

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

2024 • 1



ҚАЙЫРЫМДЫЛЫҚ ҚОРЫ

HALYK

CHARITY FOUNDATION

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
ЧФ «ХАЛЫҚ»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

БАС РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Хамдар университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

QUEVEDO Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСНОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

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

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № КЗ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

АБНЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

ЦЕПЕТКИН Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЪМ Анна, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нургали Жаббаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстано-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан

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

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

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

EDITOR IN CHIEF:

BENBERIN Valery Vasilievich, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

EDITORIAL BOARD:

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

SANG-SOO Kwak, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

ABIYEV 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), H = 14

LOKSHIN Vyacheslav Notanovich, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

SEMENOV Vladimir Grigorievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

MALM Anna, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

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

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (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 No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

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

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 1. Number 349 (2024), 109–122

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.260>

УДК 538.9:620.91(44.37.03)

© **E.O. Shalenov¹, Ye.S. Seitkozhanov^{1,2}, M.M. Seisembayeva^{1,2},
K.N. Dzhumagulova^{1,2}, 2024**

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, IETP, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: erik.shalenov@gmail.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF SANDWICH AND BACK-CONTACT PEROVSKITE SOLAR CELLS

Shalenov Erik O. — PhD, associate professor of the Department of General Physics, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: Shalenov.erik@physics.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6469-6623>;

Seitkozhanov Yeldos S. — doctoral student at Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: seytkozhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5123-4558>;

Seisembayeva Madina M. — doctoral student at Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: seisembayevamm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3256-5957>;

Dzhumagulova Karlygash N. — Laureate of the al-Farabi State Prize of the Republic of Kazakhstan in the field of science and technology, corresponding member of the NAS RK, doctor of physical and mathematical sciences, professor, professor of the Department of Plasma Physics, Nanotechnology and Computer Physics of the Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

E-mail: dzhumagulova.karlygash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2937-4482>.

Abstract. The advent of hybrid halide perovskite materials has marked a significant breakthrough in photovoltaics (PV) over the last decade due to their remarkable optoelectronic properties, such as high absorption coefficients, tunable band gaps, low exciton binding energies, long carrier diffusion lengths, and high charge carrier mobility. Today, hybrid halide perovskite solar cells (PSCs) demonstrate record power conversion efficiencies (PCEs) of 25.5 % for single-junction cells and 29.1 % for monolithic perovskite/silicon tandem solar cells, surpassing other thin-film photovoltaic technologies (e.g., CIGS, CdTe), and comparable to well-established solar technologies such as crystalline silicon solar cells. To accelerate the development of PSCs towards commercialization, several critical issues such as reproducible high efficiency, long-term stability, hysteretic behavior, lead toxicity, and scalability need to be addressed comprehensively. The high versatility of thin-film fabrication technologies allows for significant flexibility in device architecture design, enabling PSCs to hold substantial potential for enhancing device performance. To further enhance the performance of perovskite

solar cells, a promising approach is to incorporate an integrated back-contact structure, which is expected to reduce light loss. This study employs numerical simulation methods to compare two structures and investigates factors influencing the power conversion efficiency of integrated back-contact perovskite solar cells, demonstrating their advantage over traditional multilayer perovskite solar cells. The presented results offer guidance for designing and fabricating high-efficiency integrated back-contact perovskite solar cells.

Keywords: perovskite solar cells; solar energy; modeling; $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$; Comsol Multiphysics

© **Е.О. Шаленов¹, Е.С. Сейткожанов^{1,2}, М.М. Сейсембаева^{1,2},
К.Н. Джумагулова^{1,2}, 2024**

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан;

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, ЭТФҒЗИ,
Алматы, Қазақстан.

E-mail: erik.shalenov@gmail.com

СЭНДВИЧ ПЕН КЕРІ КОНТАКТЫ ПЕРОВСКИТ КҮН ЭЛЕМЕНТТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Шаленов Ерик Онгарович — PhD, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, жалпы физика кафедрасының доценті, Алматы, Қазақстан

E-mail: Shalenov.erik@physics.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6469-6623>;

Сейткожанов Елдос Сериккалиұлы — әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан

E-mail: seytkozhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5123-4558>;

Сейсембаева Мадина Маратовна — әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің докторанты, Алматы, Қазақстан

E-mail: seisebayevamm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3256-5957>;

Джумагулова Карлыгаш Нурмановна — ғылым және техника саласындағы Қазақстан Республикасының әл-Фараби атындағы Мемлекеттік сыйлығының лауреаты, ҚР ҰҒА-ның корреспондент-мүшесі, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің плазма физикасы, нанотехнология және компьютерлік физика кафедрасының профессоры, Алматы, Қазақстан

E-mail: dzhumagulova.karlygash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2937-4482>.

Аннотация. Гибридті галогенді перовскит материалдарының пайда болуы соңғы онжылдықта фотоэлектрикада (ФЭ) үлкен серпіліс жасады, олардың керемет оптоэлектрондық қасиеттері, мысалы, жоғары сіңіру коэффициенттері, қайта құрылатын жолақ, төмен экситондық байланыс энергиясы, тасымалдаушының үлкен диффузиялық ұзындығы және заряд тасымалдаушылардың жоғары қозғалғыштығы. Бүгінгі күнге дейін гибридті галогенді перовскитті күн элементтері (ПКЭ) энергияны конверсиялаудың рекордтық тиімділігін көрсетеді (power conversion efficiency (PCE)) бір ауыспалы үшін 25,5 % және басқа жұқа пленкалы фотоэлектрлік технологиялардан (мысалы,

CIGS, CdTe) асып түсетін монолитті перовскит/кремний тандемді күн элементтері үшін 29,1 % және салыстырмалы жақсы дәлелденген кристалды кремний күн элементтері сияқты күн технологиясы. Коммерцияландыру бағытында ПКЭ дамуын жеделдету үшін қайталанатын жоғары тиімділік, ұзақ мерзімді тұрақтылық, гистерезис әсері, қорғасынның уыттылығы және масштабталу сияқты бірқатар маңызды мәселелерді жақсы шешу қажет. Жұқа қабықшалы өндіріс технологияларының жоғары әмбебаптығы құрылғы архитектурасын жобалауда жоғары икемділікті тудырады, бұл ПКЭ құрылғылардың өнімділігін жақсартуға айтарлықтай мүмкіндік береді. Перовскитті күн элементтерінің өнімділігін одан әрі жақсарту үшін оларға жарықтың жоғалуын азайтуы мүмкін интеграцияланған кері байланыс құрылымын енгізу перспективалы нұсқа болып табылады. Бұл жұмыс екі құрылымды салыстыру үшін сандық модельдеу әдісін қолданады. Біз перовскитті күн элементтерінің интеграцияланған кері байланысының энергия түрлендіру тиімділігіне әсер етуі мүмкін факторларды зерттедік, олардың дәстүрлі көп қабатты перовскитті күн элементтерінен артықшылығы бар екенін көрсеттік. Ұсынылған нәтижелер жоғары тиімді перовскитті күн элементтерін жобалау және өндіру бойынша ұсыныстар береді.

Түйін сөздер: перовскит күн элементтері; күн энергиясы; модельдеу; $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$; Comsol Multiphysics

© **Е.О. Шаленов¹, Е.С. Сейтқожанов^{1,2}, М.М. Сейсембаева^{1,2},
К.Н. Джумагулова^{1,2}, 2024**

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, НИИЭТФ, Алматы, Казахстан.

