

ISSN 2312-4334

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

# **East European Journal of Physics**

No 3. 2024

2024

# East European Journal of Physics

EEJP is an international peer-reviewed journal devoted to experimental and theoretical research on the nuclear physics, cosmic rays and particles, high-energy physics, solid state physics, plasma physics, physics of charged particle beams, plasma electronics, radiation materials science, physics of thin films, condensed matter physics, functional materials and coatings, medical physics and physical technologies in an interdisciplinary context.

Published quarterly in hard copy and online by V.N. Karazin Kharkiv National University Publishing  
ISSN 2312-4334 (Print), ISSN 2312-4539 (Online)

The editorial policy is to maintain the quality of published papers at the highest level by strict peer review.

Approved for publication by the Academic Council of the V.N. Karazin Kharkiv National University (29.08.2024, Protocol no. 16).

EEJP registered by the order of Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1643 of 28.12.2019, and included in the list of scientific professional editions of Ukraine (category "A", specialty: 104, 105), in which can be published results of dissertations for obtaining Ph.D. and Dr. Sci. degrees in physical and mathematical sciences.

Media identifier in the Register of the Field of Media Entities: R30-04470 (Decision № 1538 dated May 9, 2024 of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine, Protocol № 15)

The Journal is a part of the Web of Science Core Collection (ESCI) scientometric platform and indexed by SCOPUS.

## Editor-in-Chief

Azarenkov M.O., *Academician of NAS of Ukraine, Professor, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Kharkiv, Ukraine*

## Deputy editor

Girka I.O., *Corresponding Member of NAS of Ukraine, Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*

## Editorial Board

Antonov A.N., *D.Sc., Professor, Institute of Nuclear Research and Nuclear Energy, Sofia, Bulgaria*

Afanasev A.V., *D.Sc., George Washington University, Washington, District of Columbia, United States*

Barannik E.O., *D.Sc., Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine*

Beresnev V.M., *D.Sc., Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine*

Berezhnoy Yu.A., *D.Sc., Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine*

Bizyukov A.A., *D.Sc., Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine*

Bragina L.L., *D.Sc., Professor, STU "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine*

Broda B., *D.Sc., University of Lodz, Poland*

Dragovich B.G., *D.Sc., University of Belgrade, Serbia*

Duplij S.A., *D.Sc., Center für Information Technology (ZIV), Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, Germany*

Garkusha I.E., *Corresponding Member of NAS of Ukraine, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Grekov D.L., *D.Sc., NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Karnaukhov I.M., *Academician of NAS of Ukraine, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Korchin A.Yu., *Corresponding Member of NAS of Ukraine, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Kryshchal O.P., *Dr. hab., AGH University of Science and Technology in Kraków, Poland*

Lazurik V.T., *D.Sc., Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine*

Lytovchenko S.V., *D.Sc., Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine*

Maliyov I. L., *Ph.D. Postdoctoral Researcher at Caltech, Pasadena, California, United States*

Mel'nik V.N., *D.Sc., Institute of Radio Astronomy, Kharkiv, Ukraine*

Merenkov N.P., *D.Sc., NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Neklyudov I.M., *Academician of NAS of Ukraine, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Noterdaeme J.-M., *D.Sc., Max Planck Institute for Plasma Physics, Garching, Germany*

Nurmagambetov A.Yu., *D.Sc., Professor, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Ostrikov K.N., *D.Sc., Plasma Nanoscience Centre Australia, Clayton, Australia*

Pershin Yu.V., *D.Sc., University of South Carolina, Columbia, USA*

Pilipenko M.M., *D.Sc. in Technical Sciences, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Radinschi I., *D.Sc., Gheorghe Asachi Technical University, Iasi, Romania*

Slipko V. A., *Institute of Physics, Opole University, Opole, Poland*

Slyusarenko Yu.V., *Academician of NAS of Ukraine, NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

Smolyakov A.I., *University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada*

Sorokin D.P., *D.Sc., Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Italy*

Styervoyedov A.M., *D.Sc., Max Planck Institute of Microstructure Physics, Halle, Germany*

Tkachenko V.I., *D.Sc., NSC Kharkiv Institute of Physics and Technology, Ukraine*

## Executive Secretary

Hirnyk S.A., *Ph.D., V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine*

## Editorial office

Department of Physics and Technologies, V.N. Karazin Kharkiv National University

Kurchatov av., 31, office 402, Kharkiv, 61108, Ukraine

Tel: +38-057-335-18-33,

E-mail: [eejp@karazin.ua](mailto:eejp@karazin.ua),

Web-pages: <http://periodicals.karazin.ua/eejp> (Open Journal System)

# Східно-європейський фізичний журнал

Східно-європейський фізичний журнал – міжнародний рецензований журнал, присвячений експериментальним і теоретичним дослідженням ядерної фізики, космічних променів і частинок, фізики високих енергій, фізики твердого тіла, фізики плазми, фізики пучків заряджених частинок, плазмової електроніки, радіаційного матеріалознавства, фізики тонких плівок, фізики конденсованої речовини, функціональних матеріалів та покриттів, медичної фізики та фізичних технологій у міждисциплінарному контексті.

