

УДК 577.3

Л.І. Никируй¹, С.А. Федосов², Я.П. Салій¹, В.В. Прокопів¹, О.В. Замуруєва², Р.С. Яворський¹¹Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника²Волинський національний університет імені Лесі Українки**АКТУАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ОБЛАСТІ МЕДИЧНОЇ ФІЗИКИ: ВИКЛИКИ ДЛЯ УКРАЇНИ**

Фундаментальні та прикладні дослідження з медичної фізики, з огляду на виклики пандемії, а також бажання людей зробити життя тривалішим та здоровим, відносяться до пріоритетних для всіх країн світу. Ця стаття аналізує публікації вчених у галузі „медична фізика”, з метою знайти закономірності щодо підтримки та розвитку цього напрямку у різних країнах та визначити перспективи для України. Розглянуто закономірності особливостей міжнародної співпраці, окреслено коло провідних видань у галузі, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток медичної фізики. Дослідження базується на результатах даних, опублікованих у міжнародній наукометричній базі Scopus. Виконано критичний аналіз та сформульовано рекомендації для покращення поширення результатів вітчизняних вчених у світовій спільноті за цим напрямком.

Ключові слова: медична фізика, публікації, наукові дослідження, h-індекс, Україна.

**Л.И. Никируй, С.А. Федосов, Я.П. Салий, В.В. Прокопий, О.В. Замуруева, Р.С. Яворский
АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ: ВЫЗОВЫ
ДЛЯ УКРАИНЫ**

Фундаментальные и прикладные исследования по медицинской физике, учитывая вызовы пандемии, а также желание людей сделать жизнь более длительным и здоровым, относятся к приоритетным для всех стран мира. Эта статья анализирует публикации ученых в области «медицинская физика», с целью найти закономерности по поддержке и развитию этого направления в разных странах и определить перспективы для Украины. Рассмотрены закономерности особенностей международного сотрудничества, очерчен круг ведущих изданий в области, проанализированы факторы влияния ученых разных стран на развитие медицинской физики. Исследование базируется на результатах данных, опубликованных в международной наукометрической базе Scopus. Выполнен критический анализ и сформулированы рекомендации для улучшения распространения результатов отечественных ученых в мировой общности по этому направлению.

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

**L. Nykyruy, S. Fedosov, Ya. Saliy, V. Prokopiv, O. Zamurujeva, R. Yavorskyuy
CURRENT RESEARCH IN THE FIELD OF MEDICAL PHYSICS: CHALLENGES FOR
UKRAINE**

Basic and applied research in medical physics, given the challenges of the pandemic, as well as the desire of people to make life longer and healthier, are a priority for all countries. This article analyzes the publications of scientists in the field of "medical physics", in order to find patterns for the support and development of this area in different countries and to identify prospects for Ukraine. The regularities of the peculiarities of international cooperation are considered, the circle of leading editions in the field is outlined, the factors of influence of scientists of different countries on the development of medical physics are analyzed. The study is based on the results of data published in the international scientometric database Scopus. A critical analysis has been made and recommendations have been formulated to improve the dissemination of the results of domestic scientists in the world community in this area.

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

Постановка проблеми. В останні роки все рідше зустрічаються публікації, що стосуються саме конкретних наук, як фізика, хімія, біологія, тощо. Замість них автори часто вказують галузі, які у певних наукових журналах асоціюються із науками, як, наприклад, матеріалознавство. 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», «Інженерія» та ін. Більше того, 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 біологія, фізика і математика, 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 напрямків. Тут можна перелічити такі спеціалізації, як відновлювальна

енергетика, медична фізика, мехатроніка, екологічна безпека, тощо. Це такі спеціальності, 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» галузях різних наук.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [1] вказується на важливості досліджень в галузі університетської освіти, оскільки концепція освіти для сталого розвитку ще не є достатньо інтегрованою в концепцію трансформації у закладах вищої освіти. Також, проблемним залишається питання підтримки створення нових міждисциплінарних курсів, адже вони часто вимагають нової та дорогої матеріальної бази. Відповідно, науковці при цьому теж не мають достатнього стимулу зі сторони своїх закладів [2]. Тому зміни такого типу, які пов'язані із введенням нових навчальних курсів відбуваються досить повільно [3]. Саме міждисциплінарні напрямки мають найбільшу перспективу розвитку [4, 5]

Постановка завдань. В роботі поставлено мету – виконати аналіз досліджень у напрямку «медична фізика», зробити спробу визначити специфіку цього напрямку у різних країнах та спрогнозувати розвиток такого напрямку у світі та Україні.

