

УДК 577.3+004.9

DOI 10.36910/775.24153966.2021.72.6

Л.І. Никируй¹, С.А. Федосов², І.П. Яремій¹, О.В. Замуруєва², А.Б. Тимошук², В.С. Федосов³¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника²Волинський національний університет імені Лесі Українки³Сервіс-група «SEOtodo»

ПРИКЛАДНІ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ: МЕДИЧНА І КОМП'ЮТЕРНА ФІЗИКА

З огляду на сучасні виклики науковцям і бажання людей зробити життя тривалішим та комфортнішим, фундаментальні та прикладні дослідження з медичної та комп'ютерної фізики відносяться до пріоритетних для всіх країн світу. Стаття аналізує публікації вчених у напрямках «медична фізика» і «комп'ютерна фізика», з метою знайти закономірності щодо підтримки та розвитку цих напрямів у світі та в Україні. Розглянуто особливості міжнародної співпраці, окреслено коло провідних видань у наукових областях, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток медичної і комп'ютерної фізики. Дослідження базується на результатах даних, опублікованих у міжнародній наукометричній базі Scopus. Виконано аналіз і сформульовано рекомендації для покращення поширення результатів вітчизняних вчених у світовій спільноті за цими напрямками.

Ключові слова: медична фізика, комп'ютерна фізика, публікації, наукові дослідження, h-індекс.

Л.И. Никируй, С.А. Федосов, И.П. Яремий, О.В. Замуруева, А.Б. Тимошук, В.С. Федосов ПРИКЛАДНЫЕ ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ: МЕДИЦИНСКАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ФИЗИКА

Учитывая современные вызовы ученым и желание людей сделать жизнь более длительной и комфортной, фундаментальные и прикладные исследования по медицинской и компьютерной физике относятся к приоритетным для всех стран мира. Статья анализирует публикации ученых в направлениях «медицинская физика» и «компьютерная физика» с целью найти закономерности поддержки и развития этих направлений в мире и в Украине. Рассмотрены особенности международного сотрудничества, очерчен круг ведущих изданий в научных областях, проанализированы факторы влияния ученых разных стран на развитие медицинской и компьютерной физики. Исследование основывается на результатах данных, опубликованных в международной наукометрической базе Scopus. Выполнен анализ и сформулированы рекомендации по улучшению распространения результатов отечественных ученых в мировой общности по этим направлениям.

Ключевые слова: медицинская физика, компьютерная физика, публикации, научные исследования, h-индекс.

L. Nykyruy, S. Fedosov, I. Yaremiy, O. Zamurujeva, A. Tymoshchuk, V. Fedosov APPLIED FIELDS OF MODERN PHYSICS RESEARCH: MEDICAL AND COMPUTER PHYSICS

Given the current challenges to scientists and the desire of people to make life longer and more comfortable, fundamental and applied research in medical and computer physics is a priority for all countries of the world. The article analyzes the publications of scientists in the areas of "medical physics" and "computer physics" in order to find patterns of support and development of these areas in the world and in Ukraine. The peculiarities of international cooperation are considered, the circle of leading publications in scientific fields is outlined, the factors of influence of scientists from different countries on the development of medical and computer physics are analyzed. The research is based on the results of data published in the international scientometric database Scopus. The analysis is made and recommendations are formulated to improve the dissemination of the results of domestic scientists in the world community in these areas.

Keywords: medical physics, computer physics, publications, scientific research, h-index.

Постановка проблеми. В останні роки все рідше зустрічаються публікації, що стосуються безпосередньо конкретних наук, як фізика, хімія, медицина, біологія, тощо. Замість них автори часто вказують галузі, які у певних наукових журналах асоціюються із інженерією, матеріалознавством тощо. Так, якщо звернути увагу на певні галузі наук за публікаціями у міжнародній наукометричній базі Scopus, то часто за певним напрямом бачимо, як різні статті класифікуються за напрямками «Фізика і астрономія», «Матеріалознавство», «Медицина», «Інженерія» та ін. Такий напрям, як «матеріалознавство» останнім часом теж стає все більш диференційованим: «матеріали для енергетики», «біоматеріали», «рідкісні матеріали» та ін. Усе це є наслідком того, що дослідження отримують більше практичне спрямування. Відповідно, більшу роль отримують дослідження, які є «на стику» різних наук, як наприклад, фізика і хімія, фізика і медицина, фізика і інформатика (комп'ютерні науки), тощо. Все це є наслідком нових викликів, коли перед науковцями ставляться завдання, де потрібно знаходити нові рішення, використовуючи, у тому числі, дослідницькі бази інших наук. А отже, закономірним є виникнення нових міждисциплінарних (міжнаукових) напрямів і спеціалізацій, як відновлювальна енергетика, комп'ютерна фізика, медична фізика, мехатроніка, тощо. Це такі спеціалізації, які сьогодні