Видається щоквартально в друкованому вигляді та в Інтернеті видавництвом Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна ISSN 2312-4334 (Друкована версія), ISSN 2312-4539 (Онлайн)

Редакційна політика полягає у підтримуванні якості опублікованих статей на найвищому рівні шляхом суворої експертної оцінки.

Схвалено до друку Вченою радою Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна (29.08.2024 р., Протокол № 16).

Східно-європейський фізичний журнал зареєстровано наказом Міністерства освіти і науки України № 1643 від 28.12.2019 та включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «А», спеціальність: 104, 105), у яких може публікуватися результати дисертацій на здобуття ступенів кандидата та доктора фізико-математичних наук.

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04470 (Рішення № 1538 від 09.05.2024 р Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення. Протокол № 15)

Журнал є частиною наукометричної платформи Web of Science Core Collection (ESCI) і індексується SCOPUS.

## Головний редактор

Азаренков Н.А., академік НАН України, професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

## Заступник редактора

Гірка І.О., член-кореспондент НАН України, професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

## Editorial Board

Адаменко І.Н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

Антонов А.Н., д.ф.-м.н., професор, Інститут ядерних досліджень та ядерної енергії, Софія, Болгарія

Афанасьєв А.В., д.ф.-м.н., Університет Джорджа Вашингтона, Вашингтон, округ Колумбія, США

Баранник Є.А., д.ф.-м.н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

Береснев В.М., д.ф.-м.н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

Бережной Ю.А., д.ф.-м.н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

Бірюков А.А., д.ф.-м.н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

Брагіна Л.Л., д.ф.-м.н., професор, ДТУ «Харківський політехнічний інститут», Україна

Брода Б., д.ф.-м.н., Лодзинський університет, Польща

Драгович Б.Г., д.ф.-м.н., Белградський університет, Сербія

Дуплій С.А., д.ф.-м.н., Центр інформаційних технологій (ZIV), Університет Мюнстера, Мюнстер, Німеччина

Гаркуша І.Є., член-кореспондент НАН України, ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Греков Д.Л., д.ф.-м.н., ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Карнаухов І.М., академік НАН України, ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Корчин А.Ю., д.ф.-м.н., ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Кришталь О.П., доктор habilit., Науково-технічний університет АГН у Кракові, Польща

Лазурик В.Т., д.ф.-м.н., професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

Литовченко С.В., д.т.н., наук. професор, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

Малійов І.Л., PhD, постдокторант, науковий співробітник Каліфорнійського технологічного інституту, Пасадена, США

Мельник В.Н., д.ф.-м.н., Інститут радіоастрономії, Харків, Україна

Меренков Н.П., д.ф.-м.н., ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Неклюдов І.М., академік НАН України, ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Нотердам Ж.-М., доктор наук, Інститут фізики плазми Макса Планка, Гархінг, Німеччина

Нурмагамбетов А.Ю., д.ф.-м.н., професор, ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Остріков К.Н., д.ф.-м.н., Центр нанонауки плазми, Австралія, Клейтон, Австралія

Першин Ю.В., д.ф.-м.н., Університет Південної Кароліни, Колумбія, США

Сліпко В.А., Інститут фізики, Опольський університет, Ополь, Польща

Сорокін Д.П., д.ф.-м.н., Національний інститут ядерної фізики, Італія

Стерведов А.М., д.ф.-м.н., Інститут фізики мікроструктури Макса Планка, Галле, Німеччина

Пилипенко М.М., д.т.н. ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Радінський І., д.ф.-м.н., Технічний університет Георга Асачі, Ясси, Румунія

Слюсаренко Ю.В., академік НАН України, ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

Смоляков А.І., Саскачеванський університет, Саскатун, Канада

Ткаченко В.І., д.ф.-м.н., ННЦ Харківський фізико-технічний інститут, Україна

## Відповідальний секретар

Гірник С.А., к.ф.-м.н., Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

## Редакція

Науково-навчальний інститут «ФТФ», Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
пр. Курчатова, 31, офіс 402, Харків, 61108, Україна.

Тел: +38-057-335-18-33,

Електронна пошта: [eejp@karazin.ua](mailto:eejp@karazin.ua),

Веб-сторінка: <http://periodicals.karazin.ua/eejp> (система журналів з відкритим доступом)