

ISSN: 1991-346X (Print)
ISSN: 2518-1726 (Online)

**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№1
2026**

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2026 • 1



**ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

EDITOR-IN-CHIEF

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director Oil refining and Petrochemistry Research Institute (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detailuri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

ABILMAGZHANOV Arlan Zainutallaevich, PhD in Chemistry, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

EDITORIAL BOARD:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center", (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ABIEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

OLIVIERO Rossi Cesare, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

TIGINYANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

SANG SU Kwak, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

BERSIMBAYEV Rakhmetkazhi Iskenderovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

CALANDRA Pietro, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

BURKITBAEV Mukhambetkali, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ZHUSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

KHARIN Stanislav Nikolaevich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ABISHEV Medeu Erzhanovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № KZ93VPY00121157 issued 05.06.2025

Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

БАС РЕДАКТОР

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынулы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХҒАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЛАРЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/rec-ord/2428551>

ӘБИЛМАҒЖАНОВ Арлан Зайнуталлайұлы, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы «Жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ Бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мынжасарұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» ғылыми-өндірістік орталығы» АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тілеккабыл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі (Санкт-Петербург, Ресей), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИВЬЕРО Росси Сесаре, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корей Биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті (Астана, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, PhD (физика), нанокүрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БӨШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, PhD теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

ӘБИШЕВ Медеу Ержанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/author/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025 ж.** берген № **KZ93VPY00121157** Куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МААН и НАН РК, Генеральный директор Научно-исследовательского института нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2428551>

АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич, кандидат химических наук, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2024265>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО «Научно-производственного центра «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/13503476>

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1405661>

ОЛИБЬЕРО Россин Чезаре, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/399768>

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/524462>

САНГ-СУ Квак, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB) (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30028581>

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендинович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/19854255>

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/616360>

БОШКАЕВ Куантай Агазыевич, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2080231>

БУРКИТБАЕВ Мухамбетали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29017135>

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/30353742>

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/566>

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/65533963>

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1671760>

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2023295>

АБИШЕВ Мелеу Ержанович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1556025>

ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан **05.06.2025**Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

CONTENTS

PHYSICS

Aimaganbetova Z.K., Kulshymbayev Y.A., Zhanturina N.N., Beketova G.K.
First-principles calculation of the electronic properties of the Double Halide Perovskite $\text{Cs}_2\text{Ag}_{0.2}\text{Na}_{0.4}\text{In}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}\text{Cl}_6$ based on the quantum ESPRESSO software.....14

Amangeldinova S., Zhuniskhan S., Kalzhigitov N., Kurmangaliyeva V.
Study of the cluster structure of ^5He and ^5Li mirror nuclei in two-cluster approximation.....35

Chokin K., Otunchi Ye., Kozhahmetova A., Kasenova A., Shongalova A.
Development and testing of a laboratory pyrometallurgical installation for recycling lithium-ion batteries.....46

Issayeva A., Beisebayeva A., Madybekova G., Shynazbekova Sh., Issa A.
Comparative analysis of physico-chemical characteristics of drinking, spring and natural water in the South Kazakhstan.....65

Kim V.Yu., Aimuratov Y.K.
Search for transient cosmic events by scanning the sky with wide-field telescopes.....78

Koshtybayev T.B., Tatenov A.M., Aliyeva M.E., Tugelbaeva G.T., Zhanaliyeva G.Zh.
Study of the electromagnetic field based on thermodynamics principles.....89

Mukamedenkyzy V., Akberdiyev B.
Numerical investigation of the effect of inclination angle on the stability of mechanical equilibrium in Ar–N₂ binary gas mixtures.....105

Myasnikova L.N., Uzakbaeva S.S., Shanina Z.K., Bekeshev A.Z.
Kinetic properties of high-density polyethylene filled with chromium spinel powder.....119

Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A., Kemelbekova A.E.
The role of low-dimensional layered structures in enhancing the stability of tin-based perovskite materials.....136

Sattinova Z., Ermakhanova F., Assilbekov B., Taimuratova L.
Influence of various cooling conditions and heat transfer coefficients on solidification during the formation of beryllium ceramic products.....149

Shestakova L.I., Serebryanskiy A.V., Spassyyuk R.R., Omarov Ch.T.
Search for gas of comet-meteor origin in the inner Solar System: caii ion emission.....165

Ualikhanova U., Tursynkazy F., Syzdykova A.M., Altayeva G.S., Altaibayeva A.B.
Studying the amplitude of $f(T)$ gravitational waves using Bessel functions.....179

Zhexenbayeva G.A., Nasirova D.M., Aimanova G.K., Shomshekova S.A. Photometric study of the symbiotic object V725 Tau.....	194
Zhusupova N.K., Zhadyranova A.A. Bounce cosmology in $f(T, \mathcal{T})$ gravity based on energy condition analysis.....	205
Ziyatbekova G., Abdimanapova P., Sagyntay O., Nurym A., Ilinov R. Using artificial intelligence to predict diseases based on medical data.....	225

CHEMISTRY

Almassov N.Zh., Zhumagaliyeva A.N., Duisenbekov S.E., Zhakiyev N.K. Design and optimization of hybrid renewable energy systems for hydrogen production in Kazakhstan.....	236
Amangeldi B., Zhanikulov N., Taimasov B., Aitureev M.M., Dauletiyarov M. Calculation of the Raw material composition for obtaining white Portland cement clinker.....	251
Baeshov A., Tashenov E.A., Atykhanova S.B., Koshkarbayeva Sh.T. Preparation of cadmium sulfide by electrochemical method using a composite sulfur-graphite electrode.....	267
Baisalova G.Zh., Azhikhanova Zh., Taltenov A.A., Kuzhatova P. Determination of the total phenolic content in perennial herbaceous plants of the flora of Kazakhstan.....	277
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R., Zhussipnazarova G.M., Mukazhanova Zh.B., Begenova B.E. Composites based on chitosan and cellulose: synthesis, properties, and application prospects.....	287
Erkasov R.Sh., Zhamkenova A.S., Sergazina S.M., Nurmukhanbetova N.N., Kassenova N.B. Halide-dependent modulation of hydrogen bonding in Mn(II) complexes with protonated acetamide: a QAIM, NCI, and energy decomposition study.....	304
Kalimoldina L.M., Shaikhova Zh.E., Kaliyeva B.K., Bubish Sh., Askarova Sh.K. The effect of silver nanoparticles on the germination of bean, lemon, tangerine and avocado seeds.....	320
Kurtebayeva A.A., Alvarez-Torrellas S., Gomes H.T., Orynbayev S.A., Kalmakhanova M.S. Activated-carbon-enhanced polymeric membranes for efficient elimination of emerging contaminants.....	334

Massenova A.T., Zhumakanova A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Abilmagzhanov A.Z. Optimization of the hierarchical zeolite ZSM-5 synthesis process by steam-assisted alkaline modification.....	350
Mutushev A.Zh., Nuraly A.M., Sanat A.S., Shaukharova M.A., Yessimsiitova Z.B. The effect of light-converting films on the accumulation of bioactive compounds and the quality of fruits.....	366
Nefedov A.N., Taikenova A.T. Current state of organic corrosion inhibitor application in oil refining.....	379
Omarov B.T., Altybayev Zh.M., Serikbayeva B.S. Production of biohumus by vermicomposting of organic wastes and study of its agroecological effectiveness.....	399
Rakhman D.M., Kappasuly A., Makhayeva D.N., Kazybayeva D.S., Irmukhametova G.S. Development and investigation of mucoadhesive hydrogels based on gellan–cysteine complexes.....	414
Sabyrzhanova A.E., Bolatkyzy N., Berganaeva G.E., Dyusebaeva M.A. Study of amino acids and fatty acids in the aerial part of <i>Plantago major</i>	428
Satayeva S., Akhmetova F., Urazova A., Aituganova S., Yerniyazova K. The influence of PEPA concentration on the physical, mechanical, and operational properties of ED-20 epoxy adhesives.....	439
Zamanbek A.Zh., Koshkarbayeva Sh.T., Satayev M.S. Methods of Obtaining Silver Nanoparticles and Antibacterial Properties.....	450
Zhortarova A.A., Salkeyeva L.K., Minayeva Ye.V., Ibrayev M.K., Fazylov S.D. New possibilities for the synthesis and phosphorylation of phosphonoacetic acid ester.....	462