E-mail: erik.shalenov@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЭНДВИЧ И ОБРАТНО- КОНТАКТНЫХ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Шаленов Ерик — PhD, ассоциированный профессор кафедры общей физики, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

E-mail: shalenov.erik@physics.kz, <http://orcid.org/0000-0001-6469-6623>;

Сейтқожанов Елдос Сериккалиевич — докторант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: seytkozhanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5123-4558>;

Сейсембаева Мадина Маратовна — докторант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

E-mail: seisembayevamm@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3256-5957>;

Джумагулова Карлыгаш — доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики плазмы, нанотехнологий и компьютерной физики Казахского Национального Университета

им. аль-Фараби, лауреат государственной премии Республики Казахстан имени аль-Фараби в области науки и техники, член-корреспондент НАН РК, Алматы, Казахстан
E-mail: dzhumagulova.karlygash@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2937-4482>.

Аннотация. Появление гибридных галогенидных перовскитных материалов – огромный прорыв в фотоэлектрике (ФЭ) в последнее десятилетие благодаря их замечательным оптоэлектронным свойствам, таким как высокие коэффициенты поглощения, перестраиваемая запрещенная зона, низкая энергия связи экситонов, большие длины диффузии носителей и высокая подвижность носителей заряда. На сегодняшний день гибридные галогенидные перовскитовые солнечные элементы (ПСЭ) демонстрируют рекордную эффективность преобразования энергии (power conversion efficiency (PCE)) в 25,5 % для однопереходных и 29,1 % для монокристаллических перовскитовых/кремниевых тандемных солнечных элементов, которые превосходят другие тонкопленочные фотоэлектрические технологии (например, Si, CdTe), и сравнимы с хорошо зарекомендовавшими себя солнечными технологиями, такими как кристаллические кремниевые солнечные элементы. Чтобы ускорить развитие ПСЭ в направлении коммерциализации, необходимо решить ряд критических вопросов, таких как воспроизводимая высокая эффективность, долгосрочная стабильность, гистерезисное поведение, токсичность свинца и масштабируемость. Высокая универсальность тонкопленочных технологий изготовления создает высокую гибкость в проектировании архитектуры устройств, позволяя ПСЭ иметь значительные возможности для улучшения производительности устройств. Для дальнейшего повышения производительности перовскитных солнечных элементов многообещающим вариантом является внедрение в них структуры с интегрированным обратным контактом, которая, как ожидается, сможет снизить потери света. В этой работе используется метод численного моделирования для сравнения двух структур. Мы исследовали факторы, которые могут повлиять на эффективность преобразования энергии интегрированным обратным контактом перовскитных солнечных элементов, чтобы продемонстрировать, что они имеют преимущество перед традиционными многослойными перовскитными солнечными элементами. Представленные результаты дают рекомендации по проектированию и изготовлению высокоэффективных интегрированных обратным контактом перовскитных солнечных элементов.

Ключевые слова: перовскитные солнечные элементы, солнечная энергетика, моделирование, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, Comsol Multiphysics

Введение

Перовскиты — это класс кристаллической структуры титанита кальция, встречающийся в соединениях с формулой ABX_3 , где X - анион, А и В-катионы различных размеров (А больше В).

Наиболее эффективный перовскитовый солнечный элемент (ПСЭ) использует (Kumari et al., 2018; Green et al., 2014; Kim et al., 2014; Wang et al., 2016; Luo & Daoud, 2015; Rong et al., 2015), кристаллы перовскита MAPbX_3 , где $\text{MA} - \text{CH}_3\text{NH}_3^+$, а $\text{X} - (\text{Cl}, \text{Br} \text{ и } \text{I})$. Амбиполярная природа и способность к низкотемпературной обработке делают перовскитовые солнечные элементы менее дорогостоящим фотоэлектрическим устройством. Материалы MAPbX_3 также используются при изготовлении светодиодов, лазеров и различных оптоэлектронных устройств. По сути, солнечный элемент — это устройство, которое поглощает солнечное излучение и генерирует электронно-дырочные пары для выработки электроэнергии. В большинстве солнечных элементов в качестве преобразовательной среды используется полупроводниковый материал. Фотогенерированные носители разделяются с помощью поля, создаваемого p-n-переходом, для подачи электрического тока во внешнюю нагрузку. ПСЭ — это недорогой солнечный элемент нового поколения с простым процессом изготовления. Он состоит из четырех основных слоев (ETL, слой поглотителя, HTL и слой против электрода).

В последнее время большинство исследований по перовскитным солнечным элементам (ПСЭ) были основаны на сэндвич p-i-n или n-i-p структурах, как показано на рис. 1 (а) (Chen et al., 2014; Shi et al., 2014; Ma et al., 2015; Giesbrecht et al., 2016). Исследователи улучшили производительность ПСЭ путем изготовления высококачественных перовскитовых пленок, модифицирования интерфейсов и настройки состава перовскитовых материалов. В области видимого света внутренняя квантовая эффективность ПСЭ приближается к 100 % (Chen et al., 2014; Li et al., 2016). Таким образом, дальнейшее совершенствование коэффициент преобразования мощности (power conversion efficiency (PCE)) ПСЭ-ов на основе традиционной сэндвич структуры затруднено. Чтобы преодолеть это, необходимо фундаментальное изменение структуры.

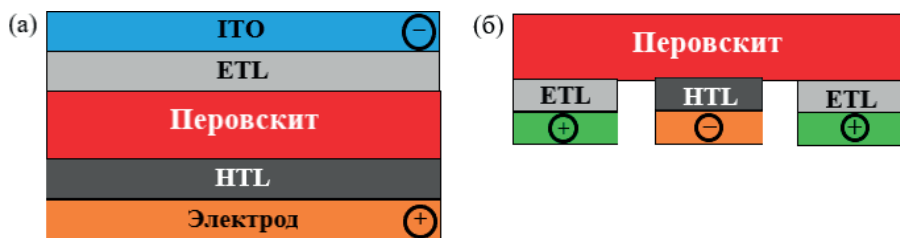


Рисунок 1. Структуры сэндвич-типового (а) и IBC-типового (б) ПСЭ.

Как показано на рис. 1 а, в традиционной сэндвич-структуре падающий свет проникает в солнечные элементы с верхней стороны, через стеклянную подложку, прозрачный проводящий оксид (transparent conductive oxide (TCO)) и слой переноса дырок (HTL) или слой переноса электронов (ETL), и в конечном итоге поглощается слоем перовскита. Когда свет проходит

через эти слои, часть фотонов будет отражена, рассеяна или поглощена и не будет вносить свой вклад в фототок ПСЭ-ов. Хотя можно использовать не отражающие покрытия для уменьшения отражения на поверхности стекла, но стоимость изготовления ПСЭ будет увеличиваться. Широко используемые НТЛ и ЕТЛ материалы, такие как TiO_2 и NiO , обычно демонстрируют сильное поглощение в УФ-области (300–400 нм). Поэтому эта часть света с трудом достигает слоя перовскита. На рис.2 показаны спектры поглощения голых и покрытых TiO_2 подложек ИТО. Мы видим, что более 10 % потерь света наблюдается в области видимого света. В коротковолновой области потери света, возникающие из-за подложки, еще выше. Кроме того, в модулях ПСЭ-ов большой площади электродные пальцы и соединительные полосы, которые необходимы для уменьшения последовательного сопротивления в солнечных элементах сэндвич-типа, могут привести к дополнительным потерям затенения в системе. Таким образом, можно дополнительно улучшить РСЕ ПСЭ-ов за счет уменьшения как потерь света, так и потерь затенения.

