

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 Сезаре, 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 МАН 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 Искендерович, 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., Spassyuk 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

Алмасов 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., Калмаханова 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., Шаукарова 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., Айтуганова 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 $f(T, J)$ 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 H.T., 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 *Plantago Major*.....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), 89–104

<https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.407>

UDC: 538.94
IRSTI: 29.17.21

©Koshtybayev T.B.¹, Tatenov A.M.^{1*}, Aliyeva M.E.²,
Tugelbaeva G.T.¹, Zhanaliyeva G.Zh.¹, 2026.

¹Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan;

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan.

*E-mail: a.tatenov1@gmail.com

STUDY OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD BASED ON THERMODYNAMICS PRINCIPLES

Koshtybayev Talgat — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: koshtybayev70@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>;

Tatenov Adambek — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.tatenov1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>;

Aliyeva Moldir — Master of sciences, Senior lecturer, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: moldir-2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>;

Tugelbaeva Gulnazia — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: tugelbaevagul5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0245-7584>;

Zhanaliyeva Gulzhaina — Master of Pedagogical Sciences, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: zhavliyeva.11@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4554-7604>.

Abstract. Analyzing the possibilities and disadvantages of Maxwell's equations for the electromagnetic field with respect to energy, the range of these equations has been expanded through research based on thermodynamic principles. According to the idea of applying the equivalence principle for heat and work to nonequilibrium systems, energy transformations in a closed current-carrying system have been theoretically investigated using an energy-dynamic approach called the power theory of real processes. From this point of view, which does not require reasons for changing the parameters characterizing the system, the conversion of all types of energy into useful energy during non-stationary processes is proved. In the section "research methods" of the article, the possibilities and relevance of energy dynamics are comprehensively disclosed and the conditions of its correlation with the topic of the article are analyzed.

Without the help of a single electromagnetic field equation using energy dynamics, Maxwell's electrodynamics was supplemented by six different works performed by charge and current in a current-carrying system. In order to reveal the thermodynamic properties of the electromagnetic field, the energy accumulated in a single volume of a stationary system in external electric and magnetic fields was considered through energy-dynamic relations. When the energies of the electric and magnetic fields are converted into each other, a balance is restored between the energy power, which does not change the energy and entropy of the system. Using this circumstance, the expressions of electromotive and magnetomotive forces are derived. In theoretical studies, Joule losses under electrical conductivity conditions were not taken into account, while it was assumed that the balance between capacities was performed for all individual parts of the system. Without these conditions, the transition to differential equations would not have been possible. In contrast to Maxwell's equations, the resulting equations, as in the main equation of energy dynamics, provide for the full derivatives of vector quantities with respect to time.

Keywords: electromagnetic field, energy dynamics, Maxwell's equations, current-carrying system, electric and magnetic energy, heat and work, conservation law, conduction current, charge

For citations: Koshtybayev T.B., Tatenov A.M., Aliyeva M.E., Tugelbaeva G.T., Zhanaliyeva G.Zh. Study of the Electromagnetic Field Based on Thermodynamics Principles. Academic Journal of Physical and Chemical Sciences. 2026. No.1. Pp. 89–104. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1483.407>

©**Коштыбаев Т.Б.¹, Татенов А.М.^{1*}, Алиева М.Е.²,
Тугелбаева Г.Т.¹, Жаналиева Г.Ж.¹, 2026.**

¹Қазақ ұлттық педагогикалық қыздар университеті, Алматы, Қазақстан;

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.

*E-mail: a.tatenov1@gmail.com

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨРІСТІ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ БАСТАМАЛАР ТҮРҒЫСЫНДА ЗЕРТТЕУ

Қоштыбаев Талғат — физика–математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: koshtybayev70@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>;

Татенов Адамбек — физика–математика ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.tatenov1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>;

Алиева Мөлдір — жаратылыстану ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: moldir-2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>;

Тугелбаева Гүлназия — химия ғылымдарының кандидаты, доцент, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,

E-mail: tugelbaevagul5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0245-7584>;



Жаналиева Гулжайна — педагогика ғылымдарының магистрі, оқытушы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,
E-mail: zhavliyeva.11@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4554-7604>.

Аннотация. Максвеллдің электромагниттік өріске арналған теңдеулерінің мүмкіндіктері мен энергияға қатысты кемшілік тұстарына талдау жасай отырып, бұл теңдеулердің ауқымы термодинамикалық бастамаларға негізделген зерттеулер арқылы кеңейтілді. Жылу мен жұмысқа арналған эквиваленттілік принципін тепе-теңсіздік жүйелерге қолдану идеясына сәйкес нақтылы процестердің қуаттылық теориясы деп аталатын энергодинамикалық көзқарас арқылы ток тасымалданатын тұйық жүйедегі энергия түрленулері теориялық тұрғыда зерттелді. Жүйені сипаттайтын параметрлердің өзгеру себептерін қажет етпейтін бұл көзқарас бойынша стационарлы емес процестер кезіндегі энергияның барлық түрінің пайдалы энергияға түрленуі дәлелденді. Мақаланың зерттеу әдістері бөлімінде энергодинамиканың мүмкіндіктері мен өзектілігі жан-жақты ашылып көрсетілді және оның мақала тақырыбына қатыстылық шарттары сараланды. Энергодинамиканы қолданып электромагниттік өрістің бірде бір теңдеуінің көмегенсіз Максвеллдің электродинамикасы тоғы бар жүйедегі заряд пен тоқтың атқаратын алты түрлі жұмыстарымен толықтырылды. Электромагниттік өрістің термодинамикалық қасиеттерін ашу мақсатында сыртқы электр және магнит өрістеріндегі қозғалмай тұрған жүйенің бірлік көлемінде жинақталған энергия энергодинамикалық қатынас арқылы қарастырылды. Электр және магнит өрістерінің энергиялары бір-біріне түрленген кезде жүйенің энергиясы мен энтропиясын өзгертпейтін энергия қуаттарының арасында баланс бойынша электр қозғаушы күш пен магниттік қозғаушы күштердің өрнектері шығарылып көрсетілді. Теориялық зерттеулер кезінде электрөткізгіштік жағдайындағы джоульдік шығындар ескерілген жоқ, сонымен бірге қуаттар арасындағы баланс жүйенің барлық жекелеген бөліктері үшін орындалады деп есептелді. Аталған шарттарсыз дифференциалдық түрдегі теңдеулерге өту мүмкін болмай қалар еді. Энергодинамиканың негізгі теңдеуіндегі секілді алынған теңдеулердің Максвелл теңдеулерінен айырмашылығы бұларда векторлық шамалардың уақыт бойынша толық туындылары қарастырылған.

