

ФІЗИКА. МАТЕМАТИКА

УДК 378:577.3]:001.891

DOI: 10.37026/2520-6427-2022-112-4-66-71

Микола БОРДЮК,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри фундаментальних дисциплін
КЗВО «Рівненська медична академія»,
м. Рівне, Україна
ORCID: 0000-0001-7693-8343
e-mail: bordiuk57@ukr.net

Тетяна ШЕВЧУК,

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри фізики, астрономії
та методики викладання
Рівненського державного
гуманітарного університету,
м. Рівне, Україна
ORCID: 0000-0002-8351-2161
e-mail: t.shevchuk81@gmail.com

Володимир БОРДЮК,

кандидат педагогічних наук,
заступник директора з науково-педагогічної роботи
Рівненського обласного інституту
післядипломної педагогічної освіти,
м. Рівне, Україна
ORCID: 0000-0001-9843-789X
e-mail: sofroniy.km@gmail.com

УПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СУЧАСНИХ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У КУРСИ МЕДИЧНОЇ ТА БІОЛОГІЧНОЇ ФІЗИКИ

Анотація. У статті проаналізовано результати сучасних фізичних досліджень у галузях біології, медицини, фармакології, зокрема продемонстровано можливість упровадження їх у програми курсів медичної та біологічної фізики, що дозволяє формувати в студентів сучасну наукову картину світу, суспільну свідомість, як вищого рівня психологічного відтворення природного і штучного середовища, власного внутрішнього світу, рефлексії відносно місця та ролі людини в біологічному, фізичному та хімічному світі, а також саморегуляції такого відтворення.

Наголошується, що майбутніх фахівців у закладах вищої освіти слід навчати за принципом «освіта впродовж життя», який покликаний забезпечити синергетичність знань, можливість їхньої корекції з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки. За умов втілення такого підходу в

курсах медичної та біологічної фізики реалізуються загальні та специфічні принципи навчання, зокрема: принцип єдності наукової і навчально-методичної діяльності кафедр і викладачів; принцип поєднання навчальної та науково-дослідної праці студентів; принципи добору змісту навчального матеріалу; принцип інформаційної ємності та соціальної значущості; принцип органічної єдності теоретичної та практичної підготовки студентів; принцип забезпечення творчої активності та самостійності студентів у навчальному процесі. Зроблено висновок, що в ході проведення лабораторного практикуму з біофізики елементи наукових досліджень сприяють формуванню фундаментальних та фахових знань.

Ключові слова: наукові дослідження, медична й біологічна фізика, принцип, синергетичність, знання, студенти.

Mykola BORDYUK,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Fundamental Disciplines of

Rivne Medical Academy,
Rivne, Ukraine
ORCID: 0000-0001-7693-8343
e-mail: bordiuk57@ukr.net

Tetyana SHEVCHUK,
Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Physics,
Astronomy and teaching methods,
Rivne State Humanitarian University,
Rivne, Ukraine
ORCID: 0000-0002-8351-2161
e-mail: t.shevchuk81@gmail.com

Volodymyr BORDYUK,
Candidate of Pedagogical Sciences,
Head's assistant from scientific
and pedagogical work,
Rivne Regional Institute
of Postgraduate Pedagogical Education,
Rivne, Ukraine
ORCID: 0000-0001-9843-789X
e-mail: sofroniy.km@gmail.com

IMPLEMENTATION OF THE RESULTS OF MODERN SCIENTIFIC RESEARCH IN MEDICAL AND BIOLOGICAL PHYSICS COURSES

Abstract. *It has been analyzed the results of modern physical research in the field of biology, medicine, and pharmacology. The possibility of introducing them into the programs of medical and biological physics courses is shown, which allows students to form a modern scientific picture of the world, social consciousness, as a higher level of psychological reproduction of the natural and artificial environment, their inner world, reflection on the place and role of man in the biological, physical and chemical world, as well as self-regulation of such reproduction. Accordingly, future specialists in institutions of higher education should be trained according to the principle of «lifelong education».*

This approach ensures the synergy of knowledge, the possibility of their correction taking into account modern achievements of science and technology. When implementing such an approach, general and specific principles of learning are implemented in medical and biophysics courses, in particular, the principle of unity of scientific and educational and methodological activities of departments and teachers; the principle of combining educational and research work of students; principles of selecting the content of educational material; the principle of information capacity and social significance; the principle of organic unity of theoretical and practical training of students; the principle of ensuring creative activity and independence of students in the educational process. It has been noted that during the laboratory workshop in biophysics, the elements of scientific research contribute to the formation of fundamental and professional knowledge.