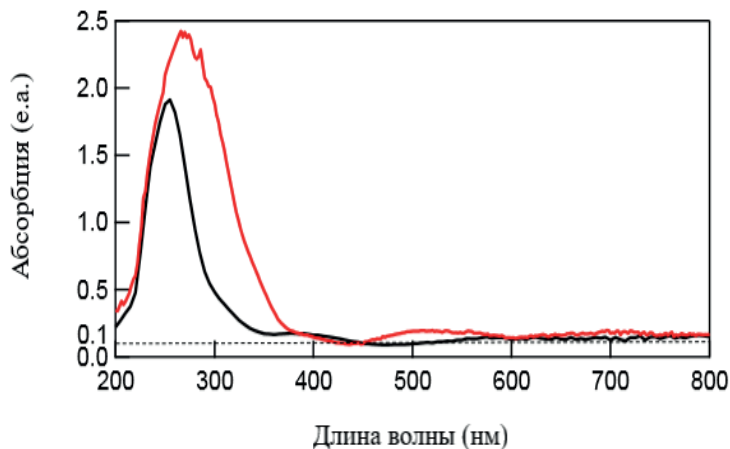


Рисунок 2. Измеренные спектры поглощения подложки TCO (черная) и покрытой TiO_2 подложки TCO (красная).

В кремниевых солнечных элементах была введена структура с интегрированным обратным контактом (IBC) для уменьшения потерь света и затенения за счет интеграции всех электродов с одной стороны активного слоя и достижения рекордной эффективности в мире (Yoshikawa et al., 2017). Поскольку перовскитные материалы обладают выдающимися характеристиками, такими как высокая подвижность и длительный срок службы заряда, можно будет изготовить высокоэффективные IBC-ПСЭ. Тем не менее, отчетные результаты работы IBC- ПСЭ-ов оказались не столь многообещающими, как мы ожидали.

Для того чтобы понять, что ограничивает производительность IBC- ПСЭ-ов и дать рекомендации по проектированию и изготовлению IBC-

ПСЭ, мы применили численное моделирование для исследования влияния структурных параметров, отражающих межфазное и объемное качество, на производительность ИВС-ПСЭ. Структура ИВС-ПСЭ, использованных в данной работе, изображена на рис. 1 б, в данной работе для моделирования используется основной перовскитовый материал $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$. Оптические и электрические свойства этого материала были извлечены из таблицы 1 NiO и TiO_2 , которые широко использовались в качестве слоев выбора заряда в сэндвич - типах ПСЭ, используются в качестве НТЛ и ЕТЛ соответственно. Металлические слои под селективными контактами, никель и титан, используются в качестве анода и катода, соответственно. ЕТЛ и НТЛ могут быть легко образованы путем окисления поверхности металлических электродов. Поскольку дальнейшее осаждение или травление не требуется, этот процесс может помочь снизить стоимость изготовления подложек ИВС. Падающий свет попадает в ячейку с верхней поверхности и сразу же поглощается перовскитовым слоем. Поэтому свет потери значительно снижаются по сравнению с традиционными сэндвич-ПСЭ.

Теоретический подход и детали моделирования

Оптическое моделирование. Для экспериментов по оптическому моделированию мы использовали COMSOL Multiphysics для моделирования установки рассматриваемых фотоэлектрических элементов для двух различных электромагнитных поляризации (поперечно-магнитной и поперечно-электрической). Граничные условия рассеяния накладываются на нижнюю поверхность, чтобы предотвратить развитие отражающих волн, в то время как возбуждение плоской волны определяется путем прямого задания электрического или магнитного поля на верхней поверхности. Рассматривается одна часть обратного контакта, в то время как для вертикальных поверхностей используются периодические граничные условия, предписывающие непрерывность. Для слоев перовскита и никеля мы использовали значения дисперсионной диэлектрической проницаемости из хорошо зарекомендовавших себя баз данных и справочных материалов, определив кусочно-непрерывные функции в COMSOL. Значения диэлектрической проницаемости всех других материалов, используемых в конструкции устройства, с очень низкой зависимостью от частоты считались не дисперсионными и постоянными. Площадь базового блока сэндвич-модели выбирается такой же ширины, как и в устройстве с обратным контактом (5 мкм). На таблице 1 приведены все параметры, использованные в данном моделировании.

Таблица 1 – Используемые параметры

Параметры и единицы измерения	TiO_2	$\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$	NiO
Диэлектрическая постоянная	46	30	12
Запрещенная зона (эВ)	3.2	1.55	3.6
Сродство к электрону (эВ)	3.9	3.9	1.85
Толщина (нм)	100	500	100

Подвижность заряда (см ² /В*с)	0.006	20	0.141
Время жизни заряда (мкс)	0.006	10	0.141
Концентрация акцептора (см ⁻³)	0	0	3 x 10 ¹⁹
Концентрация донора (см ⁻³)	5 x 10 ¹⁹	2.8 x 10 ¹⁷	0
Эффективная плотность зоны проводимости (см ⁻³)	1 x 10 ²¹	2,5 x 10 ²⁰	2.5 x 10 ²⁰
Эффективная плотность валентной зоны (см ⁻³)	2 x 10 ²⁰	2,5 x 10 ²⁰	2,5 x 10 ²⁰

Электрическое моделирование. Для экспериментов по электрическому моделированию мы использовали стандартную дрейфово-диффузионную модель (Kumari et al., 2018), использующую скорость рекомбинации Шокли-Рида-Холла (ШРХ) (Shalenov et al., 2022; Shalenov et al., 2021; Shalenov et al., 2020). Для расчета различных электрических параметров устройств была решена следующая система уравнений для заданной архитектуры устройства, геометрии и физических параметров функциональных слоев:

1. *Уравнения Пуассона* (Shalenov et al., 2022; Shalenov et al., 2021; Shalenov et al., 2020)

$$\nabla \cdot (-\varepsilon_0 \varepsilon_r \nabla V) = \rho(x, y, z) \quad (1)$$

где,

$$\rho(x, y, z) = q(p(x, y, z) - n(x, y, z) + N_d^+(x, y, z) - N_a^-(x, y, z)) \quad (2)$$

здесь ε_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума, ε_0 - диэлектрическая проницаемость слоя поглотителя (перовскита), q - элементарный заряд. Также, $p(x, y, z)$, $n(x, y, z)$, $N_d^+(x, y, z)$ и $N_a^-(x, y, z)$ являются локальной концентрацией носителей заряда (p и n для дырок и электронов, соответственно), акцепторов и доноров, соответственно.

Значения равновесной концентрации носителей заряда получены из следующих уравнений:

$$n = \frac{1}{2} \left((N_d^+ - N_a^-) + \sqrt{(N_d^+ - N_a^-)^2 + 4n_i^2} \right) \quad (3)$$

$$p = -\frac{1}{2} \left((N_d^+ - N_a^-) + \sqrt{(N_d^+ - N_a^-)^2 + 4n_i^2} \right) \quad (4)$$

где

$$n_i = \sqrt{N_{c0} N_{v0}} \exp\left(-\frac{E_g}{2k_B T}\right) \quad (5)$$

Здесь n_i - внутренняя концентрация переносчиков заряда, N_{c0} и N_{v0} - эффективная плотность состояний в зонах проводимости и валентной зоне, E_g - ширина запрещенной зоны, $k_B T$ - постоянная Больцмана и T абсолютная температура.

2. *Токи носителей заряда для электронов и дырок:* (Shalenov et al., 2022; Kiani et al., 2023; Akhanuly et al., 2023)

$$\nabla \cdot J_n = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \cdot J_{pn} = 0 \quad (7)$$

$$J_n = qn\mu_n E_c + \mu_n k_B T \nabla \cdot n \quad (8)$$

$$J_p = qn\mu_p E_v + \mu_p k_b T \nabla \cdot p \quad (9)$$

Где J_n и J_p - электронные и дырочные токи, μ_n и μ_p - подвижность электронов и дырок, E_c и E_v - энергия проводимости и валентной зоны, определяются следующим образом:

$$E_c = -\nabla \cdot (V + \chi_0) \quad (10)$$

$$E_v = -\nabla \cdot (V + \chi_0^- + E_g) \quad (11)$$

Здесь V - электрический потенциал и χ_0 - энергия сродства к электрону.