користуються популярністю у світі і починають ставати популярнішими в Україні. А отже, з метою підготовки фахівців високого рівня та отримання конкурентних наукових продуктів, важливим завданням є аналіз проблем у таких «перехресних» областях різних наук.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оскільки концепція освіти для сталого розвитку ще не є достатньо інтегрованою в концепцію трансформації у закладах вищої освіти, важливими залишаються дослідження в галузі університетської освіти [1]. Проблемним залишається питання підтримки створення нових міждисциплінарних курсів, адже вони часто вимагають нової та дорогої матеріальної бази і зацікавленості викладачів-науковців. Тому зміни такого типу, які пов'язані із введенням нових навчальних курсів відбуваються досить повільно [2]. Саме міждисциплінарні напрями мають найбільшу перспективу розвитку [3]. З метою знайти закономірності щодо підтримки та розвитку напрямку «Медична фізика» у різних країнах та визначити перспективи для України, у [4] аналізувався сучасний стан у цій області.

Постановка завдань. В роботі поставлено мету – виконати аналіз досліджень у напрямках «Медична фізика» і «Комп'ютерна фізика», зробити спробу визначити особливості та спрогнозувати розвиток цих напрямів у світі та Україні.

Методологія досліджень. Проведено аналіз публікацій, індексованих у наукометричній базі Scopus. Для аналізу відібрано статті із пошуку за ключовими словами у назві та анотації «Medical physics» (Медична фізика), «Computer physics» (Комп'ютерна фізика). Для порівняння аналізувалися роботи, опубліковані авторами, які мають приналежність до наукових центрів у світі й в Україні.

Вибірку зроблено за результатом аналізу матеріалів: найбільш цитованих публікацій із афіліацією у світі, найновіших публікацій із афіліацією в світі, аналогічно, із афіліацією в Україні – найцитованіших публікацій і найбільш нових публікацій.

Порівняння здійснено, використовуючи наявні можливості аналітики, які пропонує Scopus. При цьому була можливість аналізувати: афіліацію авторів, прізвища авторів, країни авторів, тип документів, наявність фінансової підтримки досліджень, журнал, у якому здійснено публікацію, рік публікації та їх кількість. Аналізувалися також і самі публікації. Така методика була запропонована і апробована у [5-6].

Викладення основного матеріалу. Станом на кінець жовтня 2021 року у наукометричній базі Scopus зафіксовано 20 158 документів, що відповідають критерію пошуку «Medical physics» (Медична фізика) і 62 627 документів – «Computer physics» (Комп'ютерна фізика). Сумарний h-індекс для них складає $h = 192$ і 401 відповідно. На рис. 1 наведено діаграму країн із найбільшою кількістю публікацій, а також України. Для коректної порівняльної оцінки дані наведено у % від загальної кількості за кожним напрямом.

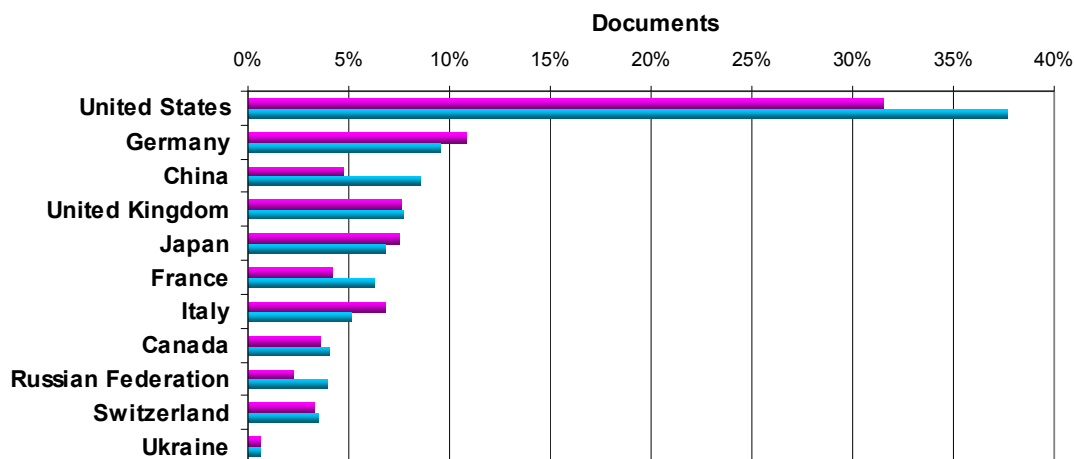


Рис. 1. Діаграма країн із найбільшою кількістю публікацій та України у напрямках «Медична фізика» і «Комп'ютерна фізика»

