

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-27>

УДК 577.3

**Федосов Сергій Анатолійович**<sup>1</sup>, д.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0003-3457-8911>

**Замуруєва Оксана Валеріївна**<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-0032-0613>

**Никируй Любомир Іванович**<sup>3</sup>, к.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-3754-0348>

**Яремій Іван Петрович**, д.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-8549-1173>

**Яворський Ростислав Святославович**<sup>3</sup>, доктор філософії (Фізика та астрономія), старший науковий співробітник,

<https://orcid.org/0000-0001-5690-7486>

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

<sup>3</sup>Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна

## ОЦІНКА НАУКОВОЇ ОБЛАСТІ КОМП'ЮТЕРНА ФІЗИКА ЗА АНАЛІТИЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ БАЗИ ДАНИХ SCOPUS

**Федосов С.А., Замуруєва О.В., Никируй Л.І., Яремій І.П., Яворський Р.С.** Оцінка наукової області комп'ютерна фізика за аналітичними можливостями бази даних Scopus. У статті показано аналітичні можливості міжнародної наукометричної бази даних Scopus. Проведено порівняльний аналіз передових публікацій світових і українських науковців в предметній категорії комп'ютерна фізика, індексованих у БД Scopus. Окреслено коло провідних видань, розглянуто особливості міжнародної співпраці у предметній категорії, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток цієї наукової області. Сформульовано рекомендації для одержання якісної аналітичної оцінки результатів при аналізі і обробці даних з використанням БД Scopus.

**Ключові слова:** комп'ютерна фізика, публікації, наукові дослідження, БД Scopus.

**Fedosov S., Zamurujeva O., Nykyruy L., Yaremiy I., Yavorskyi R.** Evaluation of the scientific area of computer physics by the analytical capabilities of the Scopus database. The article shows the analytical capabilities of the Scopus international scientometric database. A comparative analysis of advanced publications of world and Ukrainian scientists in the subject category of computer physics, indexed in the Scopus database, was conducted. The range of leading publications was outlined, the peculiarities of international cooperation in the subject category were considered, and the factors of the influence of scientists of different countries on the development of this scientific area were analyzed. Recommendations for obtaining a qualitative analytical assessment of the results of data analysis and processing using the Scopus database were formulated.

**Keywords:** computer physics, publications, scientific research, Scopus database.

### Постановка наукової проблеми.

Найвагоміші наукові результати, опубліковані після 1996 р., індексуються у міжнародній бібліографічній і реферативній базі даних Scopus. Scopus є удосконалений інструмент для відстеження цитованості статей, опублікованих у наукових виданнях. Пошуковий апарат Scopus інтегрований з пошуковою системою Scirus для пошуку вебсторінок і патентною БД, та має власні потужні аналітичні можливості. Однак, для об'єктивної оцінки цих результатів необхідними є додатковий аналіз і обробка даних.

Усе більш актуальними стають наукові дослідження, які є на стику різних галузей знань, наприклад, фізика і електроніка, фізика і комп'ютерні науки, тощо. Це є наслідком нових викликів, коли перед науковцями ставляться задачі, розв'язання яких потребують знаходження нових рішень, використовуючи дослідницькі бази інших наук. Тому закономірним є виникнення нових міжгалузевих чи мультиспеціальністних нових напрямків, серед яких комп'ютерна фізика.

### Аналіз досліджень.

Оскільки концепція освіти для сталого розвитку на сьогодні не є інтегрованою в концепцію трансформації у закладах вищої освіти, важливими є дослідження в галузі університетської освіти [1]. Проблемним залишається питання підтримки створення нових міжгалузевих курсів, які часто вимагають сучасної і дорогої матеріальної бази, достатнього стимулу у науковців зі сторони своїх закладів [2]. Тому зміни пов'язані із введенням таких нових навчальних курсів відбуваються досить повільно [3]. Але саме міжгалузеві напрями мають найбільшу перспективу розвитку [4, 5]

Чисельні розрахунки фізичних властивостей напівпровідникових матеріалів електронної техніки і подальше моделювання конструкції пристроїв (сенсорів, сонячних, термо-, фото-елементів та ін.) на їх основі на даний час становлять значний науковий інтерес [6]. Застосування чисельного моделювання для симуляції розширених вимірювань на складних структурах, проектування та оптимізація передових конструктивних рішень для реалізації у сучасному напівпровідниковому приладобудуванні відкриває можливість зменшення часу та затрат на проведення дороговартісних експериментів [7]. У [8] авторами проведено аналіз публікацій авторитетних світових і українських науковців в області комп'ютерної фізики для розуміння закономірності щодо підтримки і розвитку цього напрямку у світі та в Україні і окреслено перспективи для спільних досліджень. У статті [9] критично аналізуються публікації вчених у напрямках «медична фізика» і «комп'ютерна фізика», розглянуто особливості міжнародної співпраці, окреслено коло провідних видань у наукових областях, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток медичної і комп'ютерної фізики.