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

Аймағанбетова З.К., Құлшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Quantum Espresso бағдарламасы негізінде Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ кос галогенді перовскиттің электрондық қасиеттерін бірінші принциптік есептеу.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курманғалиева В. Екі кластерлік жуықтауда 5He және 5Li айналық ядроларының кластерлік құрылымын зерттеу.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожаметова А., Касенова А., Шонғалова А. Литий-ионды аккумуляторларды қайта өндеуге арналған зертханалық пирометаллургиялық қондырғыны әзірлеу және сынау.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Кең бұрышты телескоптармен аспанды сканерлеу арқылы өтпелі ғарыштық оқиғаларды іздеу.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Электромагниттік өрісті термодинамикалық бастамалар тұрғысында зерттеу.....	89
Мукамеденқызы В., Ақбердиев Б. Ar–N ₂ бинарлы газ қоспаларындағы механикалық тепе-теңдік тұрақтылығына қиғаш бұрыштың әсерін сандық зерттеу.....	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Хром-шпинельді ұнтақ қосылған жоғары тығыздықты полиэтиленнің кинетикалық қасиеттері.....	119
Нұрбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Қалайы негізіндегі перовскитті материалдардың тұрақтылығын арттырудағы төменөлшемді қабатты құрылымдардың рөлі.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Бериллий керамикалық бұйымдарын қалыптастыру кезінде әр түрлі салқындату жағдайлары мен жылу беру коэффициенттерінің қатаюға әсері.....	149
Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Күн жүйесінің ішкі аймағындағы комета-метеорлық тектегі газды іздеу: CaII иондарының жарқырауы.....	165

Уалиханова У.А., Тұрсынқазы Ф., Сыздықова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б.
Бессель функцияларын пайдаланып $f(T)$ гравитациялық толқындардың
амплитудасын зерттеу.....179

Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекова С.А
V725 Тау симбиотикалық объектiсiн фотометрлiк зерттеу.....194

Жусупова Н.К., Жадыранова А.А.
Энергия шарттарын талдауға негiзделген $f(T, T)$ серпiлiс космологиясы.....205

Зиятбекова Г.З., Абдиманапова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А.
Жасанды интеллект көмегiмен медициналық деректер бойынша
ауруларды болжау.....225

ХИМИЯ

Алмассов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дүйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К.
Қазақстанда сутегi өндiруге арналған гибрирдiк жаңартылатын энергия жүйелерiн
жобалау және оңтайландыру.....236

Амангелдi Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев М., Даулетияров М.
Ақ портландцемент клинкерiн алу үшiн шикiзат шихта құрамын есептеу.....251

Баешов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т.
Композициялы күкiрт-графит электродын қолдану арқылы кадмий
сульфидiн электрохимиялық әдiспен алу.....267

Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Құжатова П.
Қазақстан флорасындағы көпжылдық шөптесiн өсiмдiктердiң фенолдық
қосылыстарының жиынтық мөлшерiн анықтау.....277

**Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусипназарова Г.М., Мукажанова Ж.Б.,
Бегенова Б.Е.**
Хитозан және целлюлоза негiзiндегi композиттер: синтез, қасиеттерi және қолдану
перспективалары.....287

**Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н.,
Касенова Н.Б.**
Mn (II) кешендерiндегi сутектiк байланыстардың энергиясы мен табиғатына
галогеннiң әсерi: QТАІМ, NCI және энергия декомпозициясы.....304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарова Ш.К.
Күмiс нанобөлшектерiнiң бұршақ, лимон, мандарин, авокадо тұқымдарының
өнуiне әсерi.....320

Қуртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.Ә., Қалмаханова М.С. Алаңдаушылық тудыратын ластаушы заттарды тиімді жою үшін белсендірілген көмір полимерлі мембраналар.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. ZSM-5 иерархиялық цеолитін бумен сілтілі модификациялау арқылы алу процесін онтайландыру.....	350
Мутушев А.Ж., Нұралы Ә.М., Санат А.С., Шауқарова М.А., Есимситова З.Б. Жарық түрлендіретін пленкалардың биоактивті қосылыстардың жинақталуына және жеміс сапасына әсері.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Мұнай өңдеу өнеркәсібінде органикалық коррозия ингибиторларын қолданудың қазіргі жағдайы.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Органикалық қалдықтарды вермикомпостинг арқылы биогумус өндіру және оның агроэкологиялық тиімділігін зерттеу.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Қазыбаева Д.С., Ирмухаметова Ғ.С. Геллан–цистеин кешендері негізінде мукоадгезиялық гидрогельдерді әзірлеу және зерттеу.....	414
Сабыржанова А.Е., Болатқызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Plantago Major жер үсті бөлігінің құрамындағы амин қышқылдары мен май қышқылдарын зерттеу.....	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуғанова С., Ерниязова К. ЭД-20 эпоксидті желімдерінің физика-механикалық және эксплуатациялық қасиеттеріне ПЭПА концентрациясының ықпалы.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Күміс нанобөлшектерінің алыну әдістері мен антибактериалдық қасиеттері.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Фосфоносірке қышқылының эфирін синтездеу мен фосфорландырудың жаңа мүмкіндіктері.....	462

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Аймаганбетова З.К., Кулшымбаев Е.А., Жантурина Н.Н., Бекетова Г.К. Расчет по первому принципу электронных свойств двойного галогенидного перовскита Cs ₂ Ag _{0.2} Na _{0.4} In _{0.6} Ti _{0.4} Cl ₆ на основе программы Quantum Espresso.....	14
Амангелдинова С., Жүнісхан С., Калжигитов Н., Курмангалиева В. Исследование кластерной структуры зеркальных ядер ⁵ He и ⁵ Li в двухкластерном приближении.....	35
Чокин К., Отунчи Е., Кожрахметова А., Касенова А., Шонгалова А. Разработка и испытания лабораторной пирометаллургической установки для переработки литий-ионных аккумуляторов.....	46
Исаева А.Б., Бейсебаева А.С., Мадыбекова Г.М., Шиназбекова Ш.С., Иса А.Б. Сравнительный анализ физико-химических характеристик питьевой, родниковой и природной воды юга Казахстана.....	65
Ким В.Ю., Аймуратов Е.К. Поиск транзиентных космических событий методом сканирования неба широкоугольными телескопами.....	78
Коштыбаев Т.Б., Татенов А.М., Алиева М.Е., Тугелбаева Г.Т., Жаналиева Г.Ж. Исследование электромагнитного поля на основе термодинамических принципов.....	89
Мукамеденкызы В., Акбердиев Б. Численное исследование влияния угла наклона на устойчивость механического равновесия в бинарной газовой смеси Ar–N ₂	105
Мясникова Л.Н., Узакбаева С.С., Шанина З.К., Бекешев А.З. Кинетические свойства высокоплотного полиэтилена с добавлением хром-шпинельного порошка.....	119
Нурбаев Б.М., Дмитриева Е.А., Кемелбекова А.Е. Роль низкоразмерных слоистых структур в повышении стабильности перовскитных материалов на основе олова.....	136
Саттинова З., Ермаханова Ф., Асылбеков Б., Таймуратова Л. Влияние различных условий охлаждения и коэффициентов теплопередачи на затвердевание при формировании бериллиевых керамических изделий.....	149

Шестакова Л.И., Серебрянский А.В., Спасюк Р.Р., Омаров Ш.Т. Поиск газа кометно-метеорного происхождения во внутренней области Солнечной Системы: Свечение ионов СаII.....	165
Уалиханова У.А., Турсынказы Ф., Сыздыкова А.М., Алтаева Г.С., Алтайбаева А.Б. Изучение амплитуды $f(T)$ гравитационных волн с использованием функций Бесселя.....	179
Жексенбаева Г.А., Насирова Д.М., Айманова Г.К., Шомшекеева С.А. Фотометрическое исследование симбиотического объекта V725 Tau.....	194
Жусупова Н.К., Жадыранова А.А. Космология отскока в $f(T, \mathcal{J})$ гравитации на основе анализа энергетических условий.....	205
Зиятбекова Г.З., Абдимананова П.Б., Сағынтай О.А., Нұрым А.А., Ильинов Р.А. Использование искусственного интеллекта для прогнозирования заболеваний на основе медицинских данных.....	225