На рис. 1 країни розташовані у порядку спадання кількості публікацій за напрямом «Комп'ютерна фізика» (сині стовпці). Відповідно до цих значень цікавим є порівняльний розподіл між двома сучасними напрямками. Ці дані мають дещо відмінний характер за напрямками по країнах не лише абсолютний, але й відносний. Незаперечним лідером за кількістю публікацій (6 349 і 23 585) в обох досліджуваних напрямках є США. Кількість публікацій науковців зі США

становлять третину (32-38 %) усіх публікацій у світі. Другою за кількістю публікацій (2 184 і 5 997) є Німеччина, де майже однаковий (у %) внесок у світову науку за обома напрямками. Значна відносна різниця за цим показником (майже у два рази між напрямками) спостерігається для Китаю, Франції, Росії, де суттєво більше робіт з комп'ютерної фізики. Тоді, як для Німеччини, Італії та Японії відносна кількість публікацій з медичної фізики більша ніж з комп'ютерної.

Аналітичні дані для світової науки, зібрані із використанням ресурсів наукометричної бази Scopus узагальнено у таблиці 1.

Табл. 1.

Порівняльна статистична характеристика світових досліджень, проведених у напрямках «Медична фізика» (Medical physics) і «Комп'ютерна фізика» (Computer physics)

Медична фізика	Порівняння	Комп'ютерна фізика
20 158	Кількість публікацій	62 627
192	h-індекс	401
<ul style="list-style-type: none"> – European Organization for Nuclear Research, Switzerland – University of Texas M.D. Anderson Cancer Center, US – University of Michigan, Ann Arbor, US – Harvard Medical School, US – Technical University of Munich, Germany 	Провідні установи	<ul style="list-style-type: none"> – European Organization for Nuclear Research, Switzerland – Chinese Academy of Sciences, China – CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, France – Stanford University, US – Massachusetts Institute of Technology, US
<ul style="list-style-type: none"> – James Franck Institute University of Chicago, US – Santa Fe Institute, US – University of Washington, US – Biotechnologie und Molekulare Genetik Universität Bremen, Germany – Optical Imaging Laboratory, US 	Найбільш цитовані наукові центри	<ul style="list-style-type: none"> – University of Queensland, Australia – Massachusetts Institute of Technology, US – Joseph Henry Laboratories Princeton University, US – University of Pennsylvania, US – Universidad Autónoma de Madrid, Spain
<ul style="list-style-type: none"> – IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, US – IFMBE Proceedings, Germany (0,15) – Medical Physics, US (1,47) – Health Physics, US (0,36) – Physics in Medicine and Biology, UK (1,31) 	Джерела видань, країна (SJR)	<ul style="list-style-type: none"> – Journal of Chemical Physics, US (1,07) – Physics in Medicine and Biology, UK (1,31) – Journal of Applied Physics, US (0,7) – Journal of Physics Conference Series, UK (0,29) – Applied Physics Letters, US (1,18)
<ul style="list-style-type: none"> – National Institutes of Health – US Department of Health and Human Services – National Cancer Institute – National Science Foundation – National Natural Science Foundation of China 	Організації, що фінансують дослідження	<ul style="list-style-type: none"> – National Science Foundation – US Department of Energy – National Institutes of Health – National Natural Science Foundation of China – US Department of Health and Human Services

Обґрунтованим є рейтинг провідних установ, які займають передові позиції за кількістю публікацій, і сповна відповідає рейтингу за державою. Це науково-дослідні центри, які, як і країни загалом, є однозначними лідерами в дослідженнях з медичної фізики (Онкологічний центр ім. М.Д. Андерсона техаського університету (США), Університет Мічигану в Енн-Арбор (США), Медична школа Гарварда (США), Мюнхенський технічний університет (Німеччина) тощо) і з комп'ютерної фізики (Академія наук Китаю (Китай), Стенфордський університет і

Массачусетський технологічний інститут (США) тощо) (табл. 1, рядок 3). За обома напрямками лідируючу позицію, воно і не дивно, займає Європейська організація з ядерних досліджень (Швейцарія), де працюють кращі науковці світу з різних галузей знань для розв'язання найглобальніших проблем людства. Крім того, високі позиції як і з медичної, так і з комп'ютерної фізики водночас займають Національний центр наукових досліджень (Франція), Національний інститут ядерної фізики (Італія), Університет Вісконсин-Медісон (США).