**Постановка завдань.** Метою дослідження є показати пошукові і аналітичні можливості БД Scopus, виконати порівняльний аналіз даних досліджень в світі та Україні у напрямі «Комп'ютерна фізика» на основі публікацій, індексованих у наукометричній БД Scopus, зробити спробу визначити специфіку даних в залежності від використання різних пошукових запитів.

**Викладення основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

**Методологія досліджень.** Проведено аналіз передових публікацій, індексованих у наукометричній базі Scopus з 1993 року. Для аналізу за ключовими словами «Computer physics» (Комп'ютерна фізика) відібрано статті із пошуку (Фільтр 1) у назві статті (Article title), анотації (Abstract) і ключових словах (Keywords) та тільки (Фільтр 2) у ключових словах (Keywords). Для порівняння аналізувалися найавторитетніші роботи, опубліковані авторами, які мають приналежність до наукових центрів у світі й в Україні.

Аналізувалися: афіліація, країни, наукові центри та прізвища авторів; видання, у яких здійснено публікацію та їх кількість; галузі знань, з якою позиціонується певна публікація; країни-партнери для українських науковців; наявність фінансової підтримки досліджень. Така методика була запропонована і апробована у [8, 9].

**Аналіз результатів досліджень.** На середину 2023 року у наукометричній БД Scopus відображено 62 627 (Фільтр 1) і 20 879 (Фільтр 2) документів, що відповідають критерію пошуку «Computer physics». Сумарний h-індекс для них складає  $h = 401$  і  $262$  відповідно. На рис. 1 наведено діаграму країн із найбільшою кількістю публікацій, а також України. Для коректної порівняльної оцінки дані наведено у % від загальної кількості для кожної вибірки. Саме на ці 10 країн-лідерів припадає 95 % від загальної кількості публікацій з комп'ютерної фізики.

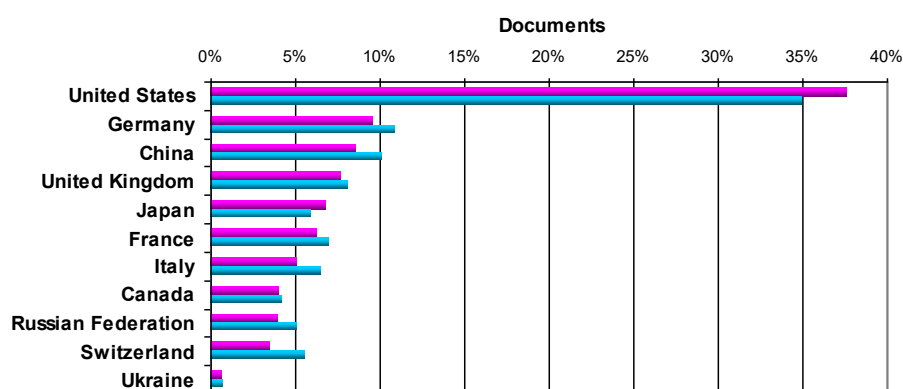


Рис. 1 – Діаграма країн із найбільшою кількістю публікацій і України з комп'ютерної фізики

На рис. 1 країни розташовані у порядку спадання кількості публікацій за «Фільтр 1» (рожеві стовпці). Відповідно до цих значень цікавим є порівняльний розподіл між двома заданими пошуками «Фільтр 1» і «Фільтр 2». Ці дані мають відмінний характер за пошуком по країнах не лише абсолютний, але й відносний. Хоча усі країни із найбільшою кількістю публікацій, незалежно від вибірки, входять у топ-10. Незаперечним лідером за кількістю публікацій (23 585 і 7 306) є США незалежно від пошукового фільтру. Серед однозначних країн-лідерів, також: Німеччина, Китай,