ХИМИЯ

Алмассов Н.Ж., Жумагалиева А.Н., Дуйсенбеков С.Е., Жакиев Н.К. Проектирование и оптимизация гибридных возобновляемых источников энергии для производства водорода в Казахстане.....	236
Амангелді Б., Жаникулов Н., Таймасов Б., Айтуреев М., Даулетияров М. Расчёт состава сырьевой шихты для получения белого порландцементного клинкера.....	251
Башов А., Ташенов Е.А., Атыханова С.Б., Кошкарбаева Ш.Т. Получение сульфида кадмия электрохимическим методом с использованием композитного сера-графитового электрода.....	267
Байсалова Г.Ж., Ажиханова Ж., Талтенов А.А., Кужатова П. Определение суммы фенольных соединений в многолетних травянистых растениях флоры Казахстана.....	277
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R., Жусиппазарова Г.М., Мукажанова Ж.Б., Бегенова Б.Е. Композиты на основе хитозана и целлюлозы: синтез, свойства и перспективы применения.....	287
Еркасов Р.Ш., Жамкенова А.С., Сергазина С.М., Нурмуханбетова Н.Н., Касенова Н.Б. Влияние галогена на энергетику и природу водородных связей в Mn(II): QTAIM, NCI и энергодекомпозиция.....	304

Калимолдина Л.М., Шаихова Ж.Е., Калиева Б.К., Бубиш Ш., Аскарова Ш.К. Влияние наночастиц серебра на прорастание семян фасоли, лимона, мандарина, авокадо.....	320
Куртебаева А.А., Álvarez-Torrellas S., Gomes Н.Т., Орынбаев С.А., Калмаханова М.С. Полимерные мембраны с активированным углем для эффективного удаления загрязняющих веществ вызывающих обеспокоенность.....	334
Масенова А.Т., Жұмақанова А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Абильмагжанов А.З. Оптимизация процесса получения иерархического цеолита ZSM-5 паровой щелочной модификацией.....	350
Мутушев А.Ж., Нуралы А.М., Санат А.С., Шаукарова М.А., Есимсиитова З.Б. Влияние светопреобразующих плёнок на накопление биоактивных соединений и качество плодов.....	366
Нефедов А.Н., Тайекенова А.Т. Современное состояние применения органических ингибиторов коррозии в нефтепереработке.....	379
Омаров Б.Т., Алтыбаев Ж.М., Серикбаева Б.С. Получение биогумуса путем вермикомпостирования органических отходов и исследование его агроэкологической эффективности.....	399
Рахман Д.М., Қаппасұлы Ә., Махаева Д.Н., Казыбаева Д.С., Ирмухаметова Г.С. Разработка и исследование мукоадгезивных гидрогелей на основе комплексов геллан–цистеин.....	414
Сабыржанова А.Е., Болаткызы Н., Берганаева Г.Е., Дюсебаева М.А. Исследование аминокислот и жирных кислот в составе надземной части <i>Plantago Major</i>	428
Сатаева С., Ахметова Ф., Уразова А., Айтуганова С., Ерниязова К. Влияние концентрации ПЭПА на физические, механические и эксплуатационные свойства эпоксидных клеев ЭД-20.....	439
Заманбек А.Ж., Кошкарбаева Ш.Т., Сатаев М.С. Методы получения наночастиц серебра и антибактериальные свойства.....	450
Жоргарова А.А., Салькева Л.К., Минаева Е.В., Ибраев М.К., Фазылов С.Д. Новые возможности синтеза и фосфорилирования фосфонуксусного эфира.....	462

ACADEMIC JOURNAL
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES
ISSN 2224-5227
Volume 1.
Number 357 (2026), 136–148

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.410>

UDC: 544.22; 538.9; 621.383.51

IRSTI: 29.19.23; 31.15.13

©Nurbayev B.M.¹, Dmitriyeva E.A.¹, Kemelbekova A.E.^{1,2*}, 2026.

¹Institute of Physics and Technology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

²The Pennsylvania State University, State College, United States of America.

*E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university

THE ROLE OF LOW-DIMENSIONAL LAYERED STRUCTURES IN ENHANCING THE STABILITY OF TIN-BASED PEROVSKITE MATERIALS

Nurbayev Bedelbek — PhD candidate, IPT engineer, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: bedel.armia.99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3059-6349>;

Dmitriyeva Elena — Candidate of Phys.-Math. Sc., professor, leading researcher, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: dmitriyeva2017@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

Kemelbekova Ainagul — PhD, IPT senior researcher, Almaty, Kazakhstan,
E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Abstract. In recent years, perovskite materials have attracted significant attention due to their outstanding performance in photovoltaic devices. A particularly important direction is the development of lead-free alternatives, among which tin-based perovskites demonstrate high efficiency. However, their low stability and strong susceptibility to degradation under exposure to oxygen, moisture, and light remain major challenges. Consequently, researchers are actively exploring low-dimensional layered structures capable of substantially enhancing the stability of these materials.

Layered perovskites consist of alternating organic and inorganic layers, forming 2D quantum wells, 1D rods, or 0D quantum dots depending on their chemical composition. Their key advantage lies in the broad flexibility of structural design, which opens extensive opportunities for creating new architectures and tailoring material properties. The article provides a detailed discussion of the main types of structural distortions - in-plane, out-of-plane, and octahedral all of which have a pronounced impact on the electronic and optical characteristics of these systems.

Special attention is given to the band structure, density of states, and effective masses of charge carriers. It is shown that reducing dimensionality leads to band-gap widening, enhanced quantum and dielectric confinement, and an increase in exciton binding energy. These effects give rise to the strongly excitonic nature of optical transitions in 2D tin-based perovskites. The discussion also covers photoluminescence features,



including the emergence of “dark” exciton states and the influence of defects formed during degradation.

Overall, the study highlights that low-dimensional layered structures represent a highly promising strategy for improving the stability of tin-based perovskites. Control over structural parameters, along with the selection of organic cations, halides, and dopants, enables targeted tuning of their electronic and optical properties. The aim of this work is to provide a comprehensive analysis of the structural, electronic, and optical properties of low-dimensional tin-based layered perovskites, including their structural distortions, band structure, and excitonic behavior. The findings may serve as a foundation for the development of stable and high-efficiency photovoltaic devices.

Keywords: perovskites, tin, low-dimensional materials, 3D perovskite, photovoltaic device

Financing. *This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23485698 “Investigation of tin-based perovskites on flexible substrates”).*

For citations: *Nurbayev B.M., Dmitriyeva E.A., Kemelbekova A.E. The Role of Low-Dimensional Layered Structures in Enhancing the Stability of Tin-Based Perovskite Materials. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 136–148. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.410>*

©Нұрбаев Б.М.¹, Дмитриева Е.А.¹, Кемелбекова А.Е.^{*1,2}, 2026.

¹Физика-техникалық институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан;

²The Pennsylvania State University, Стейт колледж, Америка Құрама Штаттары.

*E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university

ҚАЛАЙЫ НЕГІЗІНДЕГІ ПЕРОВСКИТТИ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АРТТЫРУДАҒЫ ТӨМЕНӨЛШЕМДІ ҚАБАТТЫ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ РӨЛІ

Нұрбаев Беделбек — PhD докторант, ФТИ инженері, Алматы, Қазақстан,

E-mail: bedel.armia.99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3059-6349>;

Дмитриева Елена — физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, жетекші ғылыми қызметкер, Алматы, Қазақстан,

E-mail: dmitriyeva2017@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

Кемелбекова Айнагуль — PhD, ФТИ аға ғылыми қызметкер, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Аннотация. Соңғы жылдары перовскит негізіндегі материалдар фотоэлектрлік құрылғылардағы ерекше сипаттамаларына байланысты айтарлықтай назар аударып отыр. Қорғасынсыз баламалардың дамуы ерекше қызығушылық тудырады, олардың арасында қалайы перовскиттері жоғары тиімділікті көрсетеді. Дегенмен, олардың төмен тұрақтылығы және оттегі, ылғал және жарық әсерінен

деградацияға бейімділігі негізгі мәселе болып қала береді. Осыған байланысты зерттеушілер материалдардың тұрақтылығын едәуір арттыра алатын төмен өлшемді қабатты құрылымдарды белсенді түрде зерттеліп жатыр.