3. Уравнения непрерывности (Shalenov et al., 2021; Kakimov et al., 2022; Parkhomenko et al., 2022).

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G_n - R_n + \frac{1}{q} \nabla \cdot J_n \quad (12)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G_p - R_p + \frac{1}{q} \nabla \cdot J_p \quad (13)$$

где, G_n и G_p - скорости генерации в единичном объеме для электронов и дырок, соответственно. R_n и R_p - скорости рекомбинации электронов и дырок, соответственно.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 показаны расчетные ВАХ ПСЭ-ов сэндвич и ИВС структур. Расчетные и отчетные параметры производительности приведены в таблице 1. Плотность тока короткого замыкания (J_{sc}), напряжение разомкнутой цепи (V_{oc}), коэффициент заполнения (Fill Factor (FF)) и PCE традиционных сэндвич ПСЭ-ов составляют 21,8 мА/см², 1,072 В, 0,87 и 20.1% соответственно.

По сравнению с сэндвич ПСЭ, ИВС ПСЭ проявляют сходные V_{oc} и FF, предполагая, что структура ИВС не будет индуцировать значительную рекомбинацию в объеме перовскита или на границах раздела в идеальных условиях (низкая плотность дефектов, длительный срок службы). Кроме того, клетки ИВС производили заметно более высокое J_{sc} (24,3 мА/см²), что привело к значительному улучшению PCE на 22,71 %. Мы предполагаем, что увеличение J_{sc} в основном связано с уменьшением потерь света в структуре ИВС.

Чтобы подтвердить эти предположения, мы рассчитали внешнюю квантовую эффективность (EQE) ПСЭ на основе двух различных структур. Как показано на рис. 3 б, EQE сэндвич элементов составляет около 70–90 % в диапазоне поглощения, что согласуется с теоретическими данными. В сэндвич ПСЭ фотоны с короткими длинами волн частично отражаются на поверхности ИТО, а затем частично поглощаются слоем ETL (TiO₂). Поэтому эта часть света с трудом достигает слоя перовскита и вносит свой вклад в фототок. С другой стороны, в структуре ИВС потери света обусловлены главным образом отражением на поверхности перовскита. В результате, EQE ИВС-ПСЭ выше в большей части области поглощения. Даже в коротковолновой области (300–380 нм) EQE превышает 75 %. Мы также можем заметить пик на 400 нм в спектре EQE сэндвич ПСЭ. Такое

высокое значение EQE объясняется показателем преломления слоя TCO, соответствующим показателю преломления слоя TiO_2 около 400 нм. Кроме того, слой TCO действует как антиотражающий слой и уменьшает отражение. Однако уменьшить отражение в полном диапазоне поглощения перовскитовых материалов трудно, так как электрические, химические и оптические свойства слоев должны быть оптимизированы одновременно, тогда как в структуре ИВС при проектировании просветляющего покрытия необходимо учитывать только показатель преломления перовскитовых материалов. Таким образом, структура ИВС имеет преимущество в управлении светом по сравнению с сэндвич-структурой.

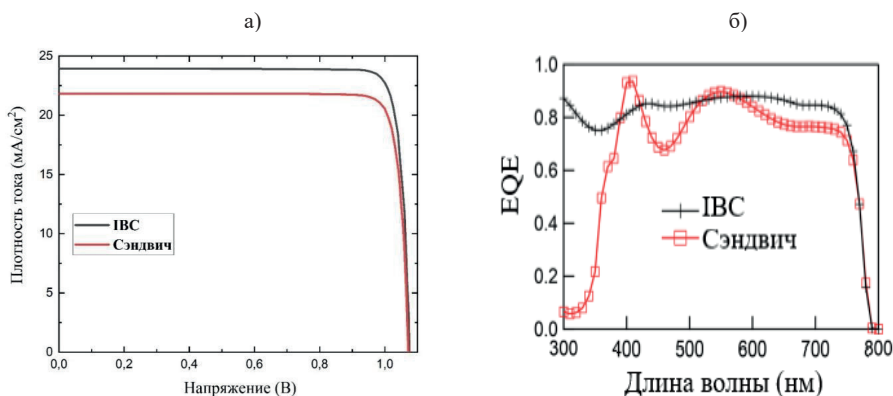


Рисунок 3. ВАХ (а) и EQE (б) сэндвич (красный) и ИВС (черный) ПСЭ-ов.

В ПСЭ-ах, когда свет поглощается перовскитовым слоем, образуются свободные заряды. Кроме того, заряды должны достигать и собираться электродами, чтобы генерировать фототок. Поскольку ширина контакта в структурах ИВС обычно намного больше толщины слоя перовскита в сэндвич-структурах, ожидается, что рекомбинация заряда в ИВС-ПСЭ-ах будет значительно более интенсивной. Чтобы понять, как и в какой степени структурные параметры, такие как ширина электрода и зазор между электродами, влияют на производительность ИВС-ПСЭ-ов, мы сначала зафиксировали зазор между электродами до 200 нм и рассчитали ВАХ ИВС-ПСЭ-ов с различной шириной контакта. Как показано на рис. 4 (а) и рис.1.9 (а), при изменении ширины контакта от 1 до 80 мкм не наблюдается заметного изменения V_{OC} и FF, в то время как J_{SC} значительно уменьшается с 24,3 до 10,74 mA/cm^2 . В результате PCE также сократился с 22,71 % до 10,1 %. Эти результаты свидетельствуют о том, что увеличение ширины контакта в основном влияет на J_{SC} ИВС-ПСЭ-ов. Также падение PCE происходит в основном за счет уменьшения J_{SC} . Хотя показано, что ПСЭ с меньшей шириной контакта будут производить более высокие ПСЭ, стоимость изготовления ИВС-ПСЭ может быть слишком высокой для массового производства,

поскольку для формирования интегрированных обратных контактов необходим дорогостоящий процесс субмикронной фотолитографии. На рис. 4 (а) также видно, что при увеличении ширины контакта от 1 до 5 мкм J_{SC} и PCE уменьшились только на $0,7 \text{ mA/cm}^2$ и $0,7 \%$ соответственно. В этом масштабе (5 мкм) можно сформировать интегрированные электроды с помощью недорогого процесса изготовления, такого как технология печати. Таким образом, структура ИВС с шириной контакта 5 мкм может быть компромиссом между производительностью и стоимостью изготовления. В следующих моделях ширина контакта по умолчанию устанавливается равной 5 мкм, если не указано иное.

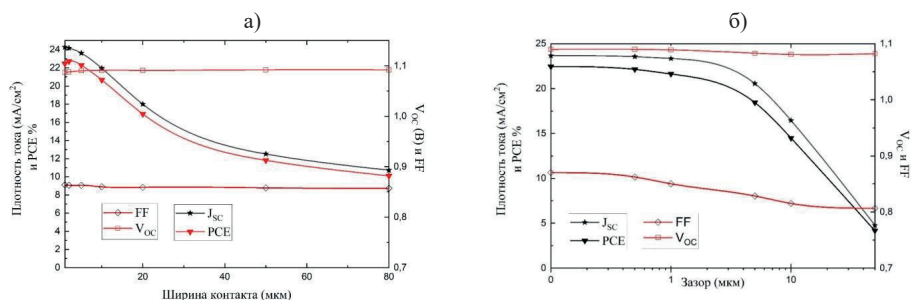


Рисунок 4. Рабочие параметры ИВС-ПЭС с различной шириной контакта (а) и зазорами (б).