Великобританія тощо (рис. 1). Вченими зі США опубліковано більше третини всіх світових робіт – 38 і 35 % («Фільтр 1» і «Фільтр 2») відповідно. Крім США, переважаючим внеском 6,8 проти 5,9 % при використанні «Фільтр 1» має Японія. Другою за кількістю публікацій у світі (5 997 і 2 279) є Німеччина, де більша відносна кількість робіт з комп'ютерної фізики при «Фільтр 2» – 9,6 і 10,9 %. Приблизно така ж різниця за цим показником постерігається для Китаю, Франції, Італії, РФ, Швейцарії. Незалежно від заданого пошукового фільтра, лише для Великобританії та Канади майже однаковий (у %) внесок у світову науку.

Обґрунтованим є рейтинг провідних установ, які займають передові позиції за кількістю публікацій. Це науково-дослідні центри, які є незаперечними лідерами в дослідженнях з комп'ютерної фізики (табл. 1). В обох випадках («Фільтр 1» чи «Фільтр 2») лідируючу позицію займає *Європейська організація з ядерних досліджень* (Швейцарія), де працюють одні з найкращих світових науковців різних галузей знань для розв'язання найактуальніших проблем людства. Крім того, високі позиції водночас займають *Академія наук Китаю* (Китай), *Національний центр наукових досліджень* (Франція) і (усі із США) *Массачусетський технологічний інститут*, *Національна лабораторія ім. Лоуренса в Берклі*, *Стенфордський університет*, *Вісконсінський університет у Медісоні* тощо. Також, у залежності від вибірки в топ-10 науково-дослідних центрів входять: *Каліфорнійський університет в Берклі*, лабораторії – *Лос-Аламоська національна*, *Брукхейвенська національна*, *Національна прискорювальна ім. Енріко Фермі* (усі із США), *Токійський університет* (Японія), *Національний інститут ядерної фізики* (Італія). Закономірно, що усі провідні установи належать саме країнам-лідерам.

Таблиця 1 – Провідні науково-дослідні центри за кількістю публікацій у напрямі досліджень «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
<b>Світові</b>	
<i>European Organization for Nuclear Research, Switzerland</i>	<i>European Organization for Nuclear Research, Switzerland</i>
<i>Chinese Academy of Sciences, China</i>	<i>Chinese Academy of Sciences, China</i>
<i>CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, France</i>	<i>CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, France</i>
<i>Stanford University, US</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology, US</i>
<i>Massachusetts Institute of Technology, US</i>	<i>Fermi National Accelerator Laboratory, US</i>
<i>Los Alamos National Laboratory, US</i>	<i>Lawrence Berkeley National Laboratory, US</i>
<i>Lawrence Livermore National Laboratory, US</i>	<i>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – INFN, Italy</i>
<i>University of California, Berkeley, US</i>	<i>University of Wisconsin-Madison, US</i>
<i>University of Wisconsin-Madison, US</i>	<i>Brookhaven National Laboratory, US</i>
<i>The University of Tokyo, Japan</i>	<i>Stanford University, US</i>
<b>Українські</b>	
<i>National Academy of Sciences in Ukraine</i>	<i>National Academy of Sciences in Ukraine</i>
<i>Institute for Condensed Matter Physics NASU</i>	<i>Vinnitsia National Technical University</i>
<i>National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology</i>	<i>National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology</i>
<i>Vinnytsia National Technical University</i>	<i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»</i>
<i>Taras Shevchenko National University of Kyiv</i>	<i>Institute of Nuclear Research NASU</i>
<i>V.N. Karazin Kharkiv National University</i>	<i>Institute of Physics NASU &amp; Taras Shevchenko National University of Kyiv &amp; Lviv Polytechnic National University</i>
<i>Institute of Nuclear Research NASU</i>	
<i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute</i>	
<i>Institute of Physics NASU</i>	

Для науковців з українських організацій (рис. 1) кількість публікацій присвячених проблемам комп'ютерної фізики значно менша ніж загальносвітова і, залежно від пошукового фільтра, становить 399 і 149 із h-індексом 36 і 18. Однозначними провідними українськими установами за кількістю публікацій з комп'ютерної фізики (табл. 1) є: *Національна академія наук України*, *Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»*, *Вінницький національний технічний університет*, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*, *Національний*

технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», а також інститути НАНУ – Інститут ядерних досліджень, Інститут фізики тощо.