Түйін сөздер: электромагниттік өріс, энергодинамика, Максвелл теңдеулері, ток тасымалданатын жүйе, электр және магниттік энергия, жылу және жұмыс, сақталу заңы, өткізгіштік ток, заряд

©Коштыбаев Т.Б.¹, Татенов А.М.^{1*}, Алиева М.Е.²,
Тугелбаева Г.Т.¹, Жаналиева Г.Ж.¹, 2026.

¹Казахский национальный женский педагогический университет,
Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан.

*E-mail: a.tatenov1@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ

Коштыбаев Талгат — кандидат физико–математических наук, доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,
E-mail: koshtybayev70@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-7344-6801>;

Татенов Адамбек — кандидат физико–математических наук, доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,
E-mail: a.tatenov1@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4767-5788>;

Алиева Молдир — магистр естественных наук, старший преподаватель, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан,
E-mail: moldir-2008@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0440-6211>;

Тугелбаева Гүлназия — кандидат химических наук, доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,
E-mail: tugelbaevagul5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0245-7584>;

Жаналиева Гулжайна — магистр педагогических наук, преподаватель, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,
E-mail: zhavliyeva.11@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4554-7604>.

Аннотация. Анализируя возможности и ограничения уравнений Максвелла для описания электромагнитного поля с точки зрения энергетических процессов, авторы расширяют область их интерпретации за счет исследований, основанных на термодинамических принципах. Исходя из идеи применения принципа эквивалентности тепла и работы к неравновесным системам, преобразования энергии в замкнутой токнесущей системе были теоретически исследованы с использованием энергодинамического подхода, известного как теория мощности реальных процессов. С этих позиций, не требующих установления причин изменения параметров, характеризующих систему, показана возможность преобразования различных видов энергии в полезную энергию при нестационарных процессах. В разделе «Методы исследования» всесторонне раскрываются возможности и актуальность энергодинамики, а также анализируются условия ее соотнесения с тематикой статьи. Без привлечения уравнений электромагнитного поля и с использованием аппарата энергодинамики классическая электродинамика Максвелла была дополнена шестью видами работы, совершаемыми зарядом и током в токнесущей системе. С целью выявления термодинамических свойств электромагнитного поля энергия, накопленная в единичном объеме неподвижной системы во внешних электрическом и магнитном полях, рассматривалась на основе энергодинамических соотношений. Показано,

что при взаимном преобразовании энергий электрического и магнитного полей между соответствующими мощностями устанавливается баланс, не изменяющий полную энергию и энтропию системы. На основе этого выведены выражения для электродвижущей и магнитодвижущей сил. В теоретическом анализе джоулевы потери в условиях электропроводности не учитывались; при этом предполагалось, что баланс мощностей выполняется для всех отдельных частей системы. Без указанных допущений переход к уравнениям в дифференциальной форме был бы невозможен. В отличие от уравнений Максвелла, в полученных уравнениях, подобно основному уравнению энергодинамики, предусмотрены полные производные векторных величин по времени.

Ключевые слова: электромагнитное поле, энергодинамика, уравнения Максвелла, токнесущая система, электрическая и магнитная энергия, тепло и работа, закон сохранения, ток проводимости, заряд

Кіріспе. Максвеллдің электромагнетизм үшін жазылған теңдеулерінің қорытылып шығарылуы кезінде кейбір теориялық заңдылықтар мен математикалық түрлендірулерге қатысты төмендегідей жағдайлардың орын алғандығына тоқталып өтпекпіз:

– электр зарядына арналған Гаусс заңы, токтардан пайда болатын магнит өрісіне арналған Ампер заңы мен Фарадейдің электромагниттік индукция заңы біртұтас математикалық теңдеулер жүйесіне біріктірілген болатын;

– электр және магнит өрістерінің өзгерістерін байланыстыратын, электромагниттік толқын мен жарық жылдамдығын болжай алатын ығысу тогы атты ұғым енгізілген еді;

– зарядтың симметриялылық және сақталу заңдары негізге алынған болатын.

Максвелл теңдеулерінде электродинамиканың барлық түсініктері қамтылған және оларды негізгі деп саналатын принциптерді (бастамаларды) қолдана отырып қорытып шығаруға болмайды деген пікір қалыптасып қалғандығын атап өтуіміз керек. Алайда, бұл теңдеулер қайтымсыз процестердің термодинамикасын энергияны пайдалы бағытқа түрлендіретін процестердің термодинамикасына айналдыратын энергодинамиканың салдары екендігін дәлелдеуге болады. Басқаша айтсақ, Максвелл теңдеулерін электрлік және магниттік тұйық контурлардағы энергия түрленулерін сипаттаушы аппарат ретінде қолдану тиімді.