Методологія досліджень. Для дослідження зроблено аналіз публікацій, індексованих у наукометричній базі Scopus. Для аналізу відібрано статті із пошуку за ключовими словами у назві та анотації «Медична фізика». Для порівняння аналізувалися роботи, опубліковані авторами, які мають приналежність до інститутів та університетів в Україні, у світі, в загальному, та у певних країнах: країнах з «високою» економікою, які активно вкладають кошти у дослідження для медицини та які розташовані у різних частинах світу (США, Німеччина, Австралія, Ізраїль, Канада, Китай), країнах, які географічно близько розташовані відносно України та ввійшли в ЄС (Польща, Румунія, Литва), а також у кількох країнах, які мають приблизно схожі показники щодо кількості опублікованих праць за тематикою, як і Україна (Австрія, Туреччина, Іран).

Вибірку зроблено за результатом аналізу матеріалів: 100 найбільш цитованих публікацій із афіліацією в Україні; 100 найбільш цитованих публікацій із афіліацією у світі; 100 найбільш нових публікацій із афіліацією в Україні; 100 найбільш нових публікацій із афіліацією у світі.

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 (анотації чи повні тексти). Така методика була запропонована і апробована у [6-8].

Викладення основного матеріалу. Станом на кінець 2020 року у наукометричній базі Scopus зафіксовано 20 287 документів, що відповідають критерію пошуку «медична фізика». Сумарний h-індекс для них складає $h = 185$. Для дослідників з українських організацій кількість таких публікацій значно менша і складає 133 із h-індексом $h = 12$. На рис. 1 наведено діаграму країн із найбільшою кількістю публікацій, а також України та географічно чи за кількістю публікацій близьких до неї країн.

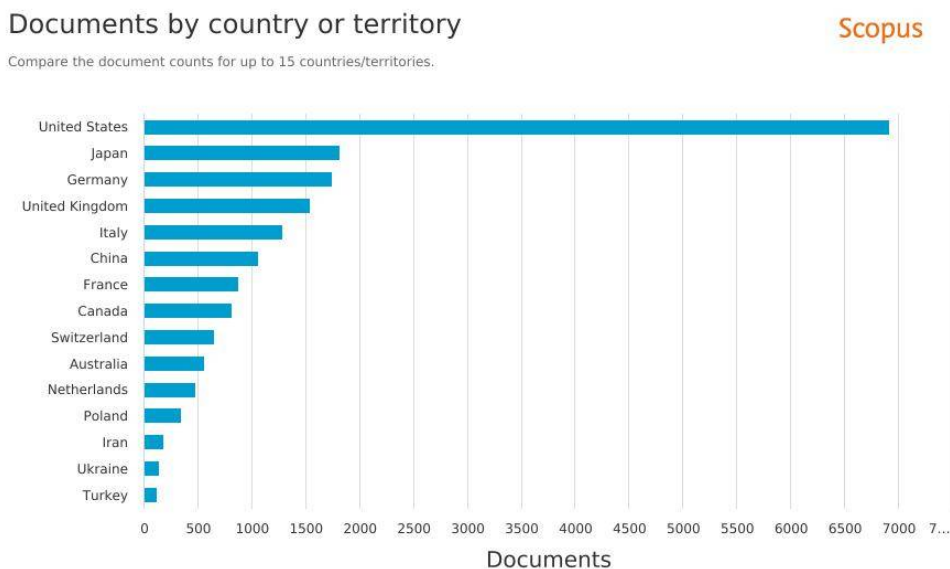


Рис. 1. Діаграма країн із найбільшою кількістю публікацій, а також України та географічно чи за кількістю публікацій близьких до неї країн

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

Таблиця 1

Статистичні дані для різних країн та для світової науки, в цілому, щодо кількості опублікованих праць, h-індексу, а також переважаючих компонентів (тип публікації, галузь, наукові видання, організації, що фінансують дослідження)