Қабатты перовскиттер химиялық құрамына байланысты 2D кванттық шұңқырларды, 1D стерженьдерді немесе 0D кванттық нүктелерді құрайтын ауыспалы органикалық және бейорганикалық қабаттардан тұрады. Олардың маңызды артықшылығы — жаңа құрылымдар құруға және қасиеттерін басқаруға кең мүмкіндіктер ашады. Мақалада электронды және оптикалық сипаттамаларға айтарлықтай әсер ететін құрылымдық бұрмаланулардың түрлері — жазықтық ішінде, жазықтықтан тыс және октаэдрлік түрлері қарастырылады.

Мақалада аймақтық құрылымға, күй тығыздығына және заряд тасымалдаушылардың тиімді массаларына ерекше назар аударылады. Өлшемнің төмендеуі диапазонның кеңеюіне, кванттық және диэлектрлік шунттаудың жоғарылауына және экситондардың байланыс энергиясының жоғарылауына әкелетіні көрсетілген. Бұл әсерлер 2D қалайы перовскиттеріндегі оптикалық ауысулардың айқын экситондық сипатын анықтайды. Фотолюминесценцияның ерекшеліктері, соның ішінде «қараңғы» экситондық күйлердің пайда болуы және деградация процесінде пайда болатын ақаулардың әсері де талқыланады.

Жұмыс төмен өлшемді қабатты құрылымдар қалайы перовскиттерінің тұрақтылығын арттырудың перспективалық бағыты екенін көрсетеді. Құрылымдық параметрлерді басқару, органикалық катиондарды, галогенидтерді және легирлеуші элементтерді таңдау электронды және оптикалық қасиеттерді мақсатты түрде реттеуге мүмкіндік береді. Осы мақаланың мақсаты — қалайы негізіндегі төменөлшемді қабатты перовскиттердің құрылымдық, электрондық және оптикалық қасиеттерін кешенді түрде талдау, олардың бұрмалану ерекшеліктерін, зоналық құрылымын және экситондық табиғатын сипаттау. Бұл зерттеу нәтижелері болашақта тұрақты әрі тиімді фотоэлектрлік құрылғыларды әзірлеуге негіз бола алады.

Түйін сөздер: перовскиттер, қалайы, төменөлшемді материалдар, 3D-перовскит, фотоэлектрлік құрылғы

©Нурбаев Б.М.¹, Дмитриева Е.А.¹, Кемелбекова А.Е.*^{1,2}, 2026.

¹Физико-технический институт, Satbayev University, Алматы, Казахстан;

²The Pennsylvania State University, Стейт колледж,
Соединенные Штаты Америки.

*E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university

РОЛЬ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР В ПОВЫШЕНИИ СТАБИЛЬНОСТИ ПЕРОВСКИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОЛОВА

Нурбаев Беделбек — PhD докторант, инженер ФТИ, Алматы, Казахстан,
E-mail: bedel.armia.99@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3059-6349>;



Дмитриева Елена — кандидат физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Алматы, Казахстан,

E-mail: dmitriyeva2017@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

Кемелбекова Айнагуль — PhD, старший научный сотрудник ФТИ, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Аннотация. В последние годы перовскитные материалы привлекают значительное внимание благодаря своим выдающимся характеристикам в фотоэлектрических устройствах. Особый интерес вызывает разработка бессвинцовых альтернатив, среди которых оловянные перовскиты демонстрируют высокую эффективность. Однако ключевой проблемой остается их низкая стабильность и склонность к деградации под воздействием кислорода, влаги и света. В связи с этим исследователи активно изучают низкоразмерные слоистые структуры, способные существенно повысить устойчивость таких материалов. Слоистые перовскиты состоят из чередующихся органических и неорганических слоев, формируя 2D-квантовые ямы, 1D-стержни или 0D-квантовые точки в зависимости от химического состава. Их важное преимущество заключается в широких возможностях создания новых структур и управления их свойствами. В статье подробно рассматриваются типы структурных искажений - внутрислоистые, внеслоистые и октаэдрические, - которые существенно влияют на электронные и оптические характеристики. Особое внимание уделено зонной структуре, плотности состояний и эффективным массам носителей заряда. Показано, что уменьшение размерности приводит к расширению запрещенной зоны, усилению квантового и диэлектрического ограничения, а также к увеличению энергии связи экситонов. Эти эффекты определяют ярко выраженную экситонную природу оптических переходов в 2D-оловянных перовскитах. Обсуждаются также особенности фотолюминесценции, включая появление «темных» экситонных состояний и влияние дефектов, возникающих в процессе деградации. В работе подчеркивается, что низкоразмерные слоистые структуры являются перспективным направлением повышения стабильности оловянных перовскитов. Управление структурными параметрами, выбор органических катионов, галогенидов и легирующих элементов позволяют целенаправленно регулировать электронные и оптические свойства материалов. Цель статьи заключается в комплексном анализе структурных, электронных и оптических свойств низкоразмерных слоистых перовскитов на основе олова, включая особенности их структурных искажений, зонной структуры и экситонной природы. Полученные результаты могут служить основой для разработки стабильных и высокоэффективных фотоэлектрических устройств.

Ключевые слова: перовскиты, олово, низкоразмерные материалы, 3D-перовскит, фотоэлектрическое устройство

Кіріспе. Соңғы жылдары перовскиттік материалдар фотоэлектрлік құрылғыларда жоғары тиімділікке қол жеткізуімен ғылым мен технологияда ерекше қызығушылық тудырып отыр. Әсіресе, құрамына қорғасын қосылмай,

балама материал ретінде қалайы негізіндегі перовскиттерді зерттеу өзекті бағытқа айналды. Қалайы негізіндегі перовскиттік күн элементтерінің тиімділігі 14%-дан асып, оларды болашағы зор материалдар қатарына қосты. Алайда, қалайы негізіндегі материалдардың тұрақсыздығы мен деградацияға бейімділігі практикалық қолдануды шектейді.

Бұл мәселені шешудің жолдарының бірі – төменөлшемді қабатты перовскиттерді пайдалану. Мұндай құрылымдар бейорганикалық және органикалық қабаттардан тұрады және олардың химиялық құрамына байланысты әртүрлі кванттық жүйелерді түзе алады. Қабатты перовскиттердің ең басты артықшылығы – олардың құрамы 3D-перовскиттердегі сияқты А орнындағы катион өлшемімен шектеліп қоймайды, сондықтан жаңа композициялар мен құрылымдардың кең мүмкіндіктер әлеуетін ашады.

Осы жұмыстың мақсаты – қалайы негізіндегі төменөлшемді қабатты перовскиттердің құрылымдық, электрондық және оптикалық қасиеттерін кешенді түрде талдау, олардың бұрмалану ерекшеліктерін, зоналық құрылымын және экситондық табиғатын сипаттау болып табылады. Бұл зерттеу нәтижелері болашақта тұрақты әрі тиімді фотоэлектрлік құрылғыларды әзірлеуге негіз бола алады.

Қалайы негізіндегі перовскиттік күн элементтерінің тиімділігін үздіксіз ғылыми зерттеулердің нәтижесінде 14%-дан жоғары деңгейге жетіп, оларды әлеуетті «қорғасынсыз» материалдардың қатарына қосты. Дегенмен, тиімділіктің артуына қарамастан, қалайы негізіндегі құрылғылар деградацияға бейім болып қала береді. Жоғары температура мен ылғалдылық жағдайларында тұрақтылықты арттыру мақсатында төменөлшемді қабатты перовскиттерге, қорғасын және қалайы негізіндегі жүйелерде де, айрықша назар аударылуда.

