнал талаптарына сәйкес мақаланы толық дайындауға қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

4. Матаев, М., Нурбекова, М. ., Кескин, Б., & **Sarsenbayeva, Z.** (2023). SYNTHESIS AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF POLYCRYSTAL $FeMnO_3$-$Ho_3Fe_5O_{12}$. *Academic Scientific Journal of Chemistry*, (4), 173–180. https://doi.org/10.32014/2023.2518-1491.201. Докторанттың үлесі: эксперименттер жүргізді, алынған нәтижелерді интерпретациялады; мақаланың түпнұсқа жобасын дайындап, ресімдеді; журнал талаптарына сәйкес мақаланы толық дайындауға қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

5. Матаев М. ., **Сарсенбаева , З.** ., Нурбекова М. ., Абдраимова , М. ., & Сейтбекова, . К. . (2025). СИНТЕЗ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМПОЗИТА $Fe_{0.84}Mn_{1.12}O_3$-$In_{0.12}Fe_{1.88}O_3$. *Academic Scientific Journal of Chemistry*, *3*(464), 155–165. https://doi.org/10.32014/2025.2518-1491.307. Докторанттың үлесі: эксперименттер жүргізді, алынған нәтижелерді интерпретациялады; мақаланың түпнұсқа жобасын дайындап, ресімдеді; журнал талаптарына сәйкес мақаланы толық дайындауға қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

6. Матаев, М., Оңғарбек А., **Сарсенбаева, З.,** Нурбекова, М., & Абдраимова, М. (2026). СИНТЕЗ И МОРФОЛОГИЯПЕРОВСКИТНОЙ СТРУКТУРЫ $CaMnO_{2.98}$. *Academic Scientific Journal of Chemistry*, *466*(1), 221–

237. https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.351. Докторанттың үлесі: эксперименттер жүргізді, алынған нәтижелерді интерпретациялады; мақаланың түпнұсқа жобасын дайындап, ресімдеді; журнал талаптарына сәйкес мақаланы толық дайындауға қатысты. Жеке авторлық үлесім – 50%.

7. Матаев М., **Сарсенбаева З.**, Нурбекова М. Synthesis and eleental composition analysis of double-perovskite $FeMnO_3$-$LaMnO_3$ Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики, стр.81-85. (2023) ISBN 0002-32221. Докторанттың үлесі: эксперименттер жүргізді, алынған нәтижелерді интерпретациялады; мақаланың түпнұсқа жобасын дайындап, ресімдеді; журнал талаптарына сәйкес мақаланы толық дайындауға қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

8. Матаев М., Көшкімбаева А., **Сарсенбаева З.** $FeMnO_3$-$Dy(Fe_{0,5}Mn_{0,5})_2$ поликристалының синтезі мен физика-химиялық құрамы // «Жастар мен ғылым: бүгіні мен болашағы» атты ғылыми-тәжірибелік конференция шеңберіндегі V Халықаралық конференция. Алматы қ., ҚазҰҚПУ, 21.04.2025 ж., 153–157 бб. Докторанттың үлесі: эксперименттік зерттеулер жүргізуге қатысты, алынған нәтижелерді өңдеп, интерпретациялады; мақаланы дайындауға және ғылыми тұрғыда рәсімдеуге қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

9. Матаев М., **Сарсенбаева З.** $FeMnO_3$ нанокомпозитінің синтезі мен физика-химиялық қасиеттері // Colloids and Nanotechnologies in Industry 2025. Алматы, KBTU, ISBN 978-601-269-534-2, 395–401 бб. Докторанттың үлесі: $FeMnO_3$ материалын синтездеуге және физика-химиялық зерттеулер жүргізуге қатысты; эксперименттік нәтижелерді талдап, интерпретациялады; мақаланың мәтінін дайындауға және ресімдеуге қатысты. Жеке авторлық үлесім – 70%.

10. Матаев М., Нурбекова М.А., Көшкімбаева А., **Сарсенбаева З.** $LaMnO_3$ перовскитінің жасыл синтезі және рентгенфазалық талдауы // «Жаратылыстану білімі мен ғылымының тұрақты даму мақсаттары аясындағы парадигмалары» атты IV Халықаралық жастар ғылыми форумы. 27 қараша 2025 ж. Докторанттың үлесі: $LaMnO_3$ перовскитін синтездеуге, рентгенфазалық зерттеу нәтижелерін өңдеу мен интерпретациялауға қатысты; мақала мәтінін дайындауға және нәтижелерді ғылыми тұрғыда рәсімдеуге үлес қосты. Жеке авторлық үлесім – 50%.