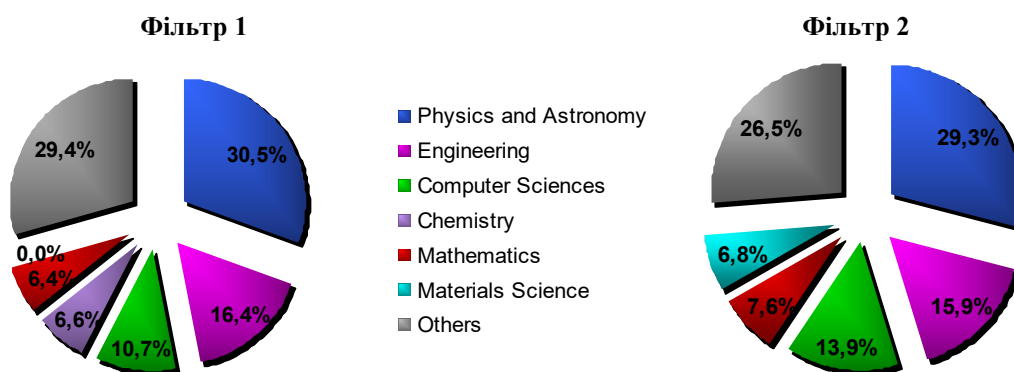
Зазвичай найбільшу кількість важливих результатів досліджень світових науковців опубліковано у авторитетних виданнях Q1 і Q2 (табл. 2). Але в залежності від заданого пошуку це різні журнали: *Journal of Chemical Physics*, *Physics in Medicine and Biology*, *Journal of Applied Physics*, *Applied Physics Letters* (Фільтр 1) і *Physical Review Letters*, *Computer Physics Communications* (Фільтр 2). Спільним у топ-5 є *Journal of Physics: Conference Series*. Також, значна кількість публікацій видана не лише у топових журналах, але й у великій кількості матеріалів конференцій, таких як *Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering*, *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* та ін. Це вказує на важливість участі науковців у конференціях і представлення на них своїх результатів.

Українські науковці найчастіше публікують свої результати (табл. 2) у матеріалах конференцій: *Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering*, *CEUR Workshop Proceedings*, *AIP Conference Proceedings*. Значну їх кількість опубліковано також у виданнях Q1: *Journal of Chemical Physics* (Фільтр 1) і *Computer Physics Communications*, *Journal of Physics: Condensed Matter* (Фільтр 2).

Таблиця 2 – Найпоширеніші джерела видань(країна (SJR)) у напрямі досліджень «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
<b>Світові дослідження</b>	
<i>Journal of Chemical Physics</i> , US (Q1 1,1) <i>Physics in Medicine and Biology</i> , UK (Q1 1,06) <i>Journal of Applied Physics</i> , US (Q2 0,67) <i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,21) <i>Applied Physics Letters</i> , US (Q1 1,03)	<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,21) <i>Physical Review Letters</i> , US (Q1 3,69) <i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19) <i>Computer Physics Communications</i> , NL (Q1 1,32) <i>IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record</i> , US
<b>Українські дослідження</b>	
<i>Journal of Chemical Physics</i> , US (Q1 1,1) <i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19) <i>CEUR Workshop Proceedings</i> , US (0,18) <i>Journal of Applied Physics</i> , US (Q2 0,67) <i>AIP Conference Proceedings</i> , US (0,19)	<i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19) <i>CEUR Workshop Proceedings</i> , US (0,18) <i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,21) <i>Computer Physics Communications</i> , NL (Q1 1,32) & <i>Journal of Physics Condensed Matter</i> , UK (Q1 0,91)

Для всіх публікацій по світу пов'язаних з комп'ютерною фізикою, однозначно переважаючими (понад 70 %) є галузі знань «Фізика та астрономія», «Інженерія», «Комп'ютерні науки» і «Математика» (рис. 2а,б). У залежності від пошуку у топ-5 також входять «Хімія» і «Матеріалознавство».