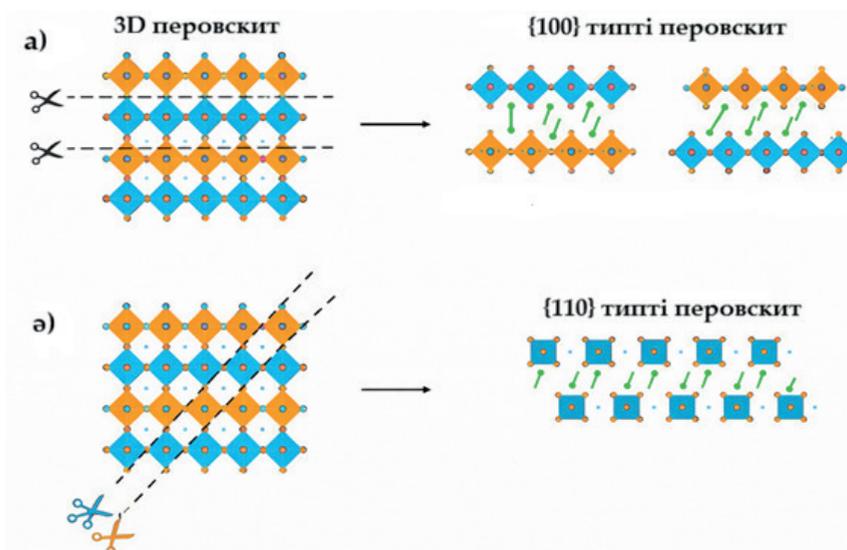
Бұл қабатты құрылымдарда бейорганикалық және органикалық қабаттар тізбекті орналасады және олардың химиялық құрамына байланысты табиғи түрде 2D кванттық шұңқырлар, 1D кванттық стерженьдер немесе 0D кванттық нүктелерді түзе алады. Қабатты перовскиттердің құрамы 3D-перовскит құрылымындағыдай А орнындағы катион өлшемімен шектелмейді, сондықтан жаңа композициялар мен құрылымдардың шексіз пайда болуына жол ашылады.

Әдебиетке шолу. Перовскиттің ABX_3 құрылымдық типі үшөлшемді (3D) тордың тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін А орнындағы катионның иондық радиусына қатаң талаптар қойылады. Егер бұл талаптардың сақталмауы орын алса және орнына ірі органикалық катион енгізілсе, бастапқы 3D-перовскит құрылымы төмен өлшемді жүйелерге ыдырайды.

Қабатты (2D) перовскитті материалдарды бастапқы үшөлшемді құрылымды белгілі бір кристаллографиялық бағыттар бойынша ойша кесу арқылы сипаттауға болады. Мұндай қабатты жүйелер перовскитке ұқсас блоктардың арасына органикалық катиондарды енгізу арқылы түзіледі. Бұл катиондар бірвалентті (A') немесе эквивалентті (A'') болуы мүмкін.

Мысалы, келесі 1 суретте қабатты перовскиттердің екі негізгі типінің – (100) және (110) бағытындағы құрылымдардың – сызбанұсқалық бейнесі көрсетілген.

Бұл типтер органикалық катиондардың енгізілу ерекшеліктеріне және қабаттардың бағытталуына байланысты ажыратылады.

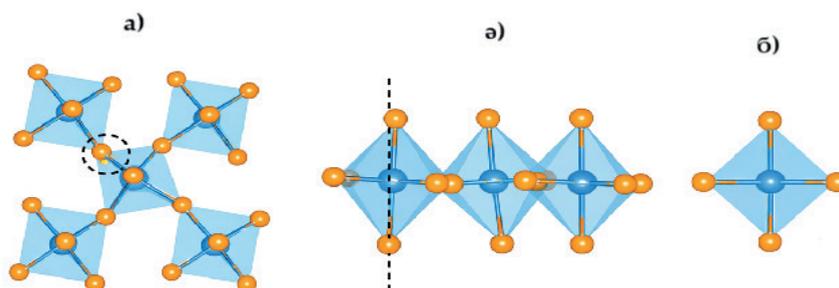


Сурет 1 - Үшөлшемді (3D) бастапқы құрылымды блокты а) 100) және б) (110) жазықтықтары бойынша кесу нәтижесінде төменөлшемді перовскиттер алынады: сәйкесінше 2D-кванттық шұңқырлар және 1D-кванттық стерженьдер.

(100) типіндегі перовскиттер әдетте Дайон–Якобсон (DJ) фазасы немесе Раддлсден–Поппер (RP) фазасы түрлеріне жіктеледі.

Төменөлшемді перовскиттің (100) типі әдетте ең жиі кездеседі, ал (110) типті перовскиті тек бірнеше қосылыстар ғана түзеді. Өртүрлі құрылымдардың типтері жүйелердің құрылымдық параметрлеріне қол жеткізу үшін Марченко және әріптестерінің деректер қорында сипатталған (Marchenko et al., 2020).

Қабатты перовскиттер 3D-аналогымен салыстырғанда, жиі идеалды перовскиттік байланыстан ауытқиды, мұнда органикалық катиондар қабаттарға белгілі бір бұрмаланулар енгізеді. Үш түрлі бұрмалану типін анықтаймыз, олар келесі 2 – суретте көрсетілген.



Сурет 2 – Қабатты перовскиттер келесі үш түрлі бұрмалануды көрсете алады: а) жазықтықтағы бұрмалану (in-plane), б) жазықтықтан тыс бұрмалану (out-of-plane distortion) және в) октаэдрлік бұрмалану.

Жазықтықтағы бұрмалану Sn–X–Sn байланыс бұрышын идеалды 180° мәнінен азайтады. Жазықтықтан тыс бұрмалану октаэдрлердің еңкеюіне алып келеді, ал октаэдрлік бұрмалану бейорганикалық торлардың октаэдрлік геометриясынан ауытқуымен түсіндіріледі.

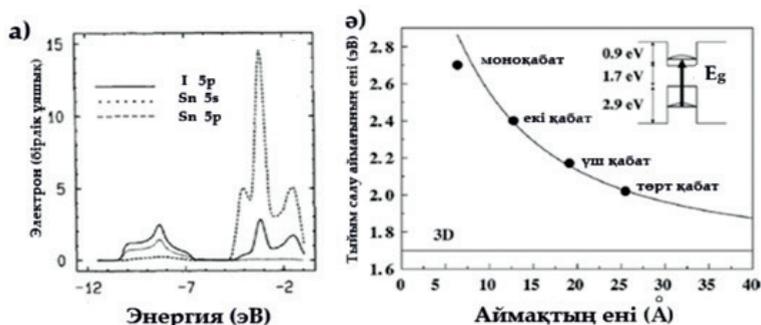
Жазықтықтағы бұрмалану октаэдрлер арасындағы бұрыш (Sn–X–Sn бұрышы) идеалды 180° -тан аз болған жағдайда байқалады (2 а-сурет). Жазықтықтан тыс бұрмалану 2 ә-суретте көрсетілген және ол октаэдрлердің жазықтықтан тыс еңкеюімен сипатталады. Жекелеген октаэдрлер де бұрмалануға ұшырауы мүмкін, бұл әдетте Sn–X байланыс ұзындықтарының немесе X–Sn–X байланыс бұрыштарының өзгеруіне алып келеді (2 б-сурет).

Нәтижелер мен талқылау. *Электрондық және оптикалық қасиеттер.* Қабатты перовскиттер төменөлшемді бейорганикалық құрылымдар тізбегінен тұрады, осыған байланысты олардың электрондық және оптикалық қасиеттері айтарлықтай өзгереді. Алғашқыда Sn негізіндегі қабатты перовскиттер төменгі n мәндерінде жартылай өткізгіштік сипатқа ие, ал үлкен n мәндерінде металлдық қасиеттерге жақындайды деп есептелген (Paravassiliou et al., 1994). Бұл үрдіс үлкен n мәндерінде тор бұрмалануының төмендеуімен және идеалды кубтық перовскит құрылымына жақындауымен корреляцияланған (Mitzi, 1996). Такахаши және әріптестері р-типті лезден легирлеу қабатты перовскиттердің жоғары өткізгіштігін туындататынын болжады (Takahashi et al., 2007). Өткізгіштіктің одан әрі артуы құрылымға Sn^{4+} иондарын жасанды енгізу арқылы жүзеге асырылып, олардың гипотезасын растады. Қазіргі таңда қалайы негізіндегі перовскиттердің металлдық қасиеттері р-типті легирлеумен түсіндіріледі, алайда тор бұрмалануы электрондық және оптикалық қасиеттердің басым бөлігін айқындауды жалғастыруда.