Key words: *scientific research, medical and biological physics, principle, synergy, knowledge, student.*

Постановка проблеми. Науково-технічний прогрес спричинив зміни, завдяки яким за короткий термін людство зробило величезний крок уперед до оволодіння і пізнання процесів природи та їхнього практичного використання. Такі напрями в науці, як теорія відносності, квантова механіка, атомна та ядерна фізика, фізика і хімія макромолекулярних систем, кібернетика, молекулярна біологія, генна інженерія, біоніка тощо, визначають обличчя сучасної науки. Однак варто зауважити, що інтенсивний розвиток науки породжує й величезне накопичення матеріалу, значного об'єму інформації. Різні наукові галузі охоплюють усе більше сфер людської діяльності, що зумовлює процеси інтеграції фундаментальних наукових напрямів (Вайнберг, 2019, с. 243).

Розвиток сучасної науки зумовлений тим, що принцип функціонування будь-яких систем необмежений виявом лише певної кількості закономірностей. Це зі свого боку призводить до того, що основні наукові відкриття відбуваються в тих галузях, що визначають «межу» між різними напрямками, наприклад, фізикою і хімією, фізикою та біологією. Такі процеси в сучасній науці, а також глобальні зміни в природному й інформаційному просторах вимагають нових підходів до процесів навчання і виховання в закладах передвищої та вищої освіти. Відповідно освіта і професійна підготовка потребують непрямих енергетичних внесків, аби підтримувати відповідну матеріальну інфраструктуру й людську компетентність (Сміл, 2020, с. 23).

Перспективним напрямом розв'язання окресленої проблеми є впровадження в інтегровані курси природничих дисциплін, зокрема медичної та біологічної фізики, матеріалів сучасних наукових досліджень.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Проблеми вивчення курсів медичної та біологічної фізики проаналізовані з позицій європейської інтеграції, що впливає на всі сфери життєдіяльності сучасного суспільства. Не є винятком і система вищої професійної освіти, зокрема й медичної (Хоменко, 2019, с. 72). Так, метою викладання біофізики у закладах медичної освіти Польщі є здобуття знань з таких напрямів, як молекулярна біофізика та клітини; біофізика фізіологічних систем; механізми фізичних факторів, що діють на організм; фізичні основи обраних діагностичних та терапевтичних методик. У результаті такого навчання студент повинен досягти розуміння понять та законів фізики, уміти їх застосовувати для опису процесів фізіологічних, у біології клітин і тканин, а також засвоїти навички використання вимірних приладів та медичної апаратури з можливістю оцінювати точність вимірювань і похибок.

У роботі (Суховірська, 2019, с. 141) пропонуються методичні рекомендації щодо створення віртуальних лабораторних робіт на заняттях із медичної й біологічної фізики для студентів з напрямку підготовки 1201 «Медицина», зокрема описуються основні структурні підрозділи (меню та підменю), характеристики й можливості використання в освітньому процесі розробленого авторами програмного продукту, що віртуально реалізує основні етапи підготовки пацієнта до хірургічного втручання на відкритому серці з використанням апарата штучного кровообігу «SORIN C5». Визначені переваги проведення віртуальних лабораторних робіт із гемодинаміки, а також здійснений аналіз навчального матеріалу з метою вдосконалення професійної складової навчання студентів-медиків та їхніх інформаційних і предметних компетентностей. Розглянуто можливості розробки серії лабораторних робіт із подальшим їх розміщенням у віртуальному навчальному середовищі.

На основі аналізу програм із традиційного курсу «Фізика та астрономія», «Основи біологічної фізики та медична апаратура», фахових (клінічних) дисциплін і розроблення інтегрованих зроблено висновки про дієвий механізм глибокої інтеграції фундаментальних дисциплін у фахові, а також завдяки залученню викладача до реалізації міжпредметних зв'язків, що сприяє процесу формування фахової

компетентності майбутніх молодших медичних спеціалістів (Яковишнена, 2019, с. 333).

