

УКРАЇНСЬКИЙ ФІЗИЧНИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2071-0186

# UKRAINIAN JOURNAL OF PHYSICS

---

6 TOM 68  
2023  
VOLUME



RECOGNISED BY THE EUROPEAN  
PHYSICAL SOCIETY



## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

### *Головний редактор*

А. Г. ЗАГОРОДНИЙ (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна)

### *Заступник головного редактора*

С. М. РЯБЧЕНКО (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

### *Відповідальний секретар редколегії*

А. В. НАЗАРЕНКО (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна)

І. В. БЛОНСЬКИЙ (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

М. С. БРОДИН (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

Л. А. БУЛАВІН (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна)

І. С. ГАНДЖА (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

М. П. КОЗЛОВСЬКИЙ (Інститут фізики конденсованих систем НАН України, Львів, Україна)

В. М. ЛОКТЕВ (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна)

Г. М. МОРОЗОВСЬКА (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

М. В. СТРИХА (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна)

В. Й. СУГАКОВ (Інституту ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна)

П. М. ТОМЧУК (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

М. Ф. ШУЛЬГА (ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, Харків, Україна)

Л. П. ЯЦЕНКО (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

В. М. ЯЩУК (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна)

## МІЖНАРОДНА РЕДАКЦІЙНА РАДА

А. А. ВАРЛАМОВ (Інститут надпровідників та інноваційних матеріалів SPIN-CNR, Рим, Італія)

О. Д. ЛАВРЕНТОВИЧ (Державний університет Кента, Кент, США)

П. ХАНГГІ (Інститут фізики, Університет Аугсбурга, Аугсбург, Німеччина)

## ТЕМАТИЧНІ РЕДАКТОРИ

Л. А. БУЛАВІН (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна)

В. С. ВАСИЛЕВСЬКИЙ (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна)

М. В. ВАСНЄЦОВ (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

І. О. ГІРКА (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна)

Я. О. ЗОЛОТАРЮК (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна)

Б. І. ЛЕВ (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна)

Г. М. МОРОЗОВСЬКА (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

Л. В. ПОПЕРЕНКО (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна)

С. М. РЯБЧЕНКО (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

Ю. В. СЛЮСАРЕНКО (Інститут теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, Харків, Україна)

С. В. СОЛОГУБ (Інститут фізики НАН України, Київ, Україна)

В. В. ТЕТЬОРКІН (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна)

Ю. В. ШТАНОВ (Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна)

В. О. ЮХИМЧУК (Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна)

## EDITORIAL BOARD

### *Editor-in-Chief*

A. G. ZAGORODNY (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

### *Deputy Chief Editor*

S. M. RYABCHENKO (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

### *Executive Secretary*

A. V. NAZARENKO (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

I. V. BLONSKYI (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

M. S. BRODIN (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

L. A. BULAVIN (Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine)

I. S. GANDZHA (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

M. P. KOZLOVSKII (Institute for Condensed Matter Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Lviv, Ukraine)

V. M. LOKTEV (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

A. N. MOROZOVSKA (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

M. V. STRIKHA (V.Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

V. I. SUGAKOV (Institute for Nuclear Research, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

P. M. TOMCHUK (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

M. F. SHULGA (NSC “Kharkiv Institute of Physics and Technology”, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kharkiv, Ukraine)

L. P. YATSENKO (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

V. M. YASHCHUK (Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine)

## INTERNATIONAL ADVISORY EDITORIAL BOARD

A. A. VARLAMOV (Institute of Superconductivity and Innovative Materials SPIN-CNR, Rome, Italy)

O. D. LAVRENTOVICH (Kent State University, Kent, USA)

P. HANGGI (Institute of Physics, University of Augsburg, Augsburg, Germany)

## SECTION EDITORS

L. A. BULAVIN (Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine)

V. S. VASILEVSKY (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

M. V. VASNETSOV (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

I. O. GIRKA (V.N. Karazin Kharkiv National University, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kharkiv, Ukraine)

YA. O. ZOLOTARYUK (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

B. I. LEV (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

A. N. MOROZOVSKA (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

L. V. POPERENKO (Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine)

S. M. RYABCHENKO (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

YU. V. SLYUSARENKO (Akhiezer Institute for Theoretical Physics, NSC “Kharkiv Institute of Physics and Technology”, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kharkiv, Ukraine)

S. V. SOLOGUB (Institute of Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

V. V. TETERKIN (V.Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

YU. V. SHTANOV (Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)

V. O. YUKHYMCHUK (V.Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, Nat. Acad. of Sci. of Ukraine, Kyiv, Ukraine)