Серед найбільш цитованих світових наукових центрів (табл. 1, рядок 4) також спостерігаються установи країн-лідерів: Інститут ім. Джеймса Франка Чиказького університету, Інститут Санта-Фе, Вашингтонський університет, Лабораторія ім. Джозефа Генрі Принстонського університету, Пенсільванський університет (США), Бременський університет біотехнологій і молекулярної генетики (Німеччина), Квінслендський університет (Австралія), Автономний університет Мадрида (Іспанія) та ін., однак, які не увійшли до рядка 3 (табл. 1). Хоча ці центри не входять до переліку провідних науково-дослідних центрів, які мають найбільшу кількість публікацій, тим не менш, дослідники з них можуть претендувати на найвищі позиції у рангу світових вчених. До таких грандів світової науки, які найчастіше є авторами публікацій і найбільш цитованими в області медичної фізики відносяться (к-ть публікацій в Scopus): Hendee W.R. (69), Yamaya T. (56), Pia M.G. (51), Yoshida E. (48), Rosenfeld A.B. (44), Petasecca M., Yanagida T. (41), Orton C.G. (40), Guatelli G. (39). Так само в області комп'ютерної фізики фахівцями найвищого рівня є (к-ть публікацій в Scopus): Pia M.G. (55), Terzopoulos D. (44), Binder K. (42), De K. і Maeno T. (41), Paganetti H. (40), Ivanchenko V.N. і Jiang S.B. (39), He J. (38), Elmer P. (37).

Для дослідників з українських організацій кількість публікацій з медичної і комп'ютерної фізики «Medical/Computer physics» значно менша загальносвітової і складає, відповідно 119 і 399 із h-індексами $h = 12$ і 36 . Аналітичні дані для української науки за досліджуваними напрямками зібрані із бази Scopus узагальнено у таблиці 2.

Табл. 2.

Порівняльна статистична характеристика українських досліджень, проведених у напрямках «Медична фізика» (Medical physics) і «Комп'ютерна фізика» (Computer physics)

Медична фізика	Порівняння	Комп'ютерна фізика
119	Кількість публікацій	399
12	h-індекс	36
<ul style="list-style-type: none"> – National Academy of Sciences in Ukraine – Vinnytsia National Technical University – Institute for Scintillation Materials of NASU – Taras Shevchenko National University of Kyiv – National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology 	Провідні установи	<ul style="list-style-type: none"> – National Academy of Sciences in Ukraine – Institute for Condensed Matter Physics NASU – National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology – Vinnytsia National Technical University – Taras Shevchenko National University of Kyiv
<ul style="list-style-type: none"> – A.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NASU – Vinnitsa National Technical University – Taras Shevchenko National University of Kyiv – Vinnitsa Pirogov National Medical University – Donetsk Institute for Physics and Engineering 	Найбільш цитовані наукові центри	<ul style="list-style-type: none"> – Scientific Research Technological Institute of Instrument Engineering, Kharkov – Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, Kiev – National Scientific Centre Kharkov Institute of Physics and Technology – Taras Shevchenko National University of Kyiv – Institute for Condensed Matter Physics NASU
<ul style="list-style-type: none"> – Proceedings of SPIE The International Society for Optical 	Джерела видань, країна	<ul style="list-style-type: none"> – Journal of Chemical Physics, US (1,07)

Медична фізика	Порівняння	Комп'ютерна фізика
Engineering (US) 0,19 – IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, US – IFMBE Proceedings, Germany (0,15) – IEEE Transactions on Nuclear Science, US (0,54) – Medical Physics, US (1,47)	(SJR)	– Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering, US (0,19) – CEUR Workshop Proceedings, US (0,18) – Journal of Applied Physics, US (0,7) – AIP Conference Proceedings, US (0,18)
– Australian Research Council – Department of Education and Training – Australian Nuclear Science and Technology Organization – European Cooperation in Science and Technology – Ministry of Higher Education, Malaysia	Організації, що фінансують дослідження	– European Commission – Ministry of Education and Science of Ukraine – National Institutes of Health – National Science Foundation – Deutsche Forschungsgemeinschaft
– Poland – Australia – Kazakhstan – United States – Russian Federation	Країни-партнери	– United States – Poland – Germany – Kazakhstan – Russian Federation

Провідними українськими установами за кількістю публікацій водночас як з медичної, так і з комп'ютерної фізики є: Національна академія наук України, Вінницький національний технічний університет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», а також інститути НАНУ – Інститут скінтіляційних матеріалів (з медичної фізики) та Інститут фізики конденсованих систем (комп'ютерної фізики) (рядок 3, табл. 2). Окрім провідних за кількістю публікацій є інші центри з найавторитетнішими (найцитованішими) науковцями: Інститут радіофізики та електроніки ім. Я. Усикова НАНУ, Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова, Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАНУ і Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування, Інститут теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАНУ відповідно для напрямів медичної і комп'ютерної фізики (рядок 4, табл. 2). Серед українських науковців найавторитетнішими у досліджуваних наукових напрямках є (к-ть публікацій в Scopus) – Perevertaylo V.L. (14), Zinets O. і Zlepko S.M. (4), Anokhin I.E. (3) з медичної фізики, а з комп'ютерної – Kalyuzhnyi Y.V. (15), Pavlov S.V. і Trokhymchuk A. (7), Smailova S. (5), Baumketner A. (4).