К-сть публікацій	h-індекс	Тип публікацій: С – стаття, М – матеріали конференції	Переважаючі галузі	Журнал	Країни-партнери	Спонсори	
1	2	3	4	5	6	7	8
Усі країни	20287	185	С (46%)	Медицина (31,4%) Фізика та астрономія (24,8%) Інженерія (9,6%)	<i>Journ. Of Appl. Clinical Med. Phys Health Phys. Medical Phys.</i> (IF = 3.3)	-	Nat.Inst. of health Nat. Cancer Inst. Japan Soc. For Promot. Sci.
США	6870	150	С (46,7%)	Медицина (36,5%) Фізика та астрономія (22,5%) Біохімія (9,7%)	<i>Journ. Of Appl. Clinical Med. Phys in Med. And Biology Health Phys.</i> (IF = 0.9)	Germany China UK Canada Italy	Nat.Inst. of health Nat. Cancer Inst. NSF
Німеччина	1734	71	М (47,8%)	Медицина (31,3%) Фізика та астрономія (23,6%) Інженерія (11,3%)	<i>Phys. in Med. And Biology Medical Phys. IEEE Nucl Sci</i> (IF - none)	USA UK Italy France Switzerland	Deutsche Forshung. EC Bundes. Fur Build.
Китай	1054	40	С (50,1%)	Медицина (36,5%) Фізика та астрономія (22,5%)	<i>IEEE Nucl Sci IFMBE Proc.</i>	USA Japan Germany Hong Kong	Nat. NSF of China Nat. Basic res. Prog. Chinese

К-сть публікацій	h-індекс	Тип публікацій: С – стаття, М – матеріали конференції	Переважаючі галузі	Журнал	Країни-партнери	Спонсори	
1	2	3	4	5	6	7	8
				<i>Біохімія</i> (9,7%)	(IF - none) <i>Journ. Of Appl. Clinical Med. Phys</i> (IF = 1.7)	Italy	Acad. Of Sci.
Канада	801	54	C (52,1%)	<i>Фізика та астрономія</i> (30,0%) <i>Медицина</i> (25,2%) <i>Інженерія</i> (13,4%)	<i>Medical Phys.</i> (IF = 3.3) <i>IEEE Nucl Sci Phys. In Med. And Biology</i> (IF = 2.9)	USA UK France Australia Germany	Natur.Sci. and Eng. Res. Canad. Inst. Of Health Res. Nat. Inst of Health
Австралія	552	34	C (46%)	<i>Медицина</i> (31,9%) <i>Фізика та астрономія</i> (25,9%) <i>Біохімія</i> (12,8%)	<i>Medical Phys.</i> (IF = 3.3) <i>Phys. In Med. And Biology</i> (IF = 2.9) <i>Journ. Of Appl. Clinical Med. Phys</i> (IF = 1.7)	USA UK Japan Germany Canada	Aust. Res. Couns. Eng. And Phys. Sci. Res. Nat. Health and Med. Res.
Польща	337	21	M (55,8%)	<i>Фізика та астрономія</i> (24,1%) <i>Медицина</i> (17,7%) <i>Інженерія</i> (14,2%)	<i>Proc. Of SPIE</i> (IF - none) Polish <i>Journ of Med. Phys and Eng</i> (Cite Sco = 0.5) <i>Report of Pract Oncol and radiot.</i> (Cite Sco = 0.9)	Germany Italy UK France Spain	EC Austrian Sci. Fund. Fund. Na rzez Nauki
Австрія	287	35	-	-			
Іран	169	15	-	-			
Україна	133	12	M (51,9%)	<i>Фізика та астрономія</i>	<i>Proc. Of SPIE</i>	Australia Poland	Austral. Res.