Максвелл құбылыстарды көрнекілік модельдер арқылы зерттеуден бас тартып, оларды математикалық тұрғыда қарастыруды ұсынды. Оның жасаған теориясында өрістер материялық ортаның қасиеттерін иеленді де, материяны өріс пен затқа ретінде қарау мүмкіндігі пайда болды (Ландау et.al., 2012:242; Muhammad Abdullah and others 2025). Максвелл теңдеулерінің шешімдері—электромагниттік толқын, ал электромагниттік толқынның электрлік (\vec{E}) және магниттік (\vec{H}) құраушылары өзара синфазалы түрде тербелетіндігін М. Фарадей тәжірибе жүзіндегі анықтаған болатын. Бірақ, оның бұл жаңалығы электромагниттік өріс энергиясының $W = \frac{\epsilon_0 \vec{E}^2}{2} + \frac{\mu_0 \vec{H}^2}{2}$ түрдегі сақталу заңына қайшы келді, себебі

электромагниттік өріс өзін пайда етуші көзбен энергия алмасқанда ғана мұндай синфазалы тербелісті жүзеге асыруға болады. Ал, Максвелл көзден жырақта орналасқан жерлерде де өрістің өмір сүре алатындығын және ол абсолют бос кеңістікте де толқын түрінде тарала алатындығын постулат түрінде көрсетті. Электромагниттік өріс теориясы электромагнетизмді жарықпен ұштастыра білді, бұл М. Фарадейдің өмір бойғы арманы еді. Десек те, Максвелл теңдеулері мен постулаттарына негізделген электромагнетизм теориясы мынадай мәселелерге (сұрақтарға) қанағаттанарлық жауаптар таба алмады:

– электр заряды деген не және оның тарту, тебу күштерінің табиғаты қандай?

– ығысу тогының өткізгіштік токтан физикалық тұрғыдағы айырмашылықтары қандай?

– Максвеллдің дәуірінде электродинамикалық энергия магниттік энергия деп аталған болса, ал 1820 жылы Ампер заттағы молекулалық энергиялардың болатындығын дәлелдеген болса, онда құйынды электр өрісінің табиғатын қалай түсіндіруге болады?

Максвелл теориясында көптеген құбылыстар мағыналары осы кезге дейін толықтай ашылмаған *векторлық магниттік потенциал* мен *ығысу тогы* арқылы түсіндірілді. Бұл теорияда магнит өрісі жұмыс атқармайды, себебі өріс күштері токқа нормаль бойымен бағытталған. Сонымен бірге, Максвелл теориясы Ньютонның 3–ші заңына қайшы, өйткені теорияда қиылысатын токтардың да өзара әсерлесулері ескерілген. Максвелл ұсынған электромагниттік өрістің толқындық теңдеулері Галилей түрлендірулерімен сәйкес келмейді, осы себептен Ньютон механикасынан түбегейлі бас тартып, кванттық механика мен салыстырмалылық теориясына ауысуға тура келді. Соңғы екі теорияны біріктіру бағытындағы зерттеулер сәтсіз аяқталып жатқандығы белгілі. Бұл жағдайды тұтастай теориялық физиканың дамуындағы тоқырау десек те болады.

Жылу мен жұмысқа арналған эквиваленттілік принципін тепе-теңсіздік жүйелерге қолданатын болсақ, онда біз өзара әсерлесетін және салыстырмалы түрдегі қозғалыстар жасайтын денелер күйлерінің функциясы болып табылатын толық энергияның сақталу заңын алатын боламыз. Мұндай тұйық жүйенің барлық түрдегі энергияларына бір сөзбен ішкі энергия деп қарауға болады. Бұл жағдай энергияны сыртқы және ішкі деп бөлуге болмайтындығын растайды. Энергодинамика тұрғысынан қарағанда жүйенің энергиясы деген тұтас бір жалғыз ғана ұғым болуы тиіс, мұның қасында толық, сыртқы, ішкі, меншікті энергия дегендер артық (қажетсіз) болып қалады. Энергодинамикаға нақтылы процестердің қуаттылық теориясы деп қарауға болады (гректің *enérgeia*–әсер; *dynamicos*–күш) және ол–нақтылы, стационарлы емес (динамикалық) жүйелердегі барлық түрдегі энергияның берілуі мен түрленуіне қатысты табиғи және технологиялық процестерді біртұтас теория шеңберінде қарастыратын классикалық термодинамиканың ұлғайған бейнесі. Сондықтан да, оны қайтымды және қайтымсыз процестерге қолдана беруге болады және ол жүйені сипаттайтын параметрлердің өзгеру себептерін қажет етпейді (Sindelka M. et.al., 2010:180; Barbas A., et.al., 2015:192).

Мақалада энергияның тасымалдану және түрлену теорияларының бірлестігі түріндегі энергодинамика принциптерінің электродинамикалық құбылыстарға қатысты тұстары бағаланды. Энергодинамиканың классикалық термодинамика, электродинамика және т.с.с алдыңғы кезеңдерде өмір сүрген басқа да теориялардан басты артықшылықтары мыналар:

– энергодинамика электродинмиканың негізгі заңдары мен теңдеулерін дедуктивті жолмен шығарып бере алады;

– энергодинамика классикалық термодинамикадағы паралогизмдер мен шектеулерді жояды;

– энергодинамика жалпылама координаталар мен күштер арқылы кез–келген жүйелер мен электромагниттік өрістерге арналған энергияның тасымалдану принциптерін жасап бере алады.

– энергодинамика электр және магнит өрістерін энергия мен импульстің сақталу заңдары бойынша байланыстыра отырып Максвеллдің электродинамикасына альтернативті көзқарастармен қарайды;

– энергодинамикада күштер жүйе энергиясынан жалпылымы координаталар бойынша алынған туындығы тең деп есептеледі, бұл жағдай электромагниттік әсерлесулерді қайтымсыз процестердің термодинамикасы шеңберінде қарастыруға мүмкіндік береді;

– энергодинамикада термодинамиканың электромагниттік өрістері бар жүйелерге экстрополяциялауға қатысты туындаған мәселелер энергия мен импульстің сақталу заңдары аясында түбегейлі шешіледі;

– энергодинамика жағдайында электродинмиканы дербес жағдай деп қарастыруға болады.

– бастапқыда жылулық машиналарға ғана арналған термодинамикамен салыстырғанда энергодинамика энергияның барлық түрлеріне бірыңғай математикалық аппарат қолданады.