Аналіз самих публікацій за тегом «Medical physics» (Медична фізика) і «Computer physics» (Комп'ютерна фізика) вказує на практичне значення таких досліджень. Найбільш цитована публікація у світі за напрямом як і «Медична фізика» так і «Комп'ютерна фізика», до написання якої долучилися 127 співавторів, вивчає широкий спектр функціональних можливостей набору інструментів GEANT4 для імітації проходження частинок через речовину [7]. Даний інструментарій є результатом всесвітньої співпраці фізиків та інженерів програмного забезпечення і був використаний у фізиці елементарних частинок, ядерній фізиці, проектуванні прискорювачів, космічній техніці та медичній фізиці. До найбільш цитованих з медичної фізики відноситься ціла серія робіт, присвячених дослідженню оптичних пінцетів, які можуть маніпулювати об'єктами від кількох десятків нанометрів [8], біохімічним дослідженням для розробки ліків із акцентом на наночастинки [11-13], дослідженню, розробці діагностичних пристроїв та обробці зображень [12-16], тощо. В свою чергу, найцитованіші з комп'ютерної фізики публікації присвячені розгляду теоретичних основ (3D) топологічних ізоляторів і надпровідників, а також перспектив створення пристроїв на їх основі [17], розробці та впровадженні методу для моделювання структурної релаксації та молекулярної динаміки [18], створенню нового дослідницького ресурсу для дослідження в області серцево-судинних та інших складних біомедичних сигналів [21],

кластеризації, методам перевірки та порівняння опису додатків реальних мереж, розкриттю структури та динаміки складних мереж [20-22]. Тобто, це публікації, які мають чітке практичне спрямування, однак містять також і повний спектр фундаментальних досліджень. Підтвердженням цього є нобелівська премія з фізики у 2018 році (A. Ashkin, G.A. Mourou, D. Strickland) за дослідження та розробку лазерних пристроїв для медицини.

Причому, найбільш цитовані статті опубліковані не лише у журналах типу *Reviews of Modern Physics* (SJR 24,88), *Chemical Review* (SJR 20,53), *Nature* (SJR 15,99), *Reports on Progress in Circulation* (SJR 7,8), *Physics* (SJR 7,53), *Physics Reports* (SJR 6,91), *Medical Image Analysis* (SJR 2,89) та ін., але й у великій кількості матеріалів конференцій, як *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (SJR 5,01), *IEEE Transactions on Nuclear Science* (SJR 0,54) тощо, що вказує на важливість участі науковців у роботі таких заходів, представлення на них своїх результатів.

Найбільш цитовані публікації українських вчених є у співавторстві з колегами із Японії, Великобританії, США, РФ [23] (Інститут радіофізики та електроніки імені Я. Усикова НАН України, Харків), Австралії [24] (SPA BIT, Київ), Екватору та Польщі [25] (Вінницький національний технічний університет) та стосуються розвитку детекторів випромінювання різного типу, аналізуючи при цьому фізику процесів у речовині та досліджуючи прикладне застосування кінцевих пристроїв на їх основі, а також опису фізики та еталонних вхідних параметрів необхідних для розрахунків ядерних реакцій та оцінці ядерних даних [26], моделюванню канонічної молекулярної динаміки та Монте-Карло для рівноваги рідина/пара [27], опису нового коду для розрахунку атмосфер зоряної моделі з паралельною зоряною моделлю LE для раннього та середнього типу зірок [28].

Для України ситуація із кореляцією кількості публікацій та h-індексу є, у певному плані, «негативною». Тобто, країни, що мають приблизно таку ж кількість публікацій, випереджають нас за якістю (h-індексом) [4]. Для пояснення цього було проаналізовано, які типи публікацій та у яких виданнях публікують науковці різних країн (рядок 5, табл. 1 і 2). Відразу привертає увагу те, що країни-лідери за кількістю і якістю публікацій максимально публікують результати своїх досліджень практично у тих самих наукових виданнях. Це є певним «плюсом», оскільки, публікуючи статті у тих самих журналах, вчені цих країн звертають увагу на інші праці, опубліковані у цих виданнях. Таким чином реалізується більша кількість цитувань їх праць. Причому, імпакт-фактори цих журналів не є надто високими, які б могли бути для топових журналів з фізики: *Medical Physics* (SJR 1,47), *Physics in Medicine and Biology* (SJR 1,31), *Journal of Chemical Physics* (SJR 1,07), *Physica Medica* (SJR 0,88), *Health Physics* (SJR 0,36). Часто такими виданнями є профільні конференції, як *IFMBE Proceedings* (SJR 0,15), *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record*. Це ще одна ознака того, що є певне сформоване міжнародне наукове середовище, представники якого беруть спільно участь у міжнародних конференціях та симпозіумах, де діляться своїми результатами.