К-сть публікацій	h-індекс	Тип публікацій: С – стаття, М – матеріали конференції	Переважуючі галузі	Журнал	Країни-партнери	Спонсори	
1	2	3	4	5	6	7	8
				(31,8%) <i>Матеріалознавство</i> (15,0%) <i>Інженерія</i> (13,8%)	(IF - none) <i>IEEE Trans of Nucl Sci</i> (IF - none) <i>IEEE Nucl Sci</i> (IF - none)	Kazakhstan USA RF	Counc. EU Nat. Health and Med. Res. Cent.
Туреччина	113	14	C (54%)	<i>Медицина</i> (27,6%) <i>Фізика та астрономія</i> (20,5%) <i>Біохімія</i> (10,0%)	<i>IFMBE Proc.</i> (IF - none) <i>Phys. In Med. And Biology</i> (IF = 2.9) <i>AIP Conf Proc.</i> (IF - none)	USA Germany Italy UK Iran	Turkiye Bilimsel ve Tek. Nat. Inst of Health Nat. Cancer Inst.
Ізраїль	110	23	C (50,9%)	<i>Фізика та астрономія</i> (23,3%) <i>Медицина</i> (19,0%) <i>Інженерія</i> (11,9%)	<i>IFMBE Proc.</i> (IF - none) <i>IEEE Nucl Sci</i> (IF - none) <i>AIP Conf Proc.</i> (IF - none)	USA Germany UK France Italy	Israel Sci. Found. EU NSF
Румунія	108	14	M (55,6%)	<i>Фізика та астрономія</i> (32,1%) <i>Інженерія</i> (17,5%) <i>Медицина</i> (9,4%)	<i>AIP Conf Proc.</i> (IF - none) <i>IOP Conf Ser.</i> <i>Materials</i> (IF - none) <i>Digest Journ of Nanometer and Biostruct</i> (IF = 0.78)	Italy Germany Japan France UK	EU EU reg. Dev. Fund Nat. Natur. Sci. Found.
Литва	23	7	C (56,5%)	<i>Фізика та астрономія</i> (28,6%) <i>Медицина</i> (22,4%) <i>Біохімія</i> (12,2%)	<i>IFMBE Proc.</i> (IF - none) <i>Physica Medica</i> (IF = 2.5) <i>AIP Conf</i>	Italy Czech Republic Germany Malta UK	EU Eu Soc. Fund Lietuvos Mokslo Taryba

К-сть публікацій	h-індекс	Тип публікацій: С – стаття, М – матеріали конференції	Переважаючі галузі	Журнал	Країни-партнери	Спонсори	
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Proc.</i>							
(IF - none)							

У таблиці 1 країни, показники яких брали для аналізу, розташовані у порядку спадання кількості публікацій. Тому, відповідно до цих значень цікавим є розподіл по індексу Хірша (h-індексу). Ці дані мають дещо відмінний характер (рис. 2). Зокрема, лінія демонструє плавний хід (зменшення), у відповідності до даних за наведеними країнами. У той же час, стовпчики гістограми, які вказують на значення h-індексу, не демонструють такого ж плавного спадання, як лінія. Це вказує, що важливим фактором є якість публікацій. Так, на прикладі Австрії видно, що менша кількість публікацій, проіндексованих у базі Scopus, може дати вищий h-індекс, ніж, наприклад, Польща, яка має трохи більше публікацій. Або Австралія, вчені якої мають майже вдвічі більшу кількість опублікованих праць за тематикою, і майже наздоганяє за кількістю Китай, представники якого мають втричі більше публікацій. Це відбувається за рахунок кількох факторів: якості кожної публікації, їх «видимості» для наукової спільноти, їх поширенню.