На рис. 4 (б) и рис. 5 (б) показано влияние размера зазора между электродами на производительность ИВС. Замечено, что V_{OC} не сильно меняется, когда мы меняем зазор между электродами. Однако J_{SC} и PCE уменьшились с $23,6 \text{ mA/cm}^2$ и $22,3 \%$ до $4,73 \text{ mA/cm}^2$ и $4,16 \%$ при изменении зазора от $0,1$ до 50 мкм . Сравнивая рис. 4 (а) с рис. 4 (б), можно заметить, что размер зазора оказывает более значительное влияние на FF, чем размер ширины контакта. Это связано с тем, что увеличение зазора приведет к уменьшению электрического поля между электродами, а в дальнейшем и к снижению эффективности сбора заряда в солнечных элементах (Barteseighi et al., 2015). Поэтому для достижения высокой эффективности использования структуры ИВС нам необходимо сократить разрыв. Бах и др. была предложена квази-интердигитированная электродная структура, в которой два электрода были разделены тонким изолирующим слоем. Поскольку зазор определяется толщиной изолирующего слоя, его можно легко уменьшить до нескольких сотен нанометров. Принимая эту структуру, мы можем игнорировать влияние разрыва на ИВС-ПЭС в соответствии с нашими результатами моделирования, показанными на рис. 4 (б).

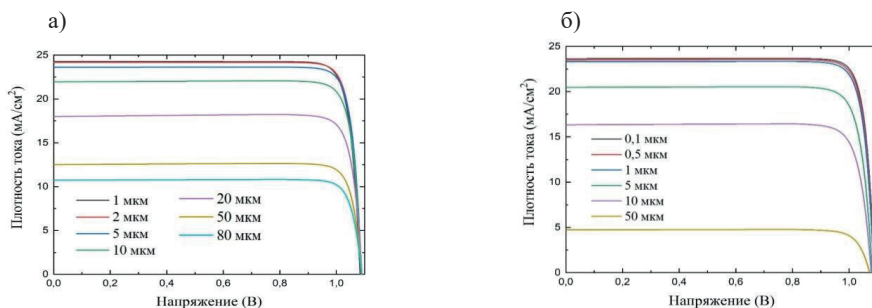


Рисунок 5. Изменение ВАХ в зависимости от ширины контакта (а) и зазора (б) ИВС-ПСЭ-ов.

Межфазный дефект может также влиять на процесс переноса заряда в ИВС-ПСЭ. Здесь мы используем параметр скорости поверхностной рекомбинации для представления рекомбинации, возникшей в результате поверхностных дефектов. В сэндвич-структурах, как показано на рис. 6, поверхностный дефект практически не может повлиять на работу ПСЭ из-за короткого пути переноса заряда. Однако для ИВС-ПСЭ J_{sc} , V_{oc} и PCE значительно уменьшились с 23,8 мА/см², 1,08 В и 22,2 % до 17,23 мА/см², 0,96 В и 13.8 %, когда скорость поверхностной рекомбинации с обеих сторон слоя перовскита увеличилась с 1 до 1000 см / с, как показано на рис. 1 в структуре ИВС путь переноса заряда значительно длиннее, чем в сэндвич-структурах и поверхностные дефекты распределяются вдоль пути переноса заряда. Поэтому структура ИВС более восприимчива к поверхностным дефектам. При изготовлении ИВС нам необходимо уменьшить поверхностные дефекты и скорость поверхностной рекомбинации. Кроме того, можно снизить скорость поверхностной рекомбинации мульти кристаллической пленки $CH_3NH_3PbI_3$ до 0,4 см/с.

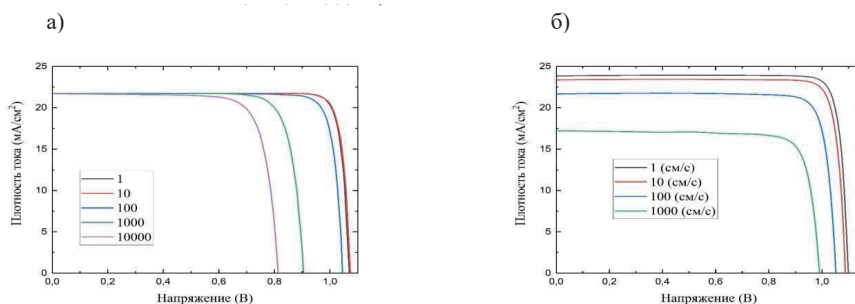


Рисунок 6. ВАХ сэндвич (а) и ВАХ ИВС (б) - ПСЭ с различными скоростями поверхностной рекомбинации.

Заключение

Сравнивая ИВС-ПСЭ с традиционной сэндвич-структурой, мы показали, что структура ИВС является выгодной с точки зрения использования света и производительности. Мы также исследовали факторы, которые могут

повлиять на работу ИВС-ПСЭ-ов. Результаты показали, что конструктивные параметры, включая ширину контакта и зазор, отрицательно связаны с J_{sc} и PCE ИВС-ПСЭ-ов, которое означает, что увеличение расстояния переноса заряда снижает эффективность сбора заряда в структуре ИВС. Тем не менее, можно уменьшить зазор, приняв квази-интердигитированную электродную структуру. Также замечено, что производительность ИВС-ПСЭ-ов, как ни удивительно, не столь чувствительна к значению ширины контакта в относительно широком диапазоне (1–5 мкм). Это позволило нам изготовить интегрированный электрод с использованием недорогих методов изготовления, таких как печать. Мы также проиллюстрировали, что дефекты в пленках перовскита и на поверхности не будут существенно влиять на производительность ИВС-ПСЭ-ов, если качество перовскитовой массы и поверхности раздела будет достаточно высоким. Что касается времени жизни заряда и подвижности заряда в перовскитовых материалах, то ИВС-ПСЭ-ов уменьшается быстрее, чем у сэндвич-ПСЭ, по мере уменьшения срока службы или подвижности. Однако стоит отметить, что при использовании в моделировании указанных параметров (время жизни ≥ 1 мкс, подвижность $\geq 10 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) пленок перовскита и относительно широкой ширины контакта (5 мкм) ИВС-ПСЭ-ов структура ИВС демонстрирует явное преимущество перед сэндвич-структурой. Результаты этой работы открывают новые возможности для дальнейшего повышения производительности ПСЭ-ов и дают ценные рекомендации по проектированию и изготовлению ИВС-ПСЭ-ов.

REFERENCES

- Akhanuly A. et al. (2023). Modeling and Comparative Performance Analysis of Perovskite Solar Cells. *Physical Review Applied*, — 19(5). — <https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.19.054039>
- Bartasaghi D., et al. (2015). Competition between recombination and extraction of free charges determines the fill factor of organic solar cells. *Nat. Commun.*, — 6(1), — 1–10. — <https://doi.org/10.1038/ncomms7440>
- Chen Q., et al. (2014). Planar heterojunction perovskite solar cells via vapor-assisted solution process. *J. Am. Chem. Soc.*, — 136(2), — 622–625. — <https://doi.org/10.1021/ja411509g>
- Giesbrecht N., et al. (2016). Synthesis of Perfectly Oriented and Micrometer-Sized MAPbBr₃ Perovskite Crystals for Thin-Film Photovoltaic Applications. *ACS Energy Lett.*, — 1(1), — 150–154. — <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.5b00118>
- Green M.A., Ho-Baillie A. & Snaith H.J. (2014). The emergence of perovskite solar cells. *Nat. Photonics*, — 8(7), — 506–514. — <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.134>
- Kakimov A.G., et al. (2022). Passivation of perovskite layer surface states with pyridine in flexible and printed perovskite solar cells. *Flexible and Printed Electronics*, — 7(3). — <https://doi.org/10.1088/2058-8585/ac8753>
- Kiani M.S. et al. (2023). Stepping toward Portable Optoelectronics with SnO₂ Quantum Dot-Based Electron Transport Layers. *ACS Omega*, — 8(23), — 21212–21222. — <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02341>
- Kim H.S., Im S.H. & Park N.G. (2014). Organolead halide perovskite: New horizons in solar cell research. *J. Phys. Chem. C*, — 118(11), — 5615–5625. — <https://doi.org/10.1021/jp409025w>
- Kumari N., Patel S.R. & Gohel J.V. (2018). Current progress and future prospective of perovskite solar cells: A comprehensive review. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, — 53(2), — 161–186. — <https://doi.org/10.1515/rams-2018-0027>