Представники країн, які мають меншу кількість публікацій чи загалом нижчий для країни h-індекс, в основному, публікуються теж у збірниках конференцій чи у своїх національних виданнях, які менше поширені у світі [4]. Так само, ці матеріали конференцій публікуються за участь вчених саме з цих держав. Зокрема, топ-видань для представників з України наступний (рядок 5, табл. 2): *Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering* (SJR 0,19), *IEEE Transactions on Nuclear Science* (SJR 0,54), *CEUR Workshop Proceedings* (SJR 0,18), *AIP Conference Proceedings* (SJR 0,18). Це може бути причиною того, що саме для них можливі дещо менші вимоги до рівня англійської мови, або відповідні конференції мають суттєво нижчий рівень організаційних внесків (50-100 євро проти 700-1000 євро).

Дещо складніше робити висновки за галузю знань, з якою позиціонується певна публікація. Для всіх публікацій по світу за напрямом «Медична фізика», лідерство тримають «Медицина», «Фізика та астрономія» і «Інженерія» (рис. 2а), а за напрямом «Комп'ютерна фізика» – «Фізика та астрономія», «Інженерія» і «Комп'ютерні науки» (10,7 %) (рис. 2в). Для України переважаючі галузі за окремими напрямками такі ж як у світі (рис. 2б,г), лише з дещо іншим відсотком. Якщо ж з комп'ютерної фізики ці значення мало відрізняються від світових («Фізика та астрономія» (30,5 і 35,3 %), «Інженерія» (16,4 і 14,5 %) і «Комп'ютерні науки» (10,7 і 13,7 %)), то для медичної фізики є значний «перекос» (світ і Україна) у галузях знань «Медицина» (26,3 % і 10,8 %), «Фізика та астрономія» (22,2 % і 30,4 %). Лідерство «Медицини» вказує, швидше за все на те, що відповідні дослідження більше інтегровані саме до конкретних галузей медицини і перейшли у практичне русло. Якщо ж лідирує за кількістю публікацій галузь знань «Фізика та астрономія», то можна

припустити, що представники відповідних країн починають розвивати дану галузь, намагаються знайти застосування результатів своїх колективів для медицини / комп'ютерних наук, але спираються у більшості на попередні результати. Однак, це не завжди справедливе. Часто такі напрями визначаються наявною матеріальною базою. Але ще частіше статті такого роду публікуються у співпраці вчених з різних країн, де кожна наукова група чітко виконує свою частину роботи.

Схочим є аналіз країн, з представниками яких частіше йдуть на співпрацю. Як правило, це країни, які мають можливість надати матеріальну базу високого рівня. Для України закономірно там бачити (рядок 7 табл. 2) США, Німеччину, Польщу, Австралію, Казахстан, РФ. Хоча США, не дивлячись на високий економічний потенціал та суттєво вищі показники за кількістю публікацій (рис. 1), не є переважаючими серед країн-партнерів. Поясненням цього може бути значно вища підтримка досліджень у області медичної і комп'ютерної фізики у самій країні та, відповідно, значна кількість публікацій без іноземних партнерів. Підтвердженням такого припущення є дані, наведені у стовпчику 6 таблиці 1. Як видно, два найбільші спонсори організацій з США [4] співпадають із найбільш потужними спонсорами таких досліджень у світі: National Institute of Health, National Cancer Institute. А також US Department of Health and Human Services, National Science Foundation, National Natural Science Foundation of China як для досліджень з медичної, так і комп'ютерної фізики є найбільш зацікавленими організаціями, що фінансують дослідження.