Мета статті – продемонструвати можливості використання викладачем та студентами сучасних наукових досліджень у процесі вивчення курсів медичної та біологічної фізики.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розробка навчальних програм курсів медичної та біологічної фізики передбачає врахування сучасного розвитку медицини як третього етапу – молекулярної медицини (Кайку, 2013, с.145). Підручтя щодо злиття фізики та медицини, зведення уявлень в медицині до атомів, молекул і генів було закладено в роботі «Що таке життя» Ервіна Шрьодінгера, австрійського фізика, одного із засновників квантової фізики, іще у 40-х роках ХХ століття. У 1953 році фізик Френсіс Крік та генетик Джеймс Ватсон відкрили подвійну спіраль ДНК. Це відкриття зумовило стрімкий розвиток молекулярної генетики і реалізації проекту «Геном людини» у наш час.

Аналіз навчальної програми з медичної та біологічної фізики для галузі знань 22 «Охорона здоров'я» спеціальності 223 «Медсестринство» (Бордюк, 2022) вказує на те, що вивчення кожної теми в лекційному курсі біофізики дозволяє включати інформацію про сучасні наукові дослідження в галузі фізики, біології, медицини. Особливе місце в такій роботі відводиться формуванню сучасної наукової картини світу, суспільної свідомості як вищого рівня психологічного відтворення природнього і штучного середовища, свого внутрішнього світу, рефлексії відносно місця та ролі людини в біологічному, фізичному та хімічному світі, а також саморегуляції такого відтворення.

У ході роботи із сучасною науковою інформацією викладачеві слід враховувати як логічні, так і емоційно-чуттєві психологічні механізми сприйняття відповідного матеріалу. У зв'язку з цим майбутніх медиків у закладах вищої освіти потрібно навчати за принципом «освіта впродовж життя», який забезпечує синергетичність знань, можливість їхньої корекції з урахуванням сучасних досягнень науки і техніки.

Зважаючи на такі підходи, загальна схема включення результатів сучасних наукових досліджень до курсу біофізики представлена на *рисунку*.



Рис. Сучасні наукові дослідження в біофізиці та медицині

Для прикладу, розглянемо матеріал сучасних наукових досліджень в галузі біомеханіки та молекулярної біології, який використовується в цьому курсі.

У ході вивчення поведінки біологічних тканин при різних видах деформації та їхньої поведінки в слових полях важливою лінійною механічною характеристикою є коефіцієнт Пуассона. В наш час увагу дослідників привертають методи підвищення експлуатаційних характеристик традиційних матеріалів шляхом реалізації структур, що володіють нелінійними й аномальними деформаційними властивостями, аж до отримання адаптивної (приспосувальної) механічної реакції матеріалів на зовнішній вплив. До таких аномалій можна віднести матеріали з від'ємним коефіцієнтом Пуассона – ауксетики (Shevchuk, Bordyuk, Krivtsov, 2021; Shevchuk, Bordyuk, Mashchenko, 2022). Дослідження властивостей ауксетичних матеріалів розкриває можливості їхнього використання в різних напрямках науки, техніки, життєдіяльності людини. Так, ауксетичні матеріали використовуються як засоби поглинання енергії, інтелектуальні фільтри, засоби захисту, датчики, в контролюючих системах, навігації, авіації, спортивній галузі, архітектурних програмах, а також для пошуку нових архітектурних форм. Важливими серед матеріалів із негативним коефіцієнтом Пуассона є полімерні ауксетики, що також застосовуються в різних галузях, зокрема в інженерній та медичній, де є потреба у використанні розумних та високоефективних матеріалів. Такі ауксетичні полімерні матеріали поєднують високу жорсткість і міцність зі значною економією ваги, стійкістю до корозії, хімічною стійкістю та зменшення витрат. Ауксетичні полімерні матеріали є неабияким потенціалом для різних галузей техніки, природничих наук та біомедичної інженерії, а також для багатьох галузей промисловості, як-от аерокосмічна та оборонна. Упродовж останніх років значний прогрес досягнуто в моделюванні ауксетичних властивостей та структури полімерних систем із від'ємним коефіцієнтом Пуассона. На основі подібних моделей у медичній інженерії ведуться розробки ауксетичних стентів. Створення таких систем дозволяє досягти значущих результатів у лікуванні атеросклеротичного пошкодження судин методами ендovasкулярних технологій, зокрема ангіопластики стентування судин.