- Li X. et al. (2016). A vacuum flash-assisted solution process for high-efficiency large-area perovskite solar cells. *Science*, — 353(6294), — 58–62. — <https://doi.org/10.1126/science.aaf8060>
- Luo S. & Daoud W.A. (2015). Recent progress in organic-inorganic halide perovskite solar cells: Mechanisms and material design. *J. Mater. Chem. A*, — 3(17), — 8992–9010. — <https://doi.org/10.1039/c5ta00599a>
- Ma T. et al. (2015). Annealing-induced chemical and structural changes in tri-iodide and mixed-halide organometal perovskite layers. *J. Mater. Chem. A*, — 3(27), — 14195–14201. — <https://doi.org/10.1039/c5ta03604f>
- Parkhomenko H.P., et al. (2022). Fabrication of Flexible Quasi-Interdigitated Back-Contact Perovskite Solar Cells. *Energies*, — 15(9). — <https://doi.org/10.3390/en15093056>
- Rong Y. et al. (2015). Beyond efficiency: The challenge of stability in mesoscopic perovskite solar cells. *Adv. Energy Mater.*, — 5(20). — <https://doi.org/10.1002/aenm.201500831>
- Shalenov E.O. et al. (2020). Performance optimization of back-contact perovskite solar cells with quasi-interdigitated electrodes. *Solar Energy*, — 205, — 102–108. — <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.034>
- Shalenov E.O. et al. (2021). Insights on Desired Fabrication Factors from Modeling Sandwich and Quasi-Interdigitated Back-Contact Perovskite Solar Cells. *ACS Applied Energy Materials*, — 4(2), — 1093–1107. — <https://doi.org/10.1021/acsaem.0c02120>
- Shalenov E.O. et al. (2022). Performance evaluation of different designs of back-contact perovskite solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, — 234. — <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111426>
- Shi J. et al. (2014). Modified two-step deposition method for high-efficiency TiO₂/CH₃NH₃PbI₃ heterojunction solar cells. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, — 6(12), — 9711–9718. — <https://doi.org/10.1021/am501715d>
- Wang D. et al. (2016). Stability of perovskite solar cells. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, — 147, — 255–275. — <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.12.022>
- Yoshikawa K. et al. (2017). Silicon heterojunction solar cell with interdigitated back contacts for a photoconversion efficiency over 26%. *NatEn*, — 2(5), — 17032. — <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.32>



РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ
(к 90-летию со дня рождения)

Выдающийся ученый-горняк, действительный член Национальной академии наук Республики Казахстан, заслуженный деятель РК, доктор технических наук, профессор, почетный ректор Казахского национального исследовательского технического университета им. К. И. Сатпаева Баян Ракишевич Ракишев родился 15 марта 1934 года.

После окончания с отличием Казахского горно-металлургического института с 1957 по 1965 годы он работал на Коунрадском руднике Балхашского горно-металлургического комбината в должностях начальника смены, начальника цеха и карьера. В 1964 году без отрыва от производства успешно защитил кандидатскую диссертацию.

Дальнейшая его трудовая деятельность связана с родным вузом. С 1966 по 1987 годы доцент, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики, в период с 1988 по 2016 год заведующий кафедрой открытых горных работ, с 1980 по 1993 год научный руководитель проблемной лаборатории новых физических методов разрушения горных пород и отраслевой лаборатории технологии буровзрывных работ КазПТИ им. В.И. Ленина. С 2016 года по настоящее время он профессор кафедры «Горное дело», почетный ректор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева.

Под руководством Б. Ракишева факультет Автоматики и вычислительной техники занимал передовые позиции в научно-исследовательской, учебно-производственной и общественной деятельности. Факультетский ансамбль «Досмукасан» сформировался, состоялся как творческий самостоятельный коллектив и стал популярным в странах СНГ. О творческой деятельности

«Досмукасан» и роли декана Баяна Ракишева в его становлении рассказывается в кинофильме «Досмукасан», выпущенном Казахфильмом в 2020 году.

Вдолжностиректора он всю свою силу и энергию отдавал расширению связей науки с производством, практической подготовке будущих специалистов. Тогда в КазПТИ впервые в Казахстане были организованы специализированные студенческие отряды для прохождения производственных практик, открылось несколько филиалов кафедр на базе предприятий и НИИ. Активно внедрялись договоры о научно-техническом содружестве и подготовке специалистов по прямым связям с предприятиями. Контингент иностранных студентов из 37 стран в то время составлял внушительную цифру – более 300 человек. Существенно улучшилось состояние материально-технической базы института. КазПТИ им. В.И. Ленина был одним из ведущих высших учебных заведений СССР.

Баян Ракишевич создал стройную теорию разрушения реального массива горных пород действием взрыва ВВ. Разработал аналитические методы определения расположения зарядов ВВ в массиве, гранулометрического состава взорванной горной массы, затрат энергии ВВ на дробление, перемещение и графо-аналитические методы определения размещения разнородных пород в развале, параметров технологий буровзрывных и экскаваторных работ, обеспечивающих наименьшие количественные и качественные потери.

Баяном Ракишевым сформулированы стратегические задачи рационального освоения недр и комплексного использования полезных ископаемых, обоснованы системы их обеспечения, разработаны горно-геологические, геометрические модели сложноструктурных блоков месторождений, математические модели минерального сырья на различных этапах его переработки, позволяющие управлять уровнем извлечения как основных, так и сопутствующих полезных компонентов в концентрат, в металл, что чрезвычайно важно в условиях систематического снижения содержания профильных металлов в руде и увеличения спроса на редкие металлы в связи с развитием высоких технологий.

Разработанные математические модели стабилизации качества многокомпонентной руды для оперативного управления внутрикарьерным усреднением и состоянием минерального сырья на каждом из этапов его переработки способствуют совершенствованию экономически эффективных технологий добычи и переработки полезных ископаемых.

Научными работами, выполненными на высоком теоретическом уровне и оригинальными практическими разработками, получившими признание горной общественности, академик Б.Р. Ракишев внес большой вклад в горную науку и промышленность, создал научную школу в области эффективного разрушения массивов пород и разработки полезных ископаемых в режиме их рационального использования недр, подготовил 9 докторов, 30 кандидатов технических наук, 9 докторов PhD, сотни магистров и инженеров.

Академик НАН РК Б.Р. Ракишев является автором около 800 научных и учебно-методических работ, в том числе 15 монографий, 6 аналитических обзоров, 14 учебников и учебных пособий, 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения, более 100 статей в изданиях в базе данных Scopus и Web of Science.

За заслуги в области научной, педагогической и организационной деятельности Б. Р. Ракишев награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Парасат», шестью медалями СССР и РК, Почетной грамотой Верховного Совета Казахской ССР, удостоен почетного звания «Заслуженный деятель РК», является лауреатом Республиканской премии им. К.И. Сатпаева.