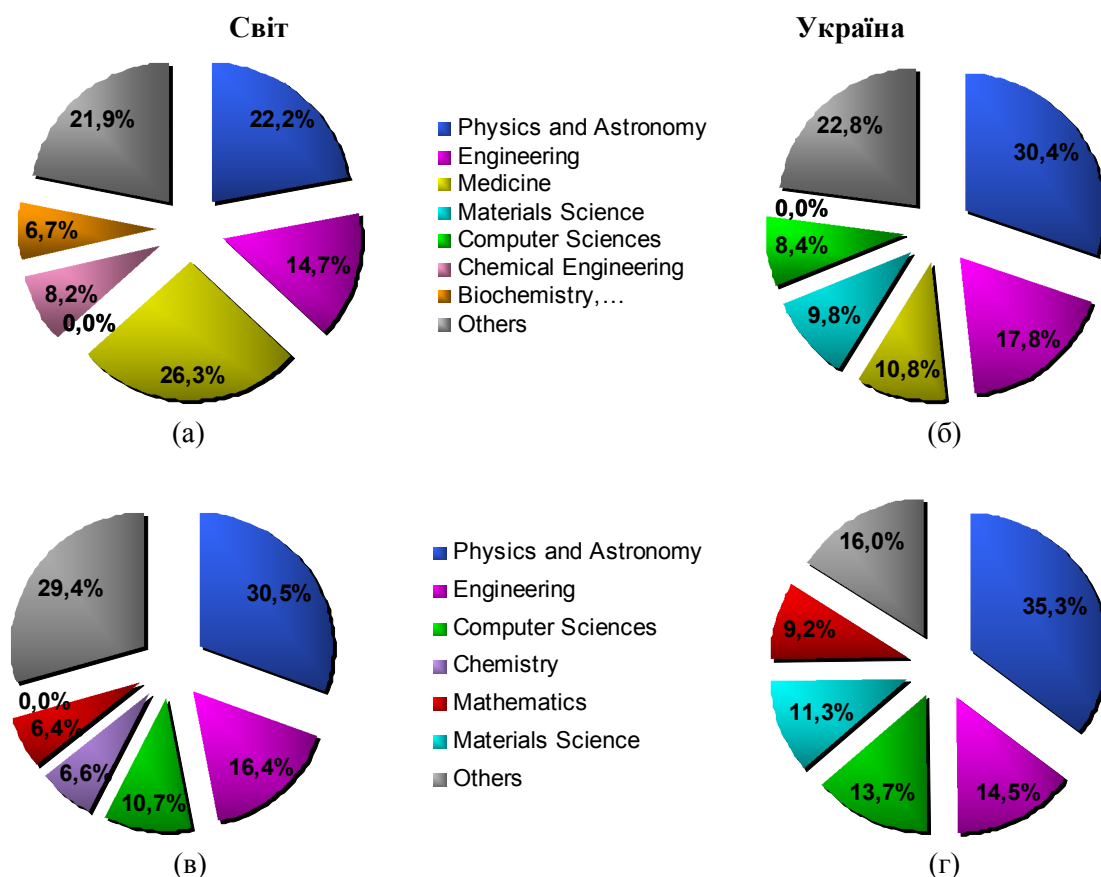


Рис. 2. Основні галузі знань публікацій за напрямками (а), (б) «Медична фізика» (Medical physics) і (в), (г) «Комп'ютерна фізика» (Computer physics)

Для України ситуація із державною підтримкою складніша. Дуже мала кількість публікації (рядок 6 табл. 2), де вказано виконання за сприянням НАНУ, МОНУ та ДФФД МОНУ. Зате є публікації із українськими вченими, дослідження яких підтримані Міністерством вищої освіти Малайзії, Комісією з атомної енергетики Сирії, Урядом Австралії, тощо. Найбільші спонсори для України – Australian Research Council, European Commission, Australian Nuclear Science and Technology Organization, Deutsche Forschungsgemeinschaft, тощо. Фінансують українські дослідження і загально світові спонсори: National Institutes of Health, National Science Foundation. Як правило, українські вчені виконують свої дослідження або в закордонних інституціях, вигравши певний дослідницький грант, або українська організація співпрацює із закордонною, та певний вчений (вчені) є співавтором статті. Однак, існує й інша проблема: науковці з України

часто не деталізують увагу на метаданих (не вказують виконання у рамках певного гранту), або просто виконують дослідження без фінансової підтримки. Лише близько чверті публікацій з українськими науковцями із проіндексованих мають відомості про фінансування дослідження.

Висновки. На основі аналітичних можливостей міжнародної наукометричної бази Scopus визначено основні тенденції розвитку медичної та комп'ютерної фізики у світі та Україні. Недостатнє представлення публікацій, які подаються від українських організацій пояснено низкою факторів:

1) початковим етапом в розвитку цих напрямів серед світової наукової спільноти, які спричинені потребами у наявності сучасної та дорогої матеріальної бази та ліцензованого програмного забезпечення;

2) відсутністю зовнішнього фінансування таких досліджень чи відсутністю чіткого інформування, за кошти яких саме грантів виконується конкретне дослідження;

3) публікацією актуальних результатів у виданнях суто «фізичних» чи «медичних» або «інформатики/комп'ютерних наук», замість більш популярних журналів у колі фахівців саме з медичної чи комп'ютерної фізики;

4) використанням ключових слів та анотацією, які більше актуальні саме фізиці, медицині чи комп'ютерним наукам, ніж медичній або комп'ютерній фізиці. Однак, міжнародна співпраця українських вчених заслуговує уваги та вказує на перспективи розвитку цих напрямів.

Список використаних джерел:

17. Leal Filho W., Raath S., Lazzarini B., et al. The role of transformation in learning and education for sustainability. *J. Cleaner Prod.* 2018. Vol. 199. P. 286–295.

18. Watson M.K., Lozano R., Noyes C., Rodgers M. Assessing curricula contribution to sustainability more holistically: Experiences from the integration of curricula assessment and students' perceptions at the Georgia Institute of Technology. *J. Cleaner Prod.* 2013. Vol. 61. P. 106–116.

19. Ferrer-Balas D., Buckland H., de Mingo M. 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). *J. Cleaner Prod.* 2009. Vol. 17, № 12. P. 1075–1085.