– классикалық термодинамика тек тепе–теңділік күйлермен ғана жұмыс жасайды, ал энергодинамика болса потенциалдар градиентін жүйенің басты қозғаушы күштері деп санай отырып тепе–теңсіз процестерді тікелей сипаттап бере алады;

– энергодинамикада бір–біріне алыстау сипаттағы көптеген шамалардың орнына экстенсивті параметр (заряд) мен оған сәйкес келетін интенсивті параметр (потенциал) енгізілген, бұл барлық түрдегі энергияның таралуын біртұтас ағындық логика арқылы іске асырады.

– дәстүрлі теорияларда көптеген процестер скаляр түрде сипатталады, ал энергодинамикада энергияның көлемдерде таралуы кезінде кеңістіктік бағдар ескеріледі. Бұл жағдай нақты техникалық қондырғыларды модельдеу үшін маңызды шарт болып табылады.

Энергодинамика кеңістікті біртекті орталардағы энергияның түрленулерін энергияның сақталу заңы тұрғысында зерттеуге негізделген немесе стационарлы емес процестер кезіндегі энергияның барлық түрінің пайдалы энергияға түрленуін қарастырады. Олай болса, оны электромагниттік құбылыстар кезіндегі

энергияның түрленуін сандық және сапалық тұрғыда сипаттау мақсатында да пайдалансақ болады.

Ұсынылып отырған осы мақалада Максвелл теңдеулерін тепе–теңсіздік процестер термодинамикасының принциптері негізінде жаза отырып, электр және магнит энергияларының бір–біріне айналуы (түрленуі) энергодинамикалық әдіс бойынша түсіндірілетін болады.

Зерттеу материалдары. Энергодинамиканың зерттеу материалдарына теориялық негіздемелер, яғни термодинамика бастамалары, энергияның сақталу және айналы заңдары, материяның микроскоптық қасиеттері және энергия көздері туралы мәліметтер, энергияны түрлендіру мен таратудың қазіргі заманғы әдістері жатады. Энергодинамиканы электродинамикада қолдану энергияны түрлендіру, тарату және сақтау (токтың жұмысы, қуат, электромагниттік өріс) мен олардың электрлік және магниттік құбылыстармен байланыстары, электромагниттік сәулелерді шығару мен олардың затпен әсерлесулеріне қатысты теориялық зерттеулерді қамтиды. Бұл жерде, негізгі материалдарға Пойнтинг теоремасы, Джоуль–Ленц заңы, электромагниттік индукция мен қайтымсыз процестердің термодинамикасы жатады.

Зерттеу әдістері. Осыған дейін күйлердің тізбектелген өзгерісі болып келген «процесс» ұғымына ендігі жерде зерттеу нысанының микроскоптық қасиеттерінің кез–келген кеңістікті–уақытты өзгерістері деп қарауымызға тура келеді. Осылайша «процесс» ұғымына жүйедегі әрқилы әсерлесулердің кеңістіктегі тасымалымен байланысты болатын күй өзгерістері қатысады. Олай болса, стационарлық процесс деп зерттеу нысанымен бірге қозғалатын санақ жүйесіндегі күйлердің тізбектелген өзгерістерін айтуға болады. Нақтылы процестерге көшкен кезде термодинамиканың зерттеу нысанының өзгерістерін ескерген жөн. Классикалық термодинамика температура, қысым, химиялық және электрлік потенциалдары секілді параметрлері жүйенің барлық нүктелерінде біркәнді болатын ішкі тепе–теңдікті (кеңістікті біртекті) жүйелерді қарастырумен ғана шектеледі (Sachhin S. M. and others 2025). Мұндай параметрлердің өзгерістерінің нәтижесінде термодинамиканың теңдеулері теңсіздіктерге айналып жатады. Энергодинамикада зерттеу нысаны ретінде кеңістікті біртексіз жүйелер алынған және олардың өлшемі (көлемі) ондағы біртексіздіктің ауқымына байланысты, сондықтан да энергодинамика наноәлем мен мегаәлем аралығындағы материялық нысандарды қарастыруға қауқарлы. Мұндай зерттеу нысандары ретінде әсерлесуші денелердің тұйықталған жүйелері мен кеңістіктік біртексіз жүйелерді қарастыра аламыз. Жаратылыстың заманауи бет–бейнесі міне осындай. Классикалық термодинамикадағы қоршаған ортаны қосқандағы ұлғайған жүйе дегеніміз энергодинамикада зерттелініп жатқан жүйенің бір бөлігі ғана болып табылады, яғни энергодинамика әсерлесуші денелер мен бөлшектерді біртұтас тепе–теңсіз нысан түрінде қарастырады. Осы тұрғыдан алғанда оның зерттеу әдістері механика, гидродинамика және электродинамика секілді өрістік теорияларға қайшы келеді. Өзіміз білетіндей, аталған теориялар жеке–даралық пен тепе–теңділік болжамдар бойынша жүйені шексіз тепе–тең элементтер жиынына бөліп тастайды да,

жүйенің қасиеттерін осы бөліктердің қасиеттерін жинақтау (интегралдау) арқылы анықтайды. Бірақ, бұл тәсіл барлық жағдайда оң нәтиже бере бермейді. Оңтайлы нәтижелерге энергодинамикада қосымша параметрлер енгізу, материяның өрістік және корпускулалық пішіндерінің кеңістіктік біртектілігін ескеру арқылы және макрожүйелерді термодинамикалық бастамалар мен статистикалық әдістер арқылы зерттеу бойынша қол жеткізуге болады.