Баян Ракишевич и сейчас ведет активную научно-исследовательскую, научно-организационную работу, являясь научным руководителем проектов Министерства науки и высшего образования РК, председателем диссертационного совета по защите докторских диссертаций, руководителем докторантов PhD, вице-президентом ОО «Союз ученых Казахстана», почетным президентом Горнопромышленного союза Казахстана, членом редколлегий журналов Казахстана, России, Украины и Узбекистана.

Поздравляя Баяна Ракишевича с юбилеем, желаем ему здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.

*Министерство высшего образования и науки РК,
Национальная академия наук РК,
Казахский национальный исследовательский
технический университет им. К.И. Сатпаева,
редакции журналов «Доклады НАН РК» и
«Вестник НАН РК»*

МАЗМУНЫ

ФИЗИКА

Ж.С. Байымбетова, Н.А. Сандибаева, Е.А. Склярова, Н.Ж. Ахметова ОРТА МЕКТЕП ФИЗИКА ПӘНІН ОҚЫТУДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ: ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ.....	7
Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, Е.С. Отунчи, А.Қ. Шонғалова, А.Г. Умирзаков АТОМДЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ АЛКИЛ АРАЛЫҚТАРЫ АРҚЫЛЫ WS_2 НАНОПАРАҚТАРЫНЫҢ ФОТОСЕЗІМТАЛДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АРТТЫРУ.....	16
А.А. Жадыранова, Д.К. Аншокова МОДИФИЦИРОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКИ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ СО СТЕПЕННЫМ ЗАКОНОМ.....	31
В.Ю. Ким, Ш.Т. Омаров АЛЫТ-АЗИМУТАЛДЫ МОНТАЖДАУДАН ӨТКЕН ТЕЛЕСКОПТЫҢ ДЕРОТАТОРЛЫ ӨРІСІ.....	50
А. Марасулов, И.И. Сафаров, М.Х. Тешаев, Ә.С. Төлеп, Г.А. Абдраимова ҚАБАТТЫ ТҮТҚЫР СЕРПІМДІ ЦИЛИНДРДЕ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУЫ.....	63
М. Пахомов, Ү. Жапбасбаев, Г. Рамазанова ҚҰБЫРДАҒЫ ТҮТҚЫР-ПЛАСТИКАЛЫҚ СҮЙІҚТЫҚТЫҢ ИЗОТЕРМИЯЛЫҚ ЕМЕС ТУРБУЛЕНТТІК АҒЫСЫН ЕСЕПТЕУГЕ АРНАЛҒАН РЕЙНОЛЬДС КЕРНЕУІ МОДЕЛІ.....	79
К. Саурова, С. Нысанбаева, Н. Сейдахмет, Г. Турлыбекова, Қ. Астемесова ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ ОРБИТАЛДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС ДИНАМИКАСЫН СИМУЛЯЦИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ.....	95
Е.О. Шаленов, Е.С. Сейтқожанов, М.М. Сейсембаева, К.Н. Джумагулова СЭНДВИЧ ПЕН КЕРІ КОНТАКТЫ ПЕРОВСКИТ КҮН ЭЛЕМЕНТТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	109
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк КОМЕТАЛАРДЫҢ ТЕРМИЯЛЫҚ КЕРНЕУЛЕРМЕН ЖОЙЫЛУЫ.....	123
С.А. Шомшекова, М.А. Кругов, Ч.Т. Омаров, Е.К. Аймурагов АСТРОХАБ ШЕҢБЕРІНДЕ ҒЫЛЫМДЫ НАСИХАТТАУ.....	139

ХИМИЯ

Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс, И.С. Сапарбекова ПОЛИМЕТАКРИЛ ҚЫШҚЫЛЫ МЕН ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИН ГЕЛЬДЕРІНІҢ ҚАШЫҚТЫҚТАН ӨРЕКЕТТЕСУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	155
Ә. Қаппасұлы, Д. Махаева, Ж. Қожантаева, Ғ. Ирмухаметова ДӘРІЛІК ЗАТТАРДЫ ЖЕТКІЗУДІҢ ОФТАЛЬМОЛОГИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ӨЗІРЛЕУ ҮШІН МЕТАКРИЛДЕНГЕН АЛГИН ҚЫШҚЫЛЫН АЛУ.....	167
А. Карилхан, А. Турсынова МОНОТЕРПЕНДІК ЦИТРОНЕЛЛАЛДАН ИЗОПУЛЕГОЛ ЖӘНЕ МЕНТОЛ СИНТЕЗІН ЗЕРТТЕУ.....	186
А.А. Құдайбергелі, А.К. Нурлыбекова, Ж. Жеңіс, М.А. Дюсебаева ARTEMISIA TERRAE-ALBAE МАЙДА ЕРИТІН СЫҒЫНДЫСЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ.....	195
М.Г. Мурзагалиева, Н.С. Ашимхан, А.О. Сапиева АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАБИҒИ АДСОРБЕНТТЕРМЕН ТАЗАЛАУДЫҢ КОЛЛОИДТЫ – ХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ.....	204

Г.Ф. Сагитова, С.А. Сакибаева, Б.А. Сақыбаев, З.А. Емқұлова, В.Ю. Морозова БУТАДИЕН-НИТРИЛДІ КАУЧУКТАР МЕН ТОЛЫҚТЫРҒЫШТАР НЕГІЗІНДЕГІ ТЫҒЫЗДАҒЫШ РЕЗИНАЛАРДЫ ӨЗІРЛЕУ.....	219
Б. Серикбаева, Р. Абжалов, А. Колесников, Ш. Кошкарбаева, М. Сатаев ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ ТІКЕЛЕЙ ФОТОХИМИЯЛЫҚ КҮМІСТЕНУІ.....	230
А.Т. Такибаева, О.В. Демец, А.А. Жорабек, А. Карилхан, Д.А. Ражабова ЛУПАН ТРИТЕРПЕНОИДТАРЫНЫҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	244
Б.Р. Таусарова, М.Ш. Сулейменова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина МЫС НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ ЦЕЛЛЮЛОЗАЛЫҚ ТОҚЫМА МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	259
Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.Р. Рахметова КӨМІРТЕКСІЗДЕНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДАҒЫ ЖЫЛУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ГАЗДАРЫН АЛДЫН АЛА ӨҢДЕУ.....	271
РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ (90 жас).....	283

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Ж.С. Байымбетова, Н.А. Сандибаева, Е.А. Склярова, Н.Ж. Ахметова СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ ФИЗИКОЙ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	7
Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, Е.С. Отунчи, А.Қ. Шонгалова, А.Г. Умирзаков УЛУЧШЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ НАНОЛИСТОВ WS ₂ С ПОМОЩЬЮ АЛКИЛЬНЫХ СПЕЙСЕРОВ НА АТОМИСТИЧЕСКОМ УРОВНЕ.....	16
А.А. Жадыранова, Д.К. Аншокова ДӘРЕЖЕЛІК ЗАҢЫ БАР ЛОГАРИФМДІК МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН СҮЙІҚТЫҚ КҮЙІНІҢ ӨЗГЕРТІЛГЕН ТЕНДЕУІ.....	31
В.Ю. Ким, Ч.Т. Омаров ДЕРОТАТОР ПОЛЯ ДЛЯ ТЕЛЕСКОПА НА АЛЬТ-АЗИМУТАЛЬНОЙ МОНТИРОВКЕ.....	50
А. Марасулов, И.И. Сафаров, М.Х. Тешаев, А.С. Тулеп, Г.А. Абдраимова РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЛН В СЛОИСТОМ ВЯЗКОУПРУГОМ ЦИЛИНДРЕ.....	63
М. Пахомов, У. Жапбасбаев, Г. Рамазанова МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЙНОЛЬДСА ДЛЯ РАСЧЕТА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ.....	79
К. Саурова, С. Нысанбаева, Н. Сейдахмет, Г. Турлыбекова, Қ. Астемесова ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....	95
Е.О. Шаленов, Е.С. Сейткочанов, М.М. Сейсембаева, К.Н. Джумагулова СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЭНДВИЧ И ОБРАТНО-КОНТАКТНЫХ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	109
Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк РАЗРУШЕНИЕ КОМЕТ ТЕРМИЧЕСКИМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ.....	123
С.А. Шомшекова, М.А. Кругов, Ч.Т. Омаров, Е.К. Аймуратов ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НАУКИ В РАМКАХ АСТРОХАБА.....	139