Розгляд питань, пов'язаних із процесами поширення і дії механічних хвиль на живий організм, дозволяє аналізувати сучасні досягнення фізики ультразвуку і його використання в медичній практиці. Наприклад, нині спостерігається бурхливий розвиток нових медичних технологій фокусування ультразвуку високої інтенсивності – HIFU (*від англ. – High Intensity Focused Ultrasound*) для неінвазивного руйнування пухлин різних внутрішніх органів – матки, печінки, нирок, щитовидної залози (Ramaekers, 2016). Принцип роботи HIFU базується на фокусуванні потужного ультразвукового пучка через узгоджувальне середовище в область планованого руйнування, а саме руйнування тканини може відбуватися як завдяки тепловому некрозу внаслідок її локального нагрівання, так і завдяки механічному впливу. Для режимів теплового руйнування тканини, що традиційно використовуються у

клінічній практиці при опроміненні її гармонійними хвилями, було виявлено низку обмежень, серед яких слід виділити невисоку швидкість об'ємної абляції та непередбачуваність кінцевого обсягу руйнування. Для їхнього подолання було запропоновано використовувати нелінійні імпульсно-періодичні режими опромінення, коли середня за часом потужність пучка залишається постійною, а збільшення пікової потужності компенсується зменшенням коефіцієнта заповнення. У випадку сильного прояву нелінійних ефектів у фокусі випромінювача формуються високоамплітудні ударні фронти. Різка збільшення поглинання енергії пучка на розривах дає змогу прискорити процес теплової абляції тканини й отримати більш локалізовані руйнування завдяки зменшенню ефектів теплової дифузії.

У ході вивчення процесів деформації клітин актуальним є питання моделювання проникнення в неї коронавірусу. Модель є континуальною, у ході розрахунків використовуються методи теорії пружності (Vulavin, 2021). Деформування, що супроводжує проникнення коронавірусу, складається із двох стадій: на першій деформації цитоплазматичної мембрани є пружними, на другій – відбувається руйнування її структури. Отримано залежність енергії системи «коронавірус – клітина» від розміру контактної зони, що розмежовує коронавірус і клітину. Доведено існування енергетичного бар'єра, що розділяє обидві стадії процесу деформування. Ця обставина призводить до зупинки проникнення коронавірусу на кінець першої стадії. Подолання енергетичного бар'єра, що необхідне для подальшого проникнення, відбувається завдяки тепловим флуктуаціям.

На сучасному етапі для дослідження процесів кровообігу широко застосовується математичне та аналогове моделювання. Основою математичних моделей у більшості випадків є рівняння гідродинаміки. До особливостей фізичної моделі слід віднести замкнутість і розгалуженість серцево-судинної системи, а також еластичність судин. Сучасний погляд на будову судинної системи полягає в тому, щоб розглядати її як фрактальний чи, точніше, мультифрактальний об'єкт. Фрактальний аналіз включає визначення фрактальної розмірності та інших фрактальних характеристик об'єкта (Shevchuk, Bordyuk, Krivtsov, 2020). Фрактали задовольняють два критерії: самоподібність та дробову розмірність. Мультифрактал складається з окремих частин, кожна з яких має свою властивість самоподібності. Важливим прикладом застосування мультифракталів є аналіз сигналів та поведінки хаотичних систем. Сучасний підхід до опису структур людського організму містить елементи мультифрактального аналізу. Такий підхід дозволяє виявити найбільш характерні особливості регуляції більшості фізіологічних процесів. Порушення фрактальності в будові та поведінці системи життєзабезпечення може слугувати першою ознакою початку хвороби або навіть свідчити про наближення критичної ситуації. Математичні моделі, в основу яких покладено аналіз хаотичної поведінки динамічних систем, дають медикам додаткову інформацію для прийняття рішень щодо вибору шляху лікування пацієнтів.