Нәтижелер. *Тоғы бар жүйедегі электростатикалық және электродинамикалық жұмыстар.* Әдетте, Лоренц күші токқа перпендикуляр болғандықтан, магнит өрісі жұмыс атқармайды деп есептейміз. Алайда, электромагниттік күштердің айналдырушы моменттері ескерілмегендіктен, аталған пікір қате болып табылады. Керісінше, әрбір энергия тасымалдағыш үш түрлі элементар жұмыстарды атқара алады. Тоғы бар жүйеде мұндай энергия тасығыштарға 6 түрлі жұмыс атқаратын заряд (q) пен токты (\vec{j}_e) жатқызамыз. Жүйе энергиясының W_e электрлік құраушысы тек q заряд арқылы ғана емес, сонымен бірге дипольдік \vec{D} момент пен электрлік $\vec{\varphi}_e$ векторлық потенциалдымен де сипатталады, яғни $W_e = W_e(q, \vec{D}, \vec{\varphi}_e)$. Оның толық дифференциалы

$$dW_e = \varphi dq + \vec{E} d\vec{D} + \vec{M}_e d\vec{\varphi}_e \quad (1)$$

Мұндағы $\varphi = \frac{\partial W_e}{\partial q}$ – скаляр (электрлік) потенциал; $\vec{E} = \frac{\partial W_e}{\partial \vec{D}}$ және $\vec{M}_e = \frac{\partial W_e}{\partial \vec{\varphi}_e}$ – электростатикалық өрістің кернеулігі мен оның моменті, соңғысы дипольдерді өріс бағытында ұстау қызметін атқарады. Осы өрнекке сәйкес, тоғы бар жүйе үш түрлі dA_{e_1} элементар жұмыстарды атқара алады. Оның біріншісі dA_{e_1} , ол жүйенің потенциалы φ -ге тең аймағына бір аймағына q зарядты енгізу жұмысы

деп аталады: $dA_{e_1} = \varphi dq$. (1)–тендіктің оң жағындағы екінші мүше жүйедегі зарядтың таралып орналасуы кезінде бір жерде артық зарядтың пайда болып, ал бір жерлерде зарядтың жетіспеуі салдарынан пайда болатын полярлану жұмысы немесе потенциалы φ -ге тең біртекті өрістегі q зарядтың орын ауыстыруы кезінде атқарылатын жұмыс болып табылады: $dA_{e_2} = \vec{E} d\vec{D} = -qd\varphi$. Конденсаторлар мен аккумуляторларды зарядтау процесі кезінде осындай жұмыс атқарылады және осы кезде пайда болған токтың әсерін ескермесе де болады. (1)–тендіктегі үшінші мүше тосын күштердің атқаратын жұмысын (магниттелу жұмысы) білдіреді: $dA_{e_3} = \vec{M}_e d\vec{\varphi}_e$. Мұндай жұмыс айналмалы электростатикалық генераторларда немесе айналмалы электр өрісі бар электростатикалық қозғалтқыштарда атқарылады (Petrov . al., 2010: 25; Markel V., al., 2012:95).

Енді, зарядтардың реттелген қозалысына негізделген жүйені қарастырамыз, егер де жүйедегі $\vec{j}_e = q\vec{v}_e$ токтың $\vec{\lambda}_e = \frac{d\vec{j}_e}{dV}$ тығыздығы әрбір кимада немесе жүйенің барлық көлемінде біркелкі таралмаған болса, онда бұл жағдайда да \vec{Z}_v

таралу моменті пайда болады және $\nabla \vec{Z}_v = \vec{\lambda}_j$. Бұл жағдай магнит өрісінің де көзі болатындығын білдіреді, яғни электр өрісі еркін немесе байланысқан зарядтардан пайда болса, ал кез-келген тұйықталған немесе тұйықталмаған токтар магнит өрісінің көзі болып табылады. Молекулалық токтар құйынды магнит өрісінің көзі ретінде қарастырылады.

Жүйе энергиясының W_i магниттік құраушысы да (1) секілді тек $\vec{J}_e = q\vec{v}_e$ токпен ғана емес, сонымен бірге өзара тәуелсіз қосымша параметрлер мен де сипатталатын

болады. Оның толық дифференциалы $dW_i = \vec{\psi}_i \cdot d\vec{j}_e + \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i + \vec{M}_i \cdot d\vec{\phi}_i$. Мұндағы

$\vec{\psi}_i$ –векторлық магниттік потенциал; \vec{F}_i –бойлық магнит өрісінің әсері; \vec{M}_i –құйынды магнит өрісінің айналдырушы моменті. Олай болса, тогы бар электродинамикалық (магниттік) энергиясы бар жүйеде де үш түрлі жұмыс атқарылады екен. Оның біріншісі жүйедегі токтың пайда болуымен байланысты:

$dA_{m_1} = \vec{v}_e \cdot d\vec{j}_e$. Ал екіншісі токтың жүйе көлемінде қайта таралуымен (магниттік

полярилануға) байланысты және оны табиғаты магниттік болып келген $\vec{F}_i = Q\vec{X}_m$ әсерлер атқарады: $dA_{m_2} = \vec{H}d\vec{B}$, мұндағы $\vec{X}_m = (\nabla \vec{v}_e)^2$. Үшінші жұмысты

Лоренц күшінің \vec{M}_i моменті атқарады: $dA_{m_3} = \vec{M} \cdot d\vec{\phi}$. Байқап отырғанымыздай, энергодинамика Максвеллдің электродинамикасын электромагниттік өрістің бірде бір теңдеуінің көмегенсіз алты жұмыспен толықтырып отыр (Макаров. 2022:102).