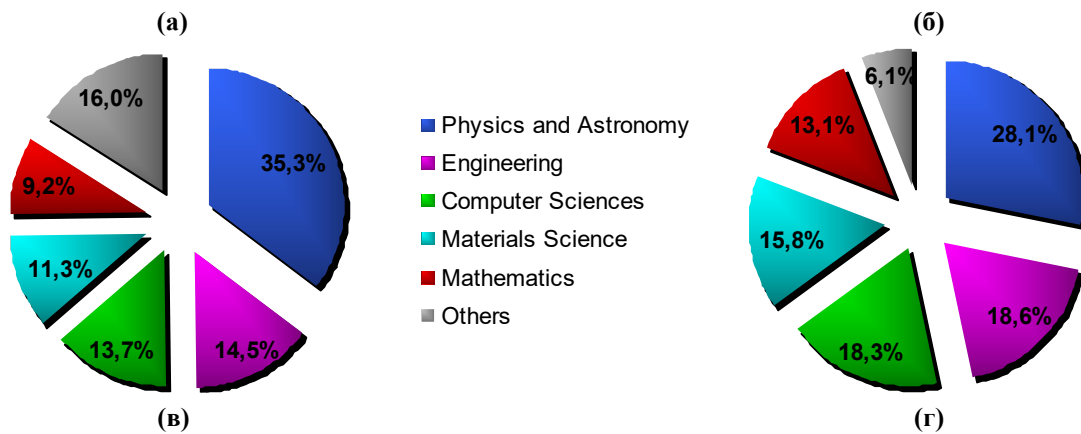


Рис. 2 – Переважаючі галузі знань при різних пошукових фільтрах публікацій з «Комп'ютерна фізика»: (а), (б) світових і (в), (г) українських

Для України переважаючі галузі такі ж як у світі (рис. 2в,г), з незначними відсотковими відмінностями в залежності від пошукової вибірки, і чіткішим спрямуванням публікацій за цими областями, а на інші галузі припадає лише 16 і 6,1 %, тоді як у світі – більше 26 %. Це показує про значно ширше використання комп'ютерної фізики у різних прикладних сферах. Не значно відрізняються світові відсоткові значення кількості публікацій проти українських пов'язаних з галузями знань «Фізика та астрономія» (30,5 і 35,3; 29,3 і 28,1 %), «Інженерія» (16,4 і 14,5; 15,9 і 18,6 %), «Комп'ютерні науки» (10,7 і 13,7; 13,9 і 18,3 %). Тоді як для галузей «Математика» (6,4 і 9,2; 7,6 проти 13,1 %) і «Матеріалознавство» (н/д проти 11,3; 6,8 проти 15,8 %) спостерігається значний «перекос». Перевага за кількістю публікацій галузі «Фізика та астрономія» вказує на те, що відповідні дослідження більше інтегровані саме до конкретних областей фізики або астрономії і перейшли у практичне русло, яке пов'язане з інженерією, інформатикою, матеріалознавством тощо.

Схожим є аналіз країн, з представниками яких частіше йдуть на співпрацю. Для України це науково-технічно розвинуті країни, які мають можливість надати матеріальну базу високого рівня. Закономірна така співпраця і значна кількість спільних публікацій з США, Польща, Німеччина Казахстан тощо (табл. 3). Як і при оцінках результатів за вищезгаданими критеріями, спостерігаємо серед країн-партнерів, залежно від пошуку також, незначні відмінності.

Таблиця 3 – Країни-партнери для українських досліджень у напрямі «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
United States	Poland
Poland	Kazakhstan
Germany	Germany
Kazakhstan	Russian Federation
Russian Federation	United States
France	France & Italy
Italy	Switzerland
United Kingdom	United Kingdom
Switzerland	

Найбільшими світовими організаціями, що фінансують дослідження в даній галузі – здебільшого організації з США (табл. 4): *National Science Foundation, U.S. Department of Energy, National Natural Science Foundation of China, National Institutes of Health, European Commission* тощо. Позиції цих найбільших організацій-спонсорів майже не залежить від заданого пошуку.