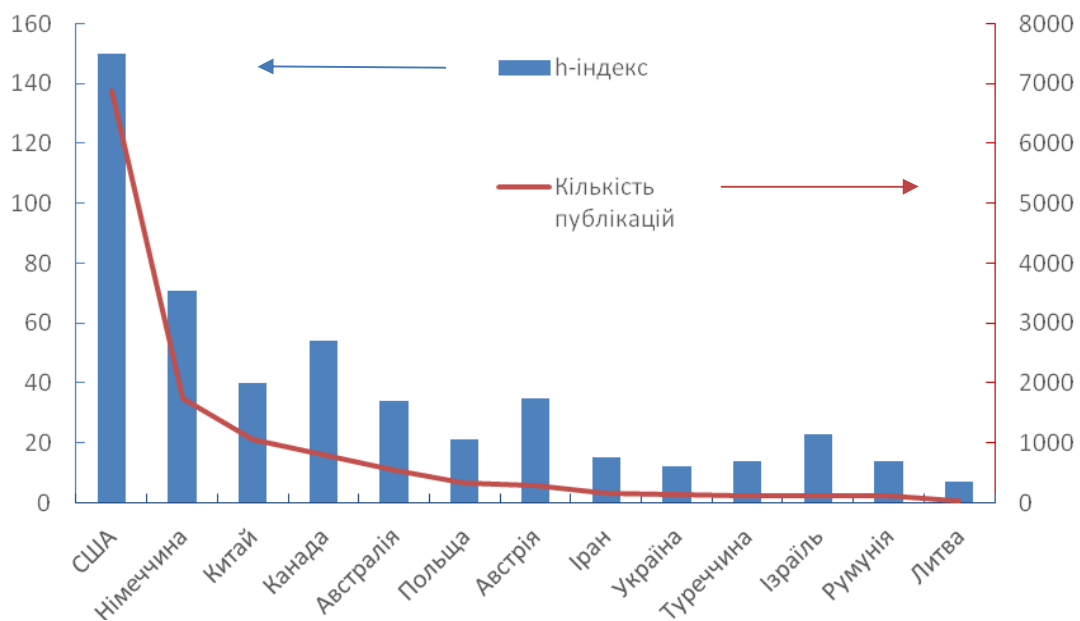


Рис. 2. Співвідношення між кількістю публікацій та h-індексом за тегом «медична фізика». Аналітичні дані отримано на основі використання можливостей Scopus

Для України, на жаль, ситуація із кореляцією кількості публікацій та h-індексу є, у певному плані, «від'ємною», тобто, країни, що мають приблизно таку ж кількість публікацій (Туреччина, Іран, Ізраїль, Румунія), випереджають нас за якістю. Для пояснення цього було проаналізовано, які типи публікацій та у яких виданнях публікують науковці різних країн (стовпчики 4 і 6, табл. 1). Відразу привертає увагу те, що країни-лідери за кількістю і якістю публікацій максимально публікують результати своїх досліджень у практично 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, імпаکت-фактори цих журналів не є надто високими, які б могли бути для топових

журналів з фізики чи медицини: *Medical Phys.* (IF = 3.3), *Phys. in Med. And Biology* (IF = 2.9), *Physica Medica* (IF = 2.5), *Journ. Of Appl. Clinical Med. Phys* (IF = 1.7), *Health Phys.* (IF = 0.9). Часто такими виданнями є профільні конференції, як *IFMBE Proc.* (IF - none). 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. Так само, ці збірники конференційних матеріалів публікуються за участь вчених саме з цього «пулу» держав. Зокрема, топ-видань для представників з України наступний: *Proc. Of SPIE* (IF - none), *IEEE Trans of Nucl Sci* (IF - none), *IEEE Nucl Sci* (IF - none). 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). Хоча, вчені інших країн, близьких до України за кількість публікацій, а також географічно близько розташованих, більше звертають увагу на конференції, результати яких публікуються у *AIP Conf Proc.* (IF - none) чи *IOP Conf Ser. Materials* (IF - none).

Дещо складніше робити висновки за галуззю, по якій позиціонується певна публікація. Для всіх публікацій по світу, лідерство тримають *Медицина* (31,4%), *Фізика та астрономія* (24,8%) та *Інженерія* (9,6%). Це 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 напрям «Фізика та астрономія», то можна припустити, що представники відповідних країн починають розвивати дану галузь, намагаються знайти застосування результатів своїх колективів для медицини, але опираються, у більшості на попередні результати. Однак, це не завжди справедливе. Часто такі напрямки 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.

Схожим є аналіз країн, з представниками яких частіше йдуть на співпрацю. Як правило, це країни, які мають можливість надати матеріальну базу високого рівня. Закономірно там бачити Великобританію, Німеччину, США. Хоча США, не дивлячись на високий економічний потенціал, незначно програють у цій трійці країн, незважаючи навіть на суттєво вищі показники і за кількістю публікацій, і по значенню індекса Хірша. Поясненням цього може бути значно вища підтримка досліджень у області медичної фізики у державі та, відповідно, значна кількість публікацій без іноземних партнерів. Підтвердженням такого припущення є дані, наведені у стовпчику 8 таблиці 1. Як видно, два найбільші спонсори організацій з США співпадають із двома найбільш потужними спонсорами таких досліджень у світі: *National Institute of Health* (USA) та *National Cancer Institute* (USA). Аналіз основних спонсорів для кожної країни свідчить про зацікавленість держав у власній їх підтримці (США, Німеччина, Китай, Канада, Австралія – переважають саме національні спонсори). Для новіших країн – членів ЄС спостерігається змагання їх організацій за отримання грантів ЄС (рамкові програми ЄС): Польща, Румунія, Литва. Для України ситуація із державною підтримкою складніша, всього є 2 такі публікації: 1 публікація, де вказано, що вона виконана за сприяння НАНУ та 1 – за підтримки ДФФД МОНУ. Зате є 2 публікації із українськими вченими, дослідження яких підтримані Міністерством вищої освіти Малайзії, 1 – Комісією з атомної енергетики Сирії, 1 – Урядом Австралії, тощо. Найбільший спонсор для України тут – *Дослідницьке агентство Австралії* (4 роботи), програми ЄС (3 роботи). Висновком тут є те, що українські вчені, як правило, 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, тут є й інша проблема: науковці з України часто просто не вказують, що їх робота виконувалася у рамках певного гранту, або не деталізують увагу на деталях при поданні метаданих (вказується лише фізика, або лише медицина, але без мультидисциплінарності), або просто виконують дослідження без фінансової підтримки, з метою започаткування такого нового для себе напрямку. Наприклад, виконувалися певні грантові дослідження за кошти наукової програми НАТО «Наука заради миру та безпеки» (матеріали для медицини для військових), але саме НАТО не вказано, як спонсор у жодній статті. Лише 30 публікацій із проіндексованих 133 мають відомості про фінансування дослідження.