Зоналық құрылым, күй тығыздығы және тиімді массалар. Органикалық катиондардың HOMO–LUMO саңылауы бейорганикалық октаэдрлік құрылымның тыйым салынған аймағына қарағанда әлдеқайда үлкен болғандықтан, төменөлшемді қабатты перовскиттердің аймақ шекарасына жақын электрондық қасиеттері негізінен қалайы және галогенид орбиталдарынан тұрады. Аймақтық құрылымдар мен күй тығыздығын (DOS) есептеу үшін тек SnI_4^{2-} иондық қабаттарын қарастырған және кеңейтілген Хюккельдің байланыс әдісін қолданған. Бұл есептеулер төменөлшемді құрылымдардың негізгі ерекшеліктерін анықтады: тікелей тыйым салынған аймақ, кеңейтілген аймақсаңылауы және өткізгіштік жолағының тарылуы (Katan et al., 2019).

Келесі 3 а-суретте осы есептеулер нәтижесінде алынған DOS көрсетілген: валенттік аймақтың максимумы (VBM) негізінен Sn 5s және I 5p кері байланыс орбиталдарынан тұрады, ал өткізгіштік аймақтың минимумы (CBM) негізінен Sn 5p және I 5p кері байланыс орбиталдарынан құралған. Аймақ шекараларының құрамы құрылымның тыйым салынған аймаққа әсерін түсінуге мүмкіндік береді, бұл (100) типті перовскиттер үшін Кнутсон және әріптестерімен зерттелген (Knutson et al., 2005). Жазықтықтағы бұрмалану тыйым салынған аймақтың ұлғаюына жазықтықтан тыс бұрмалануға қарағанда анағұрлым күшті әсер ететіні байқалады. Пентандиаммоний (PeDA) және iPu органикалық

катиондары қолданылған зерттеу $(iPr)_2SnI_4$ қосылысының кең тыйым салынған аймағы жазықтықтан тыс бұрмалану азайғанына қарамастан, үлкен октаэдрлік бұрмаланумен түсіндірілетінін көрсетті, (Stoumpos et.al., 2017).



Сурет 3 – а) SnI_4^{2-} иондық қабаттарын ғана ескеретін DOS, кеңейтілген Хюккельдің байланыс әдісі арқылы есептелген. ә) Қабатты перовскиттің қалыңдығына тәуелді тыйым салынған аймақтың ені, мұнда тұтас сызық тиімді масса жуықтауы негізінде есептелген мәнді көрсетеді. Монокабат үшін бұл жуықтау бұзылады.

Бұл есептеулер супертор әсерін асыра бағалайды: мини-аймақтардың түзілуі болжанғанымен, кеңінен қолданылатын органикалық катиондарда ол әлі тәжірибелік түрде расталмаған (Even et.al., 2014). Танако және әріптестері алған нәтижелер 3 ә – суретте көрсетілген, олар тиімді масса жуықтауы монокабат ($n = 1$) үшін тыйым салынған аймақтың енін қайта шығара алмайтынын айқын көрсетеді (Tanaka et.al., 2003). Сондықтан, осы әдістермен алынған экситон байланыс энергиясының есептеулері нақты емес (Ma et.al., 2016).

Монокабатты перовскиттер үшін тиімді масса жуықтауы жұмыс істемейтіндіктен, дәлірек сипаттау үшін DFT әдістерін қолдану қажет. DFT құрылымдық оптимизацияларын жүзеге асыру мұқият тексерілуі тиіс, себебі жазықтық ішіндегі және сыртындағы қосымша бұрмаланулар электрондық құрылымға айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Екіншіден, тиімді массаларды сенімді бағалау теория деңгейіне тәуелді, ол релятивистік және көпбөлшекті эффектілерді енгізуді талап етеді. Көптеген қабатты перовскиттер үшін мұндай теориялық деңгей есептеу тұрғысынан тым күрделі болып табылады.

Бағалаудың болмауы $(BA)_2SnI_4$ қосылысы үшін электрон мен кемтіктің тиімді массаларының әртүрлі мәндерінің хабарлануына алып келеді: олар сәйкесінше 0,29/0,37 m_e (HSE + SOC) және 0,33/0,21 m_e (HSE) болып есептелген (Dyksik et.al., 2020). Тәжірибелік түрде анықталған $(PEA)_2SnI_4$ қосылысының келтірілген тиімді массалары $FASnI_3$ -ке қарағанда төмен мәндер көрсеткен, бұл жүйедегі кванттық шектеуді ескергенде қарама-қарсы нәтиже болып табылады (Liang et.al., 1998). PBE деңгейіндегі DFT жолақ құрылымы есептеулері қалайы бромидінің 0D және 2D қабатты перовскиттері үшін өлшемділіктің азаюы дисперсияны төмендетіп, тыйым салынған аймақтың енін арттыратынын көрсетті (Straus et.al., 2018). 0D жүйелері жолақ құрылымы есептеулері құрылымдық тұрғыдан

окшауланған октаэдрлердің электрондық тұрғыдан да ажыратылғанын көрсетті. 2D жағдайында Γ - μ бағытындағы дисперсияның болмауы жазықтықтан тыс бағытқа сәйкес келеді және $\{100\}$ типті перовскиттердің 2D электрондық табиғатын растайды. Бұл есептеулер тәжірибелік бақылауларды қуаттайды, яғни көршілес бейорганикалық қабаттар арасында ешқандай өзара әрекеттесу байқалмаған (Zhou et.al., 2017). 0D құрылымының CBM құрамына органикалық катионның үлесі кіргенімен, оптикалық қасиеттер әлі де бейорганикалық октаэдрлермен айқындалады: тетік Sn–Br экваторлық жазықтығында, ал электрон Sn–Br апикальдық байланыстарында локализацияланған.

Оптикалық қасиеттер. $\{100\}$ типті перовскиттер үшін: Қалайы негізіндегі қабатты перовскиттердің өлшемдік әмбебаптығы олардың оптикалық қасиеттерін ерекше қызықты етеді. $\{100\}$ типті перовскиттерді жиі идеалды 2D-жүйелер деп атайды, олар бөлме температурасында табиғатынан экситондық сипатқа ие болып табылады. Олардың экситондық табиғатын түсіну үшін кванттық шектеу мен диэлектрлік шектеу әсерлерін қарастыру қажет.

Кванттық шектеу әсері ірі органикалық катиондар арасында орналасқан бейорганикалық қабаттардың өлшемдерінің азаюына байланысты болып табылады. Бұл электрондық тыйым салынған аймақтың кеңеюіне және экситон байланыс энергиясының (E_b) артуына алып келеді. Бұл екі әсер тыйым салынған аймаққа қарама-қарсы ықпал етсе де, соңғы нәтиже төмен өлшемді перовскиттер үшін оптикалық тыйым салынған аймақтың кеңеюі болып табылады. Идеалды 2D жүйеде $E_{b,2D}$ мәні 3D жүйедегі E_b -ге қарағанда төрт еселенуі тиіс деп күтіледі, себебі заряд тасымалдаушылар арасындағы кулондық әрекеттесу күшейеді (Zhou et.al., 2018). Алайда бейорганикалық және органикалық қабаттардың диэлектрлік өтімділіктеріндегі үлкен айырмашылық эксперименттік E_b мәнінің төрт еседен де жоғары болуына алып келеді. Бұл құбылыс диэлектрлік шектеу немесе бейненің заряд әсері деп аталады. Қарапайым тілмен айтқанда, органикалық қабаттардың төмен диэлектрлік өтімділігі заряд тасымалдаушыларды әлсіз бейімдейді, нәтижесінде E_b артады.

Қабат санының (n) әсері: Бейорганикалық қабаттар саны кванттық шектеуді анықтайды, сондықтан n мәнін өзгерту арқылы оптикалық тыйым салынған аймақты реттеуге болады. $(BA)_2(MA)_{n-1}Sn_nI_{3n+1}$ сериясында $n = 5$ -тен $n = 1$ -ге дейінгі шектеудің артуы жұтылу шегін 1,37 эВ-тан 1,83 эВ-қа жылжытады (Folpini et.al., 2020). Егер, $n = 1$ жағдайындағы айқын экситондық шың $\{100\}$ типті перовскиттердің экситондық табиғатын айқын көрсетеді.