Таблиця 4 – Найбільші світові організації, що фінансують дослідження у напрямі «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
<b>Світові дослідження</b>	
<i>National Science Foundation</i>	<i>National Science Foundation</i>
<i>US Department of Energy</i>	<i>US Department of Energy</i>

<i>National Institutes of Health</i>	<i>National Natural Science Foundation of China</i>
<i>National Natural Science Foundation of China</i>	<i>National Institutes of Health</i>
<i>US Department of Health and Human Services</i>	<i>European Commission</i>
<i>European Commission</i>	<i>US Department of Health and Human Services</i>
<i>US Department of Defense</i>	<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>
<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>	<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>
<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>	<i>Seventh Framework Programme</i>
<i>Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology</i>	<i>US Department of Defense</i>
<b>Українські дослідження</b>	
<i>European Commission</i>	<i>European Commission</i>
<i>Ministry of Education and Science of Ukraine</i>	<i>Government of Canada</i>
<i>National Institutes of Health</i>	<i>Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada</i>
<i>National Science Foundation</i>	<i>Council of Canada</i>
<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>	<i>Russian Foundation for Basic Research</i>
<i>US Department of Health and Human Services</i>	<i>AUTO21 Network of Centres of Excellence</i>
<i>US Department of Energy</i>	<i>Agence Nationale de la Recherche</i>
<i>National Academy of Sciences of Ukraine</i>	<i>Canada Research Chairs</i>
<i>National Institute of General Medical Sciences</i>	<i>Chemical Sciences, Geosciences, and Biosciences Division</i>
<i>Alexander von Humboldt-Stiftung</i>	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
	<i>Delta</i>

Для України ситуація із державною підтримкою складніша. Спільним для обох пошукових запитів серед топ-спонсорів є лише *European Commission* (Бельгія) (табл. 4). Незначна кількість публікації, де вказано виконання за сприянням *НАНУ*, *МОНУ* і *ДФФД МОНУ*. Зате є публікації із українськими науковцями, дослідження яких підтримані *Government of Canada* і *Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada* (Канада) тощо. Фінансуються українські дослідження і світовими топ-спонсорами: *National Institutes of Health*, *National Science Foundation*, *Deutsche Forschungsgemeinschaft* тощо. Як правило, українські вчені виконують дослідження або в закордонних інституціях, в рамках гранту, або співпраці організацій. Тому вчені є співавторами багатьох спільних статей. Важливою проблемою у науковців з України є не деталізація на метаданих (відсутність спонсора), або виконання досліджень без фінансової підтримки. Як наслідок, із проіндексованих публікацій з українськими науковцями менше третини мають відомості про фінансування дослідження.

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Аналітичні можливості БД Scopus дозволяють визначити основні тенденції розвитку комп'ютерної фізики у світі та Україні. Неоднозначність одержаних результатів від заданого пошукового алгоритму зумовлена рядом факторів. Зокрема, некоректний англійський тег (ключові слів для пошуку) не дає однозначного правильного пошукового результату. Ні один з пошукових запитів не дає повної інформації – у першому випадку (Фільтр 1) результати завищені, у другому (Фільтр 1) лише частково відображені, і тому потребують додаткового аналізу і обробки. Сама ж оцінка результатів суттєво залежить від кількості даних. Значно краще відтворення мають світові дані в порівнянні з українськими, яких значно менше. При підготовці й оформленні публікацій необхідно приділяти важливу увагу анотації і ключовим словам, щоб вони в повній мірі відображали зміст і результати наукових досліджень статті.

#### Список бібліографічного опису

1. Леаль Фільо, В. Раат, С., Лаццаріні, Б., Варгас, В.Р., де Соуза, Л., Анхолон, Р., Кельхас, О.Л.Г., Хаддад, Р., Клавінс, М., Орлович, В.Л. (2018). Роль трансформації в навчанні та освіті для сталого розвитку. *Журнал чистого виробництва*, 199, 286–295. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.017)
2. Гувер, Е., Хардер, М.К. (2015). Що ховається під поверхнею? Приховані складності організаційних змін для сталості вищої освіти. *Журнал чистого виробництва*, 106, 175–188. DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.01.081](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.081)
3. Уотсон, М.К., Лозано, Р., Нойес, К., Роджерс, М. (2013). Більш цілісна оцінка внеску навчальних програм у сталий розвиток: досвід інтеграції оцінки навчальних програм і сприйняття студентами Технологічного інституту Джорджії. *Журнал чистого виробництва*, 61, 106–116. DOI: [10.1016/j.jclepro.2013.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.010)