Электромагниттік өрістің термодинамикалық қасиеттері. Сыртқы электр (\vec{E}) және магнит (\vec{H}) өрістерінде қозғалмай тұрған жүйенің бірлік көлемінде жинақталған U энергияны электр (\vec{D}) және магнит (\vec{B}) индукциясы векторларына

тәуелді функция түрінде қарастырсақ болады, яғни $U = U(\vec{D}(\vec{E}), \vec{B}(\vec{H}))$. Осы аталған шамалардың арасындағы байланыстарды анықтайтын энергодинамикалық қатынастың түрі мынадай болады:

$$dU = \vec{E}d\vec{D} + \vec{H}d\vec{B} \quad (2)$$

Оң жақтағы бірінші мүше ((1)–гі екінші мүше) $dA_{e_2} = -\vec{E}d\vec{D} - qd\phi$ –полярилану жұмысы, ал екінші мүше $dA_{m_2} = \vec{H}d\vec{B}$ –магниттелу жұмысы. Жүйеде қуаттары

$$P_m = \frac{\dot{u}}{dt}, \quad P_e = \frac{\dot{u}}{dt} \quad (3)$$

қатынастар бойынша анықталатын электр және магнит өрістерінің энергиялары өзара түрленген кездегі жүйенің энергиясы мен энтропиясын өзгермейтін болса, онда энергия қуаттарының арасында $P_e = -P_m$ түрдегі тепе-теңділігі орнайтын болады. Бұл жағдайдың математикалық берілісі төмендегідей:

$$\vec{E} \frac{d\vec{D}}{dt} = -\vec{H} \frac{d\vec{B}}{dt} \quad (4)$$

Өртүрлі S_e кимадан құралған ұзындығы L_e тұйық электрлік контур мен біртексіз S_m кимадан тұратын ұзындығы L_m тұйық магнитті өткізгіштен тұратын жүйе үшін (3)–тендік интегралдық түрде жазылатын болады:

$$P_e = \vec{E} \frac{d\vec{D}}{dt} dV_e, \quad P_m = \int \vec{H} \frac{d\vec{B}}{dt} dV_m \quad (5)$$

Мұндағы $dV_i = dL dS$ және $dV_i = dL dS$ – көлем элементтері; dL , dL_m және dS_m , dS_m – электрлік контур мен магниттік өткізгіштің ұзындықтары мен қималарының векторлық элементтері (энергодинамика элементтері). Осы параметрлер арқылы (5)–ті қайта жазып өтейік:

$$P_m = \int \vec{H} d\vec{L}_m \int \frac{d\vec{B}}{dt} d\vec{S}_m = \varepsilon_m J_m \quad (6)$$

$$P_m = \int \vec{H} d\vec{L}_m \int \frac{d\vec{B}}{dt} d\vec{S}_m = \varepsilon_m J_m \quad (7)$$

Бұл өрнектерде

$$\dot{u}_m = \int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot \vec{u}_m, \quad \dot{u}_m = \int \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot \vec{u}_m \quad (8)$$

электр және магнит ығысулардың толық ағыны (контур мен өткізгіш қималарын тесіп өтетін күш сызықтарының саны), ал

$$\varepsilon_e = \int \vec{u}_e \cdot \vec{u}_e, \quad \varepsilon_m = \int \vec{u}_m \cdot \vec{u}_m$$

Жоғарыда келтірілген (6)–(8) өрнектер өте аз көлемдердегі өтіп жатқан процестердің жүйеге қатысты жиынтық үлесін анықтау мақсатындағы интегралдық бейнеде берілуі деп қабылдау керек. \vec{E} және \vec{H} векторларының контур мен өткізгішті бойлай жасайтын циркуляциялары бойынша анықталатын электр қозғаушы күш (ЭҚК) пен магнит қозғаушы күш (МҚК). (8)–ді басқаша жазамыз:

$$J_e = Y_{ee} \varepsilon_e + Y_{em} \varepsilon_m, \quad (9)$$

$$J_m = Y_{me} \varepsilon_e + Y_{mm} \varepsilon_m \quad (10)$$

Бұл өрнектердегі $Y_{ee}\varepsilon_e$ және $Y_{mm}\varepsilon_m$ диагоналды мүшелер өткізгіштік ток ($I_e = Y_{ee}\varepsilon_e$) пен оның әзірге беймәлім ұқсастығы болып табылатын магниттік токты ($I_m = Y_{mm}\varepsilon_m$) сипаттайды. Ал,

$Y_{em}\varepsilon_m$ және $Y_{me}\varepsilon_e$ мүшелер электр энергиясының магниттік энергияға және керісінше айналуларды (түрленулерді) сипаттайды. Олай болса, осы айтылған жағдайларды ескере отырып, (6) мен (7) теңдіктерді қарапайым түрлерге келтіруге болады:

$$\frac{J_e}{\varepsilon_m} = -\frac{J_m}{\varepsilon_e} \quad (11)$$

Осы қатынасты (9) және (10)–мен салыстырсақ, онда (11)–дің сол жақ бөлігі Y_{em} коэффициентін, ал оң жақ бөлігі Y_{me} коэффициентін анықтап береді, яғни

$$Y_{em} = -Y_{me} \quad (12)$$

Бұл коэффициенттердің шамасы мен өлшемдері бірліктер жүйесін таңдап алуға байланысты. СИ жүйесінде $Y_{em} = -Y_{me} = 1$, сондықтан да (12)–нің орнына төмендегі теңдіктер қолданылатын болады:

$$\varepsilon_e = -\int \frac{d\vec{B}}{dt} d\vec{S}_m, \quad (13)$$

$$\varepsilon_m = \int \frac{d\vec{D}}{dt} d\vec{S}_e \quad (14)$$

(13)–өрнек Фарадей заңына сәйкес келеді: ЭҚК магниттік ағынға шама жағынан тең де, бағыт жағынан қарама–қарсы. (13) пен (14)–ті түрлендіріп жазайық:

$$\int \text{rot} \vec{E} d\vec{S}_m = -\int \frac{d\vec{B}}{dt} d\vec{S}_m$$

$$\int \text{rot} \vec{H} d\vec{S}_e = \int \frac{d\vec{D}}{dt} d\vec{S}_e$$

Бұл өрнектердің дифференциалдық формасы

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt} \quad (15)$$

$$\operatorname{rot}\vec{H} = \frac{d\vec{D}}{dt} \quad (16)$$

Бұл теңдеулердің Максвелл теңдеулерінен айырмашылығы бұларда векторлық шамалардың уақыт бойынша толық туындылары қарастырылған және энергодинамиканың (2)–түрдегі негізгі теңдеуінде де солай. Шын мәнісінде, Максвеллдің өзі де алғашында ЭҚК–ті магнит ағынының (Φ) уақыт бойынша