Бейорганикалық қабаттардың бұрмалануы оптикалық тыйым салынған зонаға электрондық зонадағыдай әсер етеді. Бұл әсер E_b -ге ықпал етпейтіндей көрінгенімен, толық зерттелмеген. Дегенмен, оптикалық және электрондық аймақтардағы ұқсас үрдістер E_b мәнінің айтарлықтай өзгермейтінін болжайды. Бұл тұжырым қосымша зерттеуді қажет етеді, себебі жүздеген мЭВ деңгейіндегі үлкен E_b фотоэлектрлік құрылғылардың өнімділігін төмендетуі мүмкін. Оптикалық тыйым салынған аймағы төмен құрылғылар үшін бейорганикалық қабат бұрмалануы төмен материалдарды таңдау қажет, мысалы бензимидазолий

және бензодиимидазолий, олардың оптикалық тыйым салу аймақтарының ені 1,81 және 1,79 эВ-ке тең болып табылады (Gao et.al., 2020).

Галогенид пен катион таңдау: 3D перовскиттерге ұқсас, йодты бромға алмастыру оптикалық зонаны жоғары энергияға жылжытады. Сонымен қатар органикалық катионды таңдау да тыйым салынған зонаға әсер етеді, бұл кең диапазонда реттеу мүмкіндігін береді.

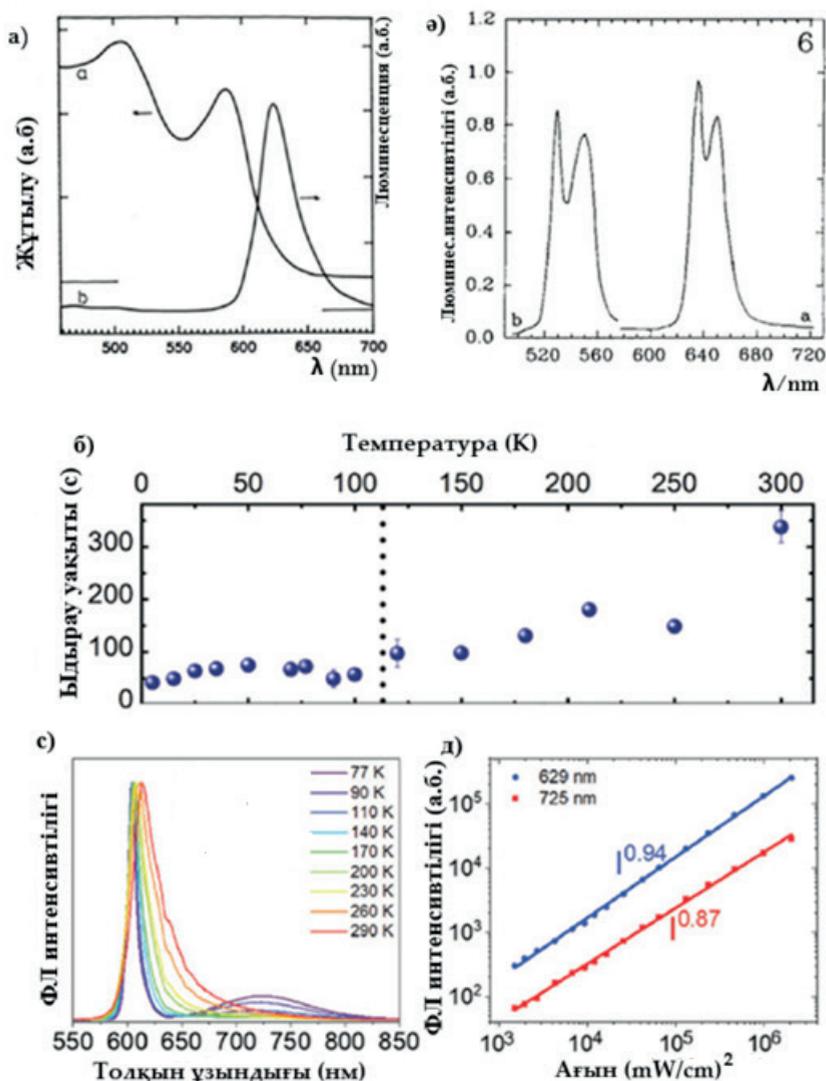
Легирлеу стратегиялары: Оптикалық қасиеттерді реттеудің қосымша тәсілі – гомовалентті немесе гетеровалентті иондармен легирлеу. Мысалы, $(\text{PEA})_2\text{SnBr}_4$ қосылысының Bi^{3+} ионымен легирленуі фотолюминесценцияның (ФЛ) аздап көк аймағына ығысуына және төмен энергетикалық шеткі сәулеленудің азаюына алып келді. Mn^{2+} ионымен легирленген октиламмоний қалайы бромиді таза материалдағы ФЛ-ны қызыл аймаққа ығыстырып, қызғылт-қызыл жарық шығарды. Дегенмен, легирлеу PLQY (Photoluminescence Quantum Yield) мәнін төмендететіндіктен, басқа легирлеуші қоспаларды зерттеу қажеттігі артады.

Келесі 4а – суретте $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ қосылысының жұтылуы мен люминесценциясы көрсетілген. Люминесценция аз Стокс ығысуымен және тар сызықтық енімен сипатталады. Спектр формасын мұқият қарастыру асимметриялық сәулеленуді көрсетеді, ол ұзын толқындарға дейін созылып, ≈ 650 нм аймағында иық түзеді. Кейінгі зерттеуде үлгі бірнеше күн ауада сақталып, 80 К температурада өлшенгенде бұл иық айқын көрініп, оның интенсивтілігі артқаны байқалған (4 ә сурет). Бұл құбылыс үлгінің деградациясы нәтижесінде пайда болған ақаулардың төмен энергиялы сәулеленуге жауапты екенін көрсетеді. Sn негізіндегі перовскиттердің жарық, оттегі және ылғал әсеріне өте тұрақсыз екені белгілі. Ұқсас құбылыс бутиламмоний қолданылған жүйелерде де байқалған, бұл {100} типті барлық перовскиттер үшін деградация механизмінің ұқсас екенін меңзейді.

Фолпини және әріптестері 2020 жылы $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ қосылысында жарық экситон күйінен шамамен 10 мэВ төмен орналасқан меншікті «қараңғы» экситон күйін анықтады (Folpini et.al., 2020), (Liu et.al., 2019). Бұл меншікті қасиет жарық экситон күйінің релаксация динамикасы үшін маңызды салдарға ие екені анықталды. Мысалы, температура төмендеген сайын ФЛ өшу уақытының артуы күтіледі. Алайда авторлар 4 б – суретте көрсетілгендей, бөлме температурасынан 100 К-ге дейін төмендеткенде ФЛ өмір сүру уақытының қысқаруын байқады. Бұл ерекше мінез-құлықты қараңғы күйдің рекомбинация жылдамдығы жарық күйіне қарағанда әлдеқайда баяу екенін ескергенде түсіндіруге болады. Бөлме температурасында төменгі энергиялы қараңғы күйдегі экситондар термиялық түрде жарық күйіне активтенеді, бұл сәулелік рекомбинацияны баяулатады және нәтижесінде ФЛ-дің ұзақ өмір сүру уақытына әкеледі. Бұл қасиет материалдағы сәулелену процестерін терең түсінудің маңыздылығын айқындайды, әсіресе $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ 630 нм толқын ұзындығында жарық шығаратын құрылғыларда EQE 0,72% көрсеткен (Smith et.al., 2018).

Соңғы зерттеулерде 2-(4-стильбенил) этанаммоний қалайы иодидінде тар экситондық эмиссиямен қатар ұзын толқындарда кең сәулелену жолағы анықталды (4 с -сурет). Төмен температурада кең эмиссияның артуы оны

автолокализацияланған экситондарға жатқызуға мүмкіндік берді, бұл қорғасын негізіндегі перовскиттерде байқалған үрдіске сәйкес келеді. Келесі 4д-суретте тар және кең эмиссия қуатының тәуелділігі көрсетілген. Авторлардың автолокализацияланған экситондық сәулелену туралы тұжырымынан бөлек, кең эмиссия қуатының бірліктен әлдеқайда төмен болуы оның ақаулармен байланысты сәулелену болуы мүмкін екенін де көрсетеді.