4. Феррер-Балас, Д., Бакленд, Х., де Мінго, М. (2009). Дослідження ролі університету в суспільстві для сталого розвитку через підхід системного переходу. Практичний приклад Каталонського технічного університету (КТУ). *Журнал чистого виробництва*, 17(12), 1075–1085. DOI: [10.1016/j.jclepro.2008.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.006)
5. Стерлінг, С. (2013). Сталый університет: виклик і відповідь. В *Сталый університет: прогрес і перспективи* (сс. 17–50). Абінгдон : Рутледж. DOI: [10.4324/9780203101780](https://doi.org/10.4324/9780203101780)
6. Моралес-Асеведо, А., Ернандес-Комо, Н., Касадос-Крус, Г. (2012). Моделювання сонячних елементів: метод підвищення їх ефективності. *Матеріалознавство та інженерія Б*, 177(16), 1430–1435. DOI: [10.1016/j.mseb.2012.01.010](https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.010)
7. Салій, Я.П., Яворський, Р.С. (2021). Моделювання перерозподілу імплантованої домішки, стимульованої вакансіями. *Матеріали сьогодні: Збірник матеріалів*, 35(4), 576–578. DOI: [10.1016/j.matpr.2019.11.017](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.017)
8. Никируй, Л.І., Федосов, С.А., Яремій, І.П., Замуруєва, О.В., Федосов, В.С., Сахнюк, П.В. (2021). Актуальні проблеми комп'ютерної фізики. *Перспективні технології та прилади*, 19, 104–109. DOI: [10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17](https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17)
9. Никируй, Л.І., Федосов, С.А., Яремій, І.П., Замуруєва, О.В., Тимошук, А.Б., Федосов, В.С. (2021). Прикладні області досліджень сучасної фізики: медична і комп'ютерна фізика. *Наукові нотатки*, 72, 36–44. DOI: [10.36910/775.24153966.2021.72.6](https://doi.org/10.36910/775.24153966.2021.72.6)

#### References

1. Leal Filho, W., Raath, S., Lazzarini, B., Vargas, V.R., de Souza, L., Anholon, R., Quelhas, O.L.G., Haddad, R., Klavins, M., Orlovic, V.L. (2018). The role of transformation in learning and education for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 199, 286–295. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.017)
2. Hoover, E., Harder, M.K. (2015). What lies beneath the surface? The hidden complexities of organizational change for sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 106, 175–188. DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.01.081](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.081)
3. Watson, M.K., Lozano, R., Noyes, C., Rodgers, M. (2013). Assessing curricula contribution to sustainability more holistically: Experiences from the integration of curricula assessment and students' perceptions at the Georgia Institute of Technology. *Journal of Cleaner Production*, 61, 106–116. DOI: [10.1016/j.jclepro.2013.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.010)
4. Ferrer-Balás, D., Buckland, H., de Mingo, M. (2009). Explorations on the University's role in society for sustainable development through a systems transition approach. Case-study of the Technical University of Catalonia (UPC). *Journal of Cleaner Production*, 17(12), 1075–1085. DOI: [10.1016/j.jclepro.2008.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.006)
5. Sterling, S. (2013). The sustainable university: Challenge and response. In *The sustainable university: Progress and prospects* (pp. 17–50). Abingdon : Routledge. DOI: [10.4324/9780203101780](https://doi.org/10.4324/9780203101780)
6. Morales-Acevedo, A., Hernández-Como, N., Casados-Cruz, G. (2012). Modeling solar cells: a method for improving their efficiency. *Materials Science and Engineering B*, 177(16), 1430–1435. DOI: [10.1016/j.mseb.2012.01.010](https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.010)
7. Saliy, Ya.P., Yavorskyi, R.S. (2021). The redistribution modeling of implanted impurity stimulated by vacancies. *Materials Today: Proceedings*, 35(4), 576–578. DOI: [10.1016/j.matpr.2019.11.017](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.017)
8. Nykyruy, L.I., Fedosov, S.A., Yaremiy, I.P., Zamurujeva, O.V., Fedosov, V.S., Sakhnyuk, P.V. (2021). Current Problems of Computer Physics. *Perspective Technologies and Devices*, 19, 104–109. DOI: [10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17](https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17)
9. Nykyruy, L., Fedosov, S., Yaremiy, I., Zamurujeva, O., Tymoshchuk, A., Fedosov, V. (2021). Applied Fields of Modern Physics Research: Medical and Computer Physics. *Scientific Notes*, 72, 36–44. DOI: [10.36910/775.24153966.2021.72.6](https://doi.org/10.36910/775.24153966.2021.72.6)