ХИМИЯ

Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс, И.С. Сапарбекова ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИНОМ.....	155
Ә. Қаппасұлы, Д.Н. Махаева, Ж. Кожантаева, Г.С. Ирмухаметова ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАКРИЛИРОВАННОЙ АЛЬГИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ.....	167
А. Карилхан А. Турсынова ИЗУЧЕНИЕ СИНТЕЗА ИЗОПУЛЕГОЛА И МЕНТОЛА ИЗ МОНОТЕРПЕНОВОГО ЦИТРОНЕЛЛАЛЯ.....	186
А.А. Кудайбергел, А.К. Нурлыбекова, Ж. Женис, М.А. Дюсебаева ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИРОРАСТВОРИМОГО ЭКСТРАКТА ARTEMISIA TERRAE-ALBAE.....	195
М.Г. Мурзагалиева, Н.С. Ашимхан, А.О. Сапиева ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИРОДНЫМИ АДСОРБЕНТАМИ.....	204
Г.Ф. Сагитова, С.А. Сакибаева, Б.А. Сақыбаев, З.А. Емкулова, В.Ю. Морозова РАЗРАБОТКА УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ И НАПОЛНИТЕЛЕЙ.....	219

Б.С. Серикбаева, Р. Абжалов, А.В. Колесников, Ш.Т. Кошкарбаева, М.С. Сатаев ПРЯМОЕ ФОТОХИМИЧЕСКОЕ СЕРЕБРЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ.....	230
А.Т. Такибаева, О.В. Демец, А.А. Жорабек, А. Карилхан, Д.А. Ражабова СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ЛУПАНОВЫХ ТРИТЕРПЕНОИДОВ.....	244
Б.Р. Таусарова, М.Ш. Сулейменова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ.....	259
Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.Р. Рахметова ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ ТЕПЛОВЫХ УСТРОЙСТВ В ТЕХНОЛОГИИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ.....	271
РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ (к 90-летию со дня рождения).....	283

CONTENTS
PHYSICAL

Zh.S. Baiymbetova, N.A. Sandibaeva, E.A. Sklyarova, N.Zh. Akhmetova THE SECONDARY SCHOOL PHYSICS LEARNING MANAGEMENT SYSTEM (LMS): LITERATURE REVIEW.....	7
E.A. Dmitriyeva, A.E. Kemelbekova, Ye.S. Otunchi, A.K. Shongalova, A.G. Umirzakov ENHANCING PHOTSENSITIVE PROPERTIES OF WS ₂ NANOSHEETS VIA ALKYL SPACERS AT THE ATOMISTIC LEVEL.....	16
A.A. Zhadyranova, D.K. Anshokova MODIFIED EQUATION OF STATE OF A LOGARITHMICALLY VISCOUS FLUID WITH A POWER LAW.....	31
V.Yu. Kim, Ch.T. Omarov FIELD DEROTATOR FOR A TELESCOPE WITH ALTAZIMUTH MOUNT.....	50
A. Marasulov, I.I. Safarov, M.Kh. Teshayev, A.S. Tolep, G.A. Abdraimova PROPAGATION OF NON-STATIONARY WAVES IN A LAYERED VISCOELASTIC CYLINDER.....	63
M. Pakhomov, U. Zhapbasbayev, G. Ramazanova RSM MODEL FOR CALCULATING NON-ISOTHERMAL TURBULENT FLOW OF A VISCOPLASTIC FLUID IN A PIPE.....	79
K. Saurova, S. Nysanbaeva, N. Seidakhmet, G. Turlybekova, K. Astemesova SIMULATION MODELING OF ORBITAL MOTION DYNAMICS SPACE CAR.....	95
E.O. Shalenov, Ye.S. Seitkozhanov, M.M. Seisembayeva, K.N. Dzhumagulova COMPARATIVE ANALYSIS OF SANDWICH AND BACK-CONTACT PEROVSKITE SOLAR CELLS.....	109
L.I. Shestakova, R.R. Spassyyk DESTRUCTION OF COMETS BY THERMAL STRESSES.....	123
S.A. Shomshekova, M.A. Krugov, Ch.T. Omarov, Y.K. Aimuratov POPULARIZATION OF SCIENCE WITHIN ASTROHUB.....	139

CHEMISTRY

T.K. Jumadilov, G.T. Dyussebayeva, Zh.S. Mukataeva, J.V. Gražulevicius, I.S. Saparbekova FEATURES OF REMOTE INTERACTION BETWEEN HYDROGELS OF POLYMETHACRYLIC ACID AND POLY-2-METHYL-5-VINYLPYRIDINE.....	155
A. Kappasuly, D. Makhayeva, Zh. Kozhantayeva, G. Irmukhametova PREPARATION OF METHACRYLATED ALGINIC ACID FOR THE DEVELOPMENT OF OPHTHALMOLOGICAL DRUG DELIVERY SYSTEMS.....	167
A. Karilkhan, A. Tursynova STUDY OF THE SYNTHESIS OF ISOPULEGOL AND MENTHOL FROM MONOTERPENE CITRONELLAL.....	186
A.A. Kudaibergen, A.K. Nurlybekova, J. Jenis, M.A. Dyusebaeva CHEMICAL CONSTITUENTS OF LIPOSOLUBLE EXTRACT OF ARTEMISIA TERRAE-ALBAE.....	195
M.G. Murzagaliyeva, N.S. Ashimkhan, A.O. Sapieva INVESTIGATION OF COLLOID-CHEMICAL PROCESSES OF WASTERWATER TREATMENT WITH NATURAL ADSORBENTS.....	204
G.F. Sagitova, S.A. Sakibayeva, B.A. Sakybayev, Z.A. Emkulova, V.Yu. Morozova DEVELOPMENT OF SEALING RUBBERS BASED ON BUTADIENE-NITRILE RUBBERS AND FILLERS.....	219
B.S. Serikbayeva, R. Abzhalov, A.V. Kolesnikov, Sh.T. Koshkarbayeva, M.S. Satayev DIRECT PHOTOCHEMICAL SILVERATION OF POLYMERS.....	230

A.T. Takibayeva, O.V. Demets, A.A. Zhorabek, A. Karilkhan, D.A. Rajabova SYNTHESIS AND RESEARCH OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF LUPAN TRITERPENOIDS.....	244
B.R. Taussarova, M.Sh. Suleimenova, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova, L.M. Kalimoldina STUDY OF PROPERTIES OF CELLULOSE TEXTILE MATERIALS BASED ON COPPER NANOPARTICLES.....	259
B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.R. Rakhmetova PRELIMINARY TREATMENT OF THERMAL DEVICES' EMISSIONS IN DECARBONIZATION TECHNOLOGY.....	271
AKISHEV BAYAN RAKISHEVICH (on the 90th anniversary of birth)	283

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described 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 National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan 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 originality detection service Cross Check <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 National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan 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>

Подписано в печать 29.03.2024.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 1.