У зв'язку зі значною зацікавленістю дослідників

проблемами отримання і застосування в медицині нанорозмірних частинок ряду елементів як металічної, так і неметалічної природи та використання їхніх унікальних терапевтичних властивостей ці питання розглядаються у процесі вивчення молекулярної біології. Зокрема, наночастинки використовуються у складі лікарських препаратів, апікаційних перев'язочних матеріалів, у процесі створення нових типів біодобавок та в системах доставки ліків (біороботах). Вони мають покращені щодо інших форм, що використовуються, властивості за дифузією, розчинністю, імуногенністю, є менш токсичні. Це дає змогу суттєво оптимізувати терапію та зробити її більш ефективною. Наночастинки можуть також використовуватися в нових діагностичних методах і техніках для ранньої діагностики захворювань. Водночас зазначається, що їхнє використання в медицині визначається форм-фактором частинок, розмірозалежністю їхньої біологічної активності та векторності дії, морфологією поверхні та стану їхніх адсорбційних шарів, стабілізацією дисперсії частинок, які в сукупності й визначаються обраним методом. Пропонується поєднання трьох напрямів синтезу таких наночастинок – хімічного, біологічного і «зеленого» (Ульберг, 2020).

У ході вивчення питань молекулярної фізики в системі живого організму аналізуємо синтез та властивості новітніх композитних біоматеріалів та покриттів третього покоління, що відносяться до другого структурного рівня організації кісткової тканини людини (КТЛ). Для отримання подібних композитів зазвичай застосовується тваринний колаген, який є потенційно небезпечним у медичному застосуванні, тому були розпочаті дослідження із застосуванням інших біополімерів для отримання композитів, близьких до другого рівня структурної ієрархії КТЛ (Sukhodub, 2018). Запропоновані природні полімери (альгінат натрію, хітозан) є досить перспективними, оскільки вони мають бактеріостатичні властивості для значної кількості аеробних та анаеробних бактерій, характеризуються високою біосумісністю відносно з'єднувальної тканини, низькою токсичністю, можливістю прискорювати регенеративні процеси під час лікування ран, здатністю деградації зі створенням хемотаксичної активності стосовно фібробластів та остеобластів. Формування нанорозмірних (25–75 нм) частинок кальційдефіцитного гідроксиапатиту (КДГА) у полімерному скафолді наближає отримані матеріали до КТЛ, що зі свого боку сприяє їх більш ефективній імплантації.

Так, за умов використання представленого вище матеріалу в курсі медичної та біологічної фізики медичних закладів вищої освіти реалізуються загальні та специфічні принципи навчання, зокрема: принцип єдності наукової та навчально-методичної діяльності кафедр і викладачів; принцип поєднання навчальної та науково-дослідної праці студентів; принципи добору змісту навчального матеріалу; принцип інформаційної ємності та соціальної значущості; принцип органічної єдності теоретичної та практичної підготовки студентів; принцип забезпечення творчої активності та самостійності студентів у навчальному процесі (Бордюк, 2010; Бордюк, Шевчук, 2012).

Висновки. Отже, в умовах змін у науці та освіті

важливого значення набуває підготовка майбутніх медичних працівників до роботи не лише в умовах усередненого репродуктивного інформаційного підходу, а також в умовах розвитку творчої активності особистості, яка живе і працює у світі техніки й складних технологій. У процесі формування знань про сучасні наукові досягнення в курсі медичної та біологічної фізики мають використовуватись основні та специфічні принципи дидактики вищої школи, а в ході навчання ці принципи повинні реалізуватися комплексно. Такий підхід дозволяє ґрунтовно засвоювати програмний матеріал, розвивати гібридний інтелект студентів та викладачів як адаптивну систему інформаційної взаємодії, а також формувати у майбутніх фахівців навички й уміння пошуку інформації сучасних досліджень у науковій сфері.