$\frac{d\Phi}{dt}$

толық дифференциалы түрінде анықтаған болатын. Егер, жүйеде полярлану және магниттелу процестері жоқ деп санайтын болсақ, онда (15) және (16) теңдеулер мынадай түрлерде жазылады:

$$\frac{d\vec{B}}{dt} = \frac{\partial\vec{B}}{\partial t}, \quad \frac{d\vec{D}}{dt} = \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} + \vec{J}_e$$

Мұндағы $\vec{J}_e = \rho_e \vec{v}_e$ – еркін зарядтардың тасымалына негізделген өткізгіш токтың тығыздығы. Магниттік зарядтардың болмайтынын ескерсек, онда Максвелл теңдеулері мынадай болып жазылады:

$$\operatorname{rot}\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}, \quad \operatorname{rot}\vec{H} = \vec{J}_e + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t}, \quad \operatorname{div}\vec{D} = \rho_e, \quad \operatorname{div}\vec{B} = 0$$

(13) және (14) теңдеулерге сәйкес, ЭҚК пен МҚК тұйық электрлік және магниттік тізбектер үшін ғана дұрыс болып табылады, олай болса, Максвелл теңдеулері тұйықталмаған токтар мен ток элементтері үшін орындалмайды. Бұны Максвеллдің өзі айтып кеткен болатын. Сонымен бірге, (13) пен (14) көрсетілген электр және магнит индукцияларының ағындары біртекті сипат алады, олай болса қуаттар арасындағы баланс жүйенің әрбір жекелеген аймақтарында сақталатын болады.

Талқылау. Мақалада жүргізілген барлық теориялық есептеулер кезінде жүйедегі процестер қайтымды деп алынды және де бұл жағдайға Максвелл теңдеулерінде қосымша диссипативтік мүшелердің жоқты дәлел бола алады. Шынында да, (13) пен (14) өрнектеріндегі ЭҚК пен МҚК электр және магниттік индукциялардың ғана өзгерістерінен пайда болмайды, сонымен бірге оларға энергия тасымалдағыштар (электрлік және магниттік зарядтар) ағынының болу да себеп бола алады. Бұл жерде ағындардың пайда болу жағдайлары маңызды емес: ағындар жүйедегі зарядтардың қайта таралуынан пайда болды ма, жоқ әлде олар

жүйенің өзіндік қозғалыстарының салдары ма, бәрібір. Бір ғана жағдай ақиқат:

$\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}$ ағыны өзгермейтін жерлерде ЭҚК пайда болады да, өзгертін жерлерде пайда болмайды. Бұл жағдай (13)–(16) қатынастармен расталған. Шындығында, ағындар мен индукция векторларының өзгерістері толық дифференциалдар арқылы көрсетілуі энергодинамикалық көзқарасқа сәйкес бүкіл тұйық жүйе ауқымындағы процестердің қамтылатындығын айғақтайды. Максвелл теңдеулерінің термодинамикалық тұрғыдағы маңыздылығы да дәл осы тәсіл бойынша анық байқалады.

Қорытынды. Максвелл теңдеулері тепе–теңсіздік процестер термодинамикасының принциптеріне сәйкес электр және магнит энергияларының бір–біріне айналуы (түрленуі) сипатында қарастырылды. Энергияның сақталу заңын ток тасымалданатын жүйедегі әсерлердің атқаратын жұмыстары, түрленетін энергиялардың қуаттарының өзара балансы арқылы өрнектелді. ЭҚК пен МҚК пайда болу жығдайлары интегралдық және дифференциалдық өрнектер мен энергодинамикалық әдіс бойынша зерттелді. Теориялық зерттеулеріміз кезінде электрөткізгіштік жағдайындағы джоульдік шығындар ескерілген жоқ, сонымен бірге қуаттар арасындағы баланс жүйенің барлық жекелеген бөліктері үшін орындалады деген болжам жасалды, онсыз дифференциалдық түрдегі теңдеулерге ету мүмкін болмай қалар еді.

Осы келтірілген теориялық нәтижелер мен принциптердің өндірістік, инженерлік және басқа да салалардағы қолданысына тоқталып өтейік. Энергодинамиканы еркіндік дәрежелері шектелмеген жүйелердегі тасымалдану процестеріне және жылулық, механикалық, электрлік, химиялық энергиялардың өзара түрленуіне талдаулар (бағалаулар) жасайтын жалпылама теория ретінде қолдануға болады. Ол термодинамикалық тәсілдер арқылы жылулық емес машиналардағы процестерді модельдік көзқарастар мен статистикалық болжамдарды қажет етпей–ақ қарастыруға (сипаттауға) қауқарлы. Оны сонымен бірге техникалық термодинамика мен машина жасауда жылулық қозғалтқыштардың, салқындатқыш және энергия түрленіргіш қондырғылардың тиімділігіне баға беру үшін қолдануға болады. Материал тану саласында фазалық өтулер мен химиялық реакциялар кезіндегі процестерді зерттеуде, заттың ішкі құрылымының өзгеру себептерін анықтау барысында кеңінен қолданса болады.

Мақаланың мазмұны мен ондағы нәтижелер теориялық сипатта болғандықтан, оларды эксперименттік тұрғыда тексеру (сынақтау) мүмкіндіктерін алдағы (келешектегі) зерттеулеріміздің еншісіне қалдырып отырмыз десек те болады. Себебі, аталған жұмысты іске асыру үшін теориялық нәтижелерге сәйкес келетін тәжірибелік және сандық модельдер мен арнайы бағдарламалар жасау керек болады. Бұл тез арада іске аспасы анық. Сондықтан, аталған мәселе кезең–кезеңмен шешіліп, олардың нәтижелері осы секілді мақала түрінде жарияланатын болады деп сендіреміз. Бұл жұмыстар мақала тақырыбының ауқымын кеңейтіп қана қоймастан, ондағы нәтижелердің физикалық маңыздылығын айқындап беретіндігі ақиқат.