20. Nykyruy L., Fedosov S., Saliy Ya., Prokopiv V., Zamurujeva O., Yavorskyi R. Current research in the field of medical physics: Challenges for Ukraine. *Scientific Notes.* 2020. № 69. P. 82–91.

21. Wisz G, Nykyruy L, Yakubiv V, Hryhoruk I, Yavorskyi R. Impact of advanced research on development of renewable energy policy: Case of Ukraine. *Int. J. Renewable Energy Res.* 2018. Vol. 8, № 4. P. 2367–2384.

22. Nykyruy L.I., Zamurujeva O.V., Urban O.A., Fedosov S.A. The Impact of Scientific Research on the Development of Renewable Energy. *Perspective Technologies and Devices.* 2020. № 16. P. 82–91.

23. Agostinelli S., Allison J., Amako K., et al. GEANT4 - A simulation toolkit. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A.* 2003. Vol. 506, № 3. P. 250–303.

24. Grier D.G. A revolution in optical manipulation. *Nature.* 2003. Vol. 424, № 6950. P. 810–816.

25. Niemeyer C.M. Nanoparticles, proteins, and nucleic acids: biotechnology meets materials science. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2001. Vol. 40, № 22. P. 4128–4158.

26. West J.L., Halas N.J. Engineered nanomaterials for biophotonics applications: improving sensing, imaging, and therapeutics. *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 2003. Vol. 5, № 1. P. 285–292.

27. Junghanns J.U.A., Müller R.H. Nanocrystal technology, drug delivery and clinical applications. *Int. J. Nanomed.* 2008. Vol. 3, № 3. P. 295.

28. Sidky E.Y., Pan X. Image reconstruction in circular cone-beam computed tomography by constrained, total-variation minimization. *Phys. Med. Biol.* 2008. Vol. 53, № 17. P. 4777.

29. West J., Fitzpatrick J.M., Wang M.Y., et al. Comparison and evaluation of retrospective intermodality brain image registration techniques. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 1997. Vol. 21, № 4. P. 554–568.

30. Boas D.A., Dunn A.K. Laser speckle contrast imaging in biomedical optics. *J. Biomed. Opt.* 2010. Vol. 15, № 1. P. 011109.

31. Ashkin A. Optical trapping and manipulation of neutral particles using lasers. *Proc. National Acad. Sci.* 1997. Vol. 94, № 10. P. 4853–4860.

32. Strickland D., Mourou G. Compression of amplified chirped optical pulses. *Opt. Commun.* 1985. Vol. 55, № 6. P. 447–449.

33. Hasan M.Z., Kane C.L. Colloquium: Topological insulators. *Rev. Mod. Phys.* 2010. Vol. 82, № 4. P. 3045–3067.

34. Soler J.M., Artacho E., Gale J.D., et al. The SIESTA method for ab initio order-N materials simulation. *J. Phys.: Condens. Matter*. 2002. Vol. 14, № 11. P. 2745–2779.
35. Goldberger A.L., Amaral L.A., Glass L., et al. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*. 2000. Vol. 101, № 23. P. E215–220.
36. Newman M. *Networks: An Introduction* (Book). 2010. P. 1–784.
37. Fortunato S. Community detection in graphs. *Phys. Rep.* 2010. Vol. 486, № 3–5. P. 75–74.
38. Strogatz S.H. Exploring complex networks. *Nature*. 2001. Vol. 410, № 6825. P. 268–276.
39. Savel'ev S., Yampol'skii V.A., Rakhmanov A.L., Nori F. Terahertz Josephson plasma waves in layered superconductors: spectrum, generation, nonlinear and quantum phenomena. *Rep. Prog. Phys.* 2010. Vol. 73, № 2. P. 026501.
40. Wong J.H.D., Fuduli I., Carolan M., et al. Characterization of a novel two dimensional diode array the “magic plate” as a radiation detector for radiation therapy treatment. *Med. Phys.* 2012. Vol. 39, № 5. P. 2544–2558.
41. Rovira R.H., Tuzhanskyy S.Y., Pavlov S.V., et al. (2016, September). Polarimetric characterisation of histological section of skin with pathological changes. In *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016* (Vol. 10031, P. 100313E).
42. Capote R., Herman M., Obložinský P., et al. RIPL - Reference Input Parameter Library for Calculation of Nuclear Reactions and Nuclear Data Evaluations. *Nuclear Data Sheets*. 2009. Vol. 110, № 12. P. 3107–3214.
43. Trokhymchuk A., Alexandre J. Computer simulations of liquid/vapor interface in Lennard-Jones fluids: Some questions and answers. *J. Chem. Phys.* 1999. Vol. 111, № 18. P. 8510–8523.
44. Shulyak D., Tsymbal V., Ryabchikova T., Stütz Ch., Weiss W.W. Line-by-line opacity stellar model atmospheres. *Astron. Astrophys.* 2004. Vol. 428, № 3. P. 993–1000.