Перспективи подальших досліджень в означеному напрямі передбачають розробку методики використання представлених досліджень у лабораторному практикумі курсу медичної та біологічної фізики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Вайнберг, С. (2019). Пояснюючи світ. Історія сучасної науки. Харків: Клуб сімейного дозвілля. 351 с.
- Сміл, В. (2020). Енергія та історія цивілізацій. Харків: Клуб сімейного дозвілля. 400 с.
- Хоменко, К. П., Хоменко, О. В., Логвиненко, Д. Т. (2019). Біологічна фізика в медичних університетах Польщі та України. *Актуальні питання природничо-математичної освіти*. Вип. 1 (13). С. 71–76.
- Суховірська, Л. П., Лунгол, О. М., Задорожна, О. В. (2019). Системи віртуальних лабораторних робіт з біофізики як засоби реалізації принципу професійної спрямованості навчання студентів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. Т. 70. № 2. С. 141–154.
- Яковишена, Л. (2019). Інтеграція фундаментальної та фахової підготовки майбутніх молодших медичних спеціалістів у процесі вивчення природничо-наукових дисциплін. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. № 7 (91). С. 324–336.
- Кайку, М. (2013). Фізика майбутнього. Львів: Літопис. 432 с.
- Бордюк, М. А. (2022). Медична та біологічна фізика: силабус. Рівне: КЗВО «Рівненська медична академія». 24 с. URL: <https://moodle.mcollege.rv.ua>. (дата звернення: 17.12.2022).
- Shevchuk, T. M., Bordyuk, M. A., Krivtsov, V. V., et al. (2021). Viscoelastic Properties of Filled Polyurethane Auxetics. *Physics and Chemistry of Solid State*. Vol. 22. № 2. P. 328–335.
- Shevchuk, T. M., Bordyuk, M. A., Mashchenko, V. A., et al. (2022). Percolation characteristics of filled polyurethane auxetics. *Physics and Chemistry of Solid State*. Vol. 23. № 3. P. 590–596.
- Ramaekers, P., De Greef, M., Van Breugel Moonen C.T.W., Ries, M. (2016). Increasing the HIFU ablation rate through an MRI-guided sonication strategy using shock waves: feasibility in the in vivo porcine liver. *Phys. Med. Biol.* Vol. 61. P. 1057–1077.
- Bulavin, L. A., Zabashta, Yu. F., Hnatiuk, K. I. (2021). Deformation Features in the Cell When the Coronavirus Enters It. *Ukr. J. Phys.* Vol. 66. № 9. P. 785–791.

Shevchuk, T. M., Bordyuk, M. A., Krivtsov, V. V., Mashchenko, V. A. (2020). Fractal Percolation Approach in Determining Structured and Mechanical Properties of Polyurethane Auxetics. *Metallophysics and Advanced Technologies*. Vol. 42. № 9. P. 1293–1302.

Ульберг, З. Р., Прокопенко, В. А., Циганович, О. А., Горда, Р. В. (2020). Сучасний стан досліджень з формування наночастинок селену та їх використання в медицині. *Хімія, фізика та технологія поверхні*. Т. 11. № 3. С. 347–367.

Sukhodub, L. Dyadyura, K.. (2018). Design and Fabrication of Polymer-Ceramic Nanocomposites Materials for Bone Tissue Engineering. *J. Nano- Electron. Phys.* Vol. 10. № 6.

Бордюк, М. (2010). Реалізація принципу науковості у формуванні знань про полімерні матеріали в майбутніх учителів у процесі вивчення курсів фізики. *Нова педагогічна думка*. № 4. С. 46–53.

Бордюк, М., Шевчук, Т., Бордюк, Н. (2012). Специфічні принципи дидактики вищої школи і їх реалізація при формуванні знань про полімерні матеріали у майбутніх педагогів. *Нова педагогічна думка*. № 4. С. 96–103.

REFERENCES

Vainberh, S. (2019). *Poisniuiuchy svit. Istoriia suchasnoi nauky* [Explaining the World]. Kharkiv: Klub simeinoho dozvillia. 351 s. [in Ukrainian].

Smil, V. (2020). *Enerhiia ta istoriia tsyvilizatsii* [Energy and the history of civilizations]. Kharkiv: Klub simeinoho dozvillia. 400 s. [in Ukrainian].

Khomenko, K. P., Khomenko, O. V., Lohvynenko, D. T. (2019). *Biologichna fizyka v medychnykh universytetakh Polshchi ta Ukrainy* [Biological physics in medical universities of Poland and Ukraine]. *Aktualni pytannia pryrodnycho-matematychnoi osvity*. Vyp. 1 (13). S. 71–76. [in Ukrainian].