References

- Barbas A., Velarde P. (2015) Development of a Godunov Method for Maxwell's Equations with Adaptive Mesh Refinement. *Journal of Computational Physics*. – Vol. 300. – P. 188-201. DOI: 10.1016/j.jcp.2015.07.048 (in Eng.)
- De Grot S. Mazur P. (1964) *Neravnovesnaja termodinamika [Nonequilibrium thermodynamics]*. – Moscow: Mir. (in Russ.)
- Fushich V. I., Nikitin A.G. (1983) *Simmetrija uravnenija Maksvella [The symmetry of Maxwell's equation]*. – Kiev: Naukova dumka 200. (in Russ.)
- Godunov S.K. (2013) O vkljuchenii uravnenij Maksvella v sistemy reljativistski invariantnyh uravnenij [On the inclusion of Maxwell's equations in systems of relativistically invariant equations]. *Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 53 (8). – P. 1356–1359. DOI:https://doi.org/10.7868/S0044466913080073 (in Russ.)
- Joao V. Vidal, Pedro M. R. Carneiro, Marco P. Soares dos Santos. (2024) A complete physical 3D model from first principles of vibrational-powered electromagnetic generators. *Applied Energy*. – Volume 357: 122387. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122387> (in Eng.)
- Kuznecov A.V. (2023) *Termodinamika [Thermodynamics]*. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural University 196. (in Russ.)
- Landau L.D., Lifshic E.M. (2012) *Teoreticheskaja fizika. V 10 t. T. 2. Teorija polja [Theoretical physics. In 10 vols. Vol. 2. Field theory]*. – Moscow: Fizmatlit 536. (in Russ.)
- Makarov A.M., Luneva L.A., Makarov K.A. (2014) O strukture sistemy uravnenij klassicheskoj jelektrodinamiki [On the structure of the system of equations of classical electrodynamics]. *Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Natural sciences*, 3. – P. 39-52. (in Russ.)
- Makarov P.A., Ustjugov V.A., Shheglov V.I. (2022) Modelirovanie rasprostraneniya jelektromagnitnyh voln v magnitno-neodnorodnyh sredah [Modeling of electromagnetic wave propagation in magnetically inhomogeneous media]. *Proceedings of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. The series «Physico-mathematical sciences»*, 57 (5). – P. 100–105. (in Russ.)
- Markel V., Schotland J.C. (2012) Homogenization of Maxwell's Equations in Periodic Composites: Boundary Effects and Dispersion Relation. *Phys. Rev. E*. – Vol. 85: 066603-1–066603-23. DOI: 10.1103/PhysRevE.85.066603 (in Eng.)
- Mastrjukov A.F. (2020) Raznostnaja shema dlja odnomernyh uravnenij Maksvella [Difference scheme for one-dimensional Maxwell's equations]. *Siberian Journal. calculation. Mathematics. RAS. Siberian Branch. Novosibirsk* 23 (1). – P. 69-82. (in Russ.)
- Muhammad Abdullah, Khurram Saleem Alimgeer, Ghulam Hafeez, Baheej Alghamdi, Ahmed S. Alsafran, Muhammad Zeeshan Babar. (2025) Electromagnetic wave propagation algorithm: A novel electromagnetic wave propagation-inspired optimizer for engineering applications. *Ain Shams Engineering Journal*. – Volume 16, Issue 11. – P. 103615. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103615> (in Eng.)
- Mustafizur Rahman, Md Israfil Hossain Rimon, Zahid Hasan, Md. Shah Oliullah, S. M. Fazle Rabbi, Md Hosne Mobarak, Nayem Hossain. (2025) Nanotechnology and thermodynamics: a comprehensive review // *Nanomaterials and Energy*. – Volume 14, Issue 2. – P. 109-134. <https://doi.org/10.1680/jnaen.24.00093> (in Eng.)
- Nugaev R.M. (2014) *Genezis jelektrodinamiki Maksvella: interteoreticheskij kontekst [The Genesis of Maxwell's Electrodynamics: an Intertheoretical context]*. *Philosophy of Science* 61 (2). – P. 66–80. (in Russ.)
- Petrov E. Yu., Kudrin A. V. (2010) Exact Axisymmetric Solution of the Maxwell Equations in a Nonlinear Nondispersive Medium. *Phys. Rev. Lett.* – Vol. 104. – P. 190404. DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.190404 (in Eng.)
- Sachhin S.M., Mahabaleshwar U.S., Swaminathan N., David Laroze, Liliana Pedraja-Rejas. (2025) An effect of waste discharge concentration and electromagnetic field on chemically reactive Bingham fluid flow with the analysis entropy generation and mass transfer. *Hybrid Advances*. – Vol. – P. 100344. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100344> (in Eng.)
- Sindelka M. (2010) Derivation of Coupled Maxwell – Schrodinger Equations Describe Matter-laser Interaction from First Principles of Quantum Electrodynamics. *Phys. Rev. A*. – Vol. 81. – P. 033833. (in Eng.)

Voroncov A.S., Kozlov V.I., Markov M.B. (2005) Ob uravnenijah Maksvella v sobstvennom vremeni [On Maxwell's equations in proper time]. Preprint of the IPM named after M.V. Keldysh. (in Russ.)

Zajko Ju. N. (2010) Tochnye reshenija uravnenij Maksvella-Jejnshtejna [Exact solutions of Maxwell-Einstein equations]. Proceedings of the Saratov University. Series: Physics, 10 (1). – P. 50-58. DOI:<https://doi.org/10.18500/1817-3020-2010-10-1-50-58>. (in Russ.)

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](http://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.