Сурет 4 – а) PEA_2SnI_4 қосылысының бөлме температурасындағы жұтылу және фотолуминесценция (ФЛ) спектрлері. Тар сызықтық ені 650 нм аймағындағы иықпен сипатталады. ә) $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ және $(\text{PEA})_2\text{PbI}_4$ қосылыстарының ФЛ спектрлері 80 К температурада, бірнеше күн ауада сақталғаннан кейін. б) $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ қосылысының ФЛ өшу уақыты температура төмендегенде. с,д) Стилбен туындысының {100} типті перовскитіндегі ФЛ: температура төмендегендегі спектр (с) және екі сәулелену жолағының қуатқа тәуелділігі (д).

Бұл сыртқы табиғаттағы ФЛ <100> типті қорғасын иодиді перовскиттерінде де байқалған. <100> типті қорғасын перовскиттері биэкситондық сәулелену және «ыстық» экситондық сәулелену сияқты ерекше қасиеттерді көрсетті. Қалайы және қорғасын негізіндегі қосылыстардың оптикалық қасиеттеріндегі ұқсастық қалайы негізіндегі жүйелерде әлі ашылмаған, одан да қызықты қасиеттердің бар екенін меңзеуі мүмкін. Бұл өз кезегінде қорғасын негізіндегі перовскиттерді тереңірек түсінуге жол ашады.

Қорытынды. Қалайы негізіндегі перовскиттер қорғасынсыз балама ретінде жоғары тиімділік көрсеткенімен, олардың тұрақсыздығы мен тез деградацияға ұшырауы практикалық қолданылуын шектейді. Осы жұмыста төменөлшемді қабатты құрылымдарды енгізу арқылы материалдардың құрылымдық, электрондық және оптикалық қасиеттерін басқару мүмкіндігі жан-жақты талданды. Қабатты перовскиттерде органикалық және бейорганикалық қабаттардың кезектесуі кванттық және диэлектрлік шектеу әсерлерін күшейтіп, тыйым салынған аймақтың енін, экситон байланыс энергиясын және тасымалдаушылар динамикасын реттеуге жағдай жасайды.

Талданған нәтижелер тұрақты әрі жоғары тиімді фотоэлектрлік және жарық шығаратын құрылғыларды әзірлеуге теориялық және практикалық негіз қалайды.

References

- Dyksik M., Duim H., Zhu X., Yang Z., Gen M., Kohama Y., & Plochocka P. (2020). Broad tunability of carrier effective masses in two-dimensional halide perovskites. *ACS Energy Letters*, 5(11). – P. 3609-3616. DOI: 10.1021/acseenergylett.0c01758 (in Eng.).
- Even J., Pedesseau L., & Katan C. (2014). Understanding quantum confinement of charge carriers in layered 2D hybrid perovskites. *ChemPhysChem*, 15(17). – P. 3733-3741. DOI: 10.1002/cphc.201402428 (in Eng.).
- Folpini G., Cortecchia D., Petrozza A., & Kandada A.R.S. (2020). The role of a dark exciton reservoir in the luminescence efficiency of two-dimensional tin iodide perovskites. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(31). – P. 10889-10896. DOI: 10.1039/D0TC01218A (in Eng.).
- Gao C., Jiang Y., Sun C., Han J., He T., Huang Y., & Liang H. (2020). Multifunctional naphthol sulfonic salt incorporated in lead-free 2D tin halide perovskite for red light-emitting diodes. *Acs Photonics*, 7(8). – P. 1915-1922. DOI: 10.1021/acsp Photonics.0c00497 (in Eng.).
- Katan C., Mercier N., & Even J. (2019). Quantum and dielectric confinement effects in lower-dimensional hybrid perovskite semiconductors. *Chemical reviews*, 119(5). – P. 3140-3192. DOI: 10.1021/acs.chemrev.8b00417 (in Eng.).
- Knutson J.L., Martin J.D., & Mitzi D.B. (2005). Tuning the band gap in hybrid tin iodide perovskite semiconductors using structural templating. *Inorganic chemistry*, 44(13). – P. 4699-4705. DOI: 10.1021/ic050244q (in Eng.).
- Liang K., Mitzi D.B., & Prikas M.T. (1998). Synthesis and characterization of organic–inorganic perovskite thin films prepared using a versatile two-step dipping technique. *Chemistry of materials*, 10(1). – P. 403-411. DOI: 10.1021/cm970568f (in Eng.).
- Liu K., Wang W., Guo P., Ye J., Wang Y., Li P., & Xie S. (2019). Replicating the defect structures on ultrathin Rh nanowires with Pt to achieve superior electrocatalytic activity toward ethanol oxidation. *Advanced Functional Materials*, 29(2). – P. 1806300. DOI: 10.1002/adfm.201806300 (in Eng.).
- Ma L., Dai J., & Zeng X.C. (2016). Two-dimensional single-layer organic-inorganic hybrid perovskite semiconductors. *Advanced Energy Materials*. DOI: 10.1002/aenm.201601731 (in Eng.).
- Marchenko E.I., Fateev S.A., Petrov A.A., Korolev V.V., Mitrofanov A., Petrov A.V., Tarasov A.B. (2020). Database of two-dimensional hybrid perovskite materials: open-access collection of crystal

structures, band gaps, and atomic partial charges predicted by machine learning. *Chemistry of materials*, 32(17). – P. 7383-7388. DOI:10.1021/acs.chemmater.0c02290 (in Eng.).

Mitzi D.B. (1996). Synthesis, crystal structure, and optical and thermal properties of $(C_4H_9NH_3)_2MI_4$ (M= Ge, Sn, Pb). *Chemistry of materials*, 8(3). – P. 791-800. DOI: 10.1021/cm9505097 (in Eng.).

Papavassiliou G.C., Koutselas I.B., Lagouvardos D.J., Kapoutsis J., Terzis A., & Papaioannou G.J. (1994). Optical and related properties of some natural three and lower dimensional semiconductor systems. *Molecular Crystals and Liquid Crystals Science and Technology. Section A. Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 253(1). – P. 103-112. DOI:10.1080/10587259408055249 (in Eng.).

Smith M.D., & Karunadasa H.I. (2018). White-light emission from layered halide perovskites. *Accounts of chemical research*, 51(3). – P. 619-627. DOI: 10.1021/acs.accounts.7b00433 (in Eng.).

Stoumpos C.C., Mao L., Malliakas C.D., & Kanatzidis M.G. (2017). Structure–band gap relationships in hexagonal polytypes and low-dimensional structures of hybrid tin iodide perovskites. *Inorganic chemistry*, 56(1). – P. 56-73. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b02764 (in Eng.).

Straus D.B., & Kagan C.R. (2018). Electrons, excitons, and phonons in two-dimensional hybrid perovskites: connecting structural, optical, and electronic properties. *The journal of physical chemistry letters*, 9(6). – P. 1434-1447. DOI: 10.1021/acs.jpcclett.8b00201 (in Eng.).

Takahashi Y., Obara R., Nakagawa K., Nakano M., Tokita, J.Y., & Inabe, T. (2007). Tunable charge transport in soluble organic–inorganic hybrid semiconductors. *Chemistry of Materials*, 19(25). – P. 6312-6316. DOI:10.1021/cm702405c (in Eng.).

Tanaka K., & Kondo T. (2003). Bandgap and exciton binding energies in lead-iodide-based natural quantum-well crystals. *Science and Technology of Advanced Materials*, 4(6). – P. 599-604. DOI: 10.1016/j.stam.2003.09.019 (in Eng.).

Zhou C., Lin H., Shi H., Tian Y., Pak C., Shatruk M., & Ma B. (2018). A zero-dimensional organic seesaw-shaped tin bromide with highly efficient strongly stokes-shifted deep-red emission. *Angewandte Chemie*, 130(4). – P. 1033-1036. DOI: 10.1002/ange.201710383 (in Eng.).

Zhou C., Tian Y., Yuan Z., Lin H., Chen B., Clark R., & Ma B. (2017). Highly efficient broadband yellow phosphor based on zero-dimensional tin mixed-halide perovskite. *ACS applied materials & interfaces*, 9(51). – P. 44579-44583. DOI: 10.1021/acsami.7b12862 (in Eng.).

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 16.03.2026.

Формат 60x88¹/₈.

18,0 п.л. Заказ 1.