Sukhovirska, L. P., Lunhol, O. M., Zadorozhna, O. V. (2019). *Systemy virtualnykh laboratornykh robot z biofizyky yak zasoby realizatsii pryntsyphu profesiinoi spriamovanosti navchannia studentiv* [Systems of virtual laboratory works in biophysics as means of implementing the principle of professional orientation of students' education. Information technologies and teaching aids]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia*. T. 70. № 2. S. 141–154. [in Ukrainian].

Yakovyshena, L. (2019). *Intehratsiia fundamentalnoi ta fakhovoi pidhotovky maibutnykh molodshykh medychnykh spetsialistiv u protsesi vyvchennia pryrodnycho-naukovykh dystsyplin* [Integration of fundamental and professional training of future junior medical specialists in the process of studying natural and scientific disciplines]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnologii*. № 7 (91). S. 324–336. [in Ukrainian].

Kaiku, M. (2013). *Fizyka maibutnoho* [Physics of the future]. Lviv: Litopys. 432 s. [in Ukrainian].

Bordiuk, M. A. (2022). *Medychna ta biologichna fizyka* [Medical and biological physics]: sylabus. Rivne: KZVO «Rivnenska medychna akademiia». 24 s. URL: <https://moodle.mcollege.rv.ua>. (data zvernennia: 17.12.2022). [in Ukrainian].

Shevchuk, T. M., Bordyuk, M. A., Krivtsov, V. V., ets. (2021). Viscoelastic Properties of Filled Polyurethane Auxetics. *Physics and Chemistry of Solid State*. Vol. 22. № 2. P. 328–335. [in English].

Shevchuk, T. M., Bordyuk, M. A., Mashchenko, V. A., ets. (2022). Percolation characteristics of filled polyurethane auxetics. *Physics and Chemistry of Solid State*. Vol. 23. № 3. P. 590–596. [in English].

Ramaekers, P., De Greef, M., Van Breugel Moonen C.T.W., Ries, M. (2016). Increasing the HIFU ablation rate through an MRI-guided sonication strategy using shock waves: feasibility in the in vivo porcine liver. *Phys. Med. Biol.* Vol. 61. P. 1057–1077. [in English].

Bulavin, L. A., Zabashta, Yu. F., Hnatiuk, K. I. (2021). Deformation Features in the Cell When the Coronavirus Enters It. *Ukr. J. Physics*. Vol. 66. № 9. P. 785–791. [in English].

Shevchuk, T. M., Bordyuk, M. A., Krivtsov, V. V., Mashchenko, V. A. (2020). Fractal Percolation Approach in Determining Structured and Mechanical Properties of Polyurethane Auxetics. *Metallophysics and Advanced Technologies*. Vol. 42. № 9. P. 1293–1302. [in English].

Ulberh, Z. R., Prokopenko, V. A., Tsyhanovych, O. A., Horda, R. V. (2020). *Suchasnyi stan doslidzhen z formuvannia nanochastynok selenu ta yikh vykorystannia v medytsyni* [The current state of research on the formation of selenium nanoparticles and their use in medicine]. *Khimiia, fizyka ta tekhnologiiia poverkhni*. T. 11. № 3. S. 347–367. [in Ukrainian].

Sukhodub, L. Dyadyura, K.. (2018). Design and Fabrication of Polymer-Ceramic Nanocomposites Materials for Bone Tissue Engineering. *J. Nano- Electron. Phys.* Vol. 10. № 6. [in English].

Bordiuk, M. (2010). *Realizatsiia pryntsyphu naukivosti u formuvanni znan pro polimerni materialy v maibutnykh uchyteliv u protsesi vyvchennia kursiv fizyky* [Design and Fabrication of Polymer-Ceramic Nanocomposites Materials for Bone Tissue Engineering]. *Nova pedahohichna dumka*. № 4. S. 46–53. [in Ukrainian].

Bordiuk, M., Shevchuk, T., Bordiuk, N. (2012). *Spetsyficni pryntsyphu dydaktyky vyshchoi shkoly i yikh realizatsiia pry formuvanni znan pro polimerni materialy u maibutnykh pedahohiv* [Specific principles of higher school didactics and their implementation in the formation of knowledge about polymer materials among future teachers]. *Nova pedahohichna dumka*. № 4. S. 96–103. [in Ukrainian].

Дата надходження до редакції: 11.12.2022