Інформативним є також і аналіз за кількістю публікацій з роками для різних країн. На рис. 3 наведено такі дані для Німеччини, як однієї з країн, яка має стабільно високі показники у цій сфері. Очевидний поступовий ріст та різке збільшення кількості таких праць у 2009 році, коли у світі була зафіксована епідемія грипу H1N1. Новий пік припав на 2020 рік, коли почалася пандемія COVID-19. Це вказує на мобілізацію зусиль вчених з метою якомога швидшої відповіді на такі виклики.

Аналіз самих публікацій за тегом «медична фізика» вказує на практичне значення таких досліджень. Найбільш цитована публікація у світі за напрямком «медична фізика», до написання якої долучилися 127 співавторів, вивчає широкий спектр функціональних можливостей набору інструментів GEANT4 для імітації проходження частинок через речовину [9]. До найбільш цитованих відноситься ціла серія робіт, присвячених дослідженню оптичних пінцетів, які можуть маніпулювати об'єктами від кількох десятків нанометрів [10], біохімічним дослідженням для розробки ліків із акцентом на наночастинки [11-13], дослідженню, розробці діагностичних пристроїв та обробці зображень [14-18], тощо. 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 (А. Ashkin, G.A. Mourou, D Strickland) за дослідження та розробку лазерних пристроїв для медицини. Причому, найбільш цитовані статті опубліковані не лише у журналах типу *Nature* (SNIP 8.8), *Chemical Review* (SNIP 12.8), *Reports on Progress in Physics* (SNIP 5.8), *Medical Image Analysis* (SNIP 5.4) та ін., але й у великій кількості матеріалів конференцій, як *IEEE Transactions on Nuclear Science* (SNIP 1.3), *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (SNIP 2.6), *IEEE Transactions on Nuclear Science* (SNIP 1.3), що вказує на важливість участі науковців у роботі таких заходів, представлення на них своїх результатів.

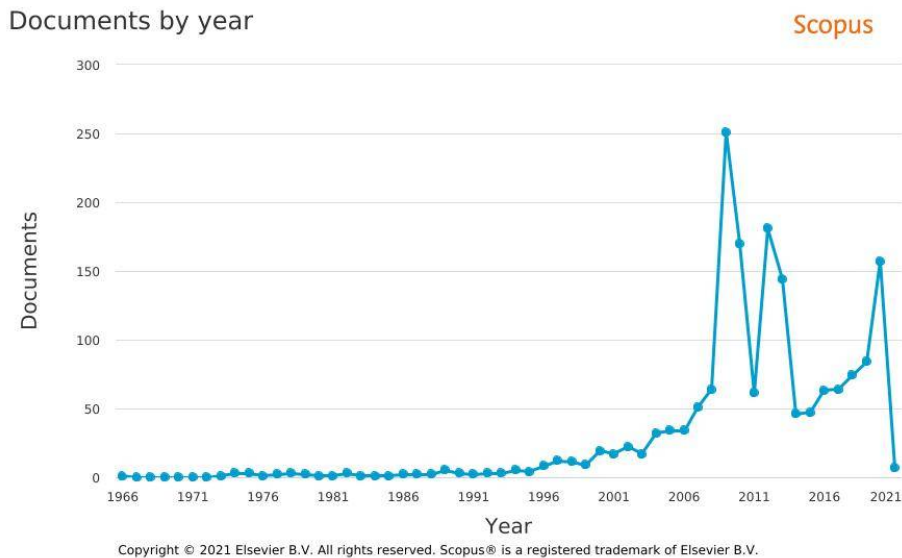


Рис. 3. Кількість опублікованих документів авторів з німецьких організацій, що проіндексовані базою Scopus