11. Ongarbek A., Mataev M., **Sarsenbaeva Z.** Synthesis of perovskite-structured $CaMnO_3$ and analysis using XRD and FTIR methods // Eurasian Science Review: An International Peer-Reviewed Multidisciplinary Journal. 3(7), 167–173. Докторанттың үлесі: зерттеу нәтижелерін талдауға және интерпретациялауға, XRD және FTIR нәтижелерін жүйелеуге, мақала мәтінін дайындауға және ресімдеуге қатысты. Жеке авторлық үлесім – 50%.

12. Дюсебай Ж.Ғ., Алиева Ұ.А., Оңғарбек А.Т., Матаев М.М., **Сарсенбаева З.** Перовскит құрылымды $BaMnO_3$ синтезі және морфологиясы // «Фараби әлемі» атты студенттер мен жас ғалымдардың халықаралық ғылыми конференциясы. Алматы, Қазақстан, 7–8 сәуір 2026 ж. ISBN 978-601-04-7533-5, 158 б. Докторанттың үлесі: $BaMnO_3$ материалын синтездеу және морфологиялық зерттеу нәтижелерін талқылауға қатысты; алынған

мәліметтерді интерпретациялауға және тезисті дайындауға үлес қосты. Жеке авторлық үлесім – 50%.

13. Матаев М., Көшкімбаева А., **Сарсенбаева З.** $NiMn_2O_4$-$Fe_3O_4$ поликристалының синтезі және физика-химиялық құрамы // «Химия және қоршаған орта» ғылыми-практикалық конференциясы. Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің 80 жылдығына, периодтық кестенің 155 жылдығына және Д.И. Менделеевтің туғанына 190 жыл толуына орай. 2024. ISBN 978-601-346-156-4, 20–23 бб. Докторанттың үлесі: материалды синтездеуге және физика-химиялық зерттеулер жүргізуге қатысты; эксперименттік нәтижелерді өңдеп, интерпретациялады; мақаланы дайындау мен ресімдеуге қатысты. Жеке авторлық үлесім – 50%.

**Зерттеу жұмысы аясында ҚР инновациялық патентке өтінім берілді:** Матаев М.М., Нурбекова М.А., **Сарсенбаева З.** Абдраймова М.Р., Тұрсын Ж., Көшкімбаева А.Қ. және Сейтбекова К.Ж. «Aloe vera экстракты негізінде перовскит құрылымды $LaMnO_3$ оксидін «жасыл синтез» алу әдісі // ҚР инновациялық патентіне өтінім, №442010, өтінім берілген күні: 24.02.2026 ж. Докторанттың үлесі: $LaMnO_3$ оксидін жасыл синтездеу әдісін әзірлеуге және тәжірибелік жұмыстарға қатысты; алынған нәтижелерді талдау мен патенттік материалдарды дайындауға үлес қосты. Жеке авторлық үлесім – 70 %.

**Жұмыстың ұлттық ғылыми бағдарламалармен байланысы**

- Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің 2025–2027 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыруы: «Физика-химиялық сипаттамалары бақыланатын магнитке сезімтал орталарды әзірлеу үшін көп компонентті перовскиттердің қасиеттерін синтездеу және зерттеу» ИРН AP26198947;
- Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің 2025–2027 жылдарға арналған ғылыми және (немесе) ғылыми-техникалық жобалар бойынша гранттық қаржыландыруы: «Сутегі өндірісіндегі композиттер мен нанокомпозиттердің электрокаталитикалық қасиеттерін зерттеу» ИРН AP26198941;
- Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің 26 сәуір 2023 жылдың №236 бұйрығына сәйкес ішкі қаржыландырылуы: «Спинтроникаға арналған жаңа композициялық мультиферроиктердің синтезі және физикалық негіздері».

**Жұмыстың халықаралық ғылыми бағдарламалармен байланысы**

- Йылдыз техникалық университетінің (Түркия) BAP бағдарламасы аясындағы FBG-2025-6692 «Әртүрлі ауыспалы металдармен байытылған және графенмен легирленген перовскит құрылымды темір манганиттерінің электрокаталитикалық белсенділігі мен сутек өндіру тиімділігін арттыру (PerovskiteNanoGraphene, PNG)» жобасы негізінде зерттеулер жүргізілді.

2027: IRN AP26198941 "Investigation of the electrocatalytic properties of composites and nanocomposites in hydrogen production";

- Internal funding from the Kazakh National Women's Pedagogical University in accordance with Order No. 236 dated April 26, 2023: "Synthesis and Physical Fundamentals of New Composite Multiferroics for Spintronics".

**Connection of the work to international scientific programs:**

Research was conducted as part of Project FBG-2025-6692 "Enhancing the electrocatalytic activity and efficiency of hydrogen production (PerovskiteNanoGraphene, PNG) of perovskite-structured iron manganites enriched with various variable metals and doped with graphene" as part of the BAP program at Yildiz Technical University (Turkey).

**Scientific Supervisor**

**Doctor of Chemical Sciences, Professor** **M. Mataev**

**Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor** **M. Nurbekova**