Найбільш цитовані публікації українських вчених є у співавторстві з колегами із Японії, Великобританії, США, РФ [19] (Інститут радіофізики та електроніки імені Я. Усикова НАН України, Харків), Австралії [20] (SPA BIT, Київ), Екватору та Польщі [21] (Вінницький національний технічний університет) та стосуються розвитку детекторів випромінювання різного типу, аналізуючи при цьому фізику процесів у речовині (випромінювання плазмових хвиль Джозефсона [1], створення епітаксійних кремнієвих детекторів [2] та методів виявлення поляризації у біологічних тканинах [3]) та досліджуючи прикладне застосування кінцевих пристроїв на їх основі.

Висновки. На основі аналітичних можливостей міжнародної наукометричної бази Scopus визначено основні тенденції розвитку медичної фізики у світі та Україні.

Недостатнє представлення публікацій, які подаються від українських організацій пояснено низкою факторів: початковим етапом в розвитку цього напрямку серед світової наукової спільноти, які спричинені потребами у наявності сучасної та дорогою матеріальної бази (1), практичною відсутністю зовнішнього фінансування таких досліджень чи відсутністю чіткого інформування, за кошти яких саме грантів виконується конкретне дослідження (2), публікацією актуальних результатів у суто «фізичних» чи «медичних» виданнях, замість більш популярних журналів у колі фахівців саме «медичної фізики» (3), відсутністю фінансування для участі у профільних міжнародних конференціях (4), використанням ключових слів та описом анотацій, які більше актуальні саме фізиці та медицині, ніж медичній фізиці. Хоча слід зазначити, що міжнародна співпраця українських вчених заслуговує уваги та вказує на перспективи розвитку цього напрямку.

Список використаних джерел:

1. 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.
2. Hoover E., Harder M.K. What lies beneath the surface? The hidden complexities of organizational change for sustainability in higher education. *J. Cleaner Prod.* 2015. Vol. 106. P. 175–188.
3. 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.
4. 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.
5. Sterling S. The sustainable university: Challenge and response. *The sustainable university: Progress and prospects.* Abingdon : Routledge, 2013. P. 17–50.
6. 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.
7. Nykyruy L., Yakubiv V., Wisz G., Hryhoruk I., Zapukhlyak Z., Yavorskyi R. Renewable Energy in Ukraine-Poland Region: Comparison, Critical Analysis and Opportunities. In book: *Renewable Energy-Resources, Challenges and Applications.* IntechOpen, 2020. 23 p.
8. 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.
9. Agostinelli S., Allison J., Amako K.A., et al. Geant4 – A simulation toolkit. *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment.* 2003. Vol. 506, № 3. P. 250–303.
10. Grier D.G. A revolution in optical manipulation. *Nature.* 2003. Vol. 424, № 6950. P. 810–816.
11. Niemeyer C.M. Nanoparticles, proteins, and nucleic acids: biotechnology meets materials science. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2001. Vol. 40, № 22. P. 4128–4158.
12. 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.
13. Junghanns J.U.A., Müller R.H. Nanocrystal technology, drug delivery and clinical applications. *Int. J. Nanomed.* 2008. Vol. 3, № 3. P. 295.
14. 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.
15. 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.
16. Boas D.A., Dunn A.K. Laser speckle contrast imaging in biomedical optics. *J. Biomed. Opt.* 2010. Vol. 15, № 1. P. 011109.
17. Ashkin A. Optical trapping and manipulation of neutral particles using lasers. *Proc. National Acad. Sci.* 1997. Vol. 94, № 10. P. 4853–4860.
18. Strickland D., Mourou G. Compression of amplified chirped optical pulses. *Opt. Commun.* 1985. Vol. 55, № 6. P. 447–449.

19. 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.

20. 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.

21. Rovira R.H., Tuzhansky 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). International Society for Optics and Photonics.