ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)
DOI:10.52058/2708-7530-2024-2(33)

VĚDA A PERSPEKTIVY

No 2(33)
2024



Ми з Україною

ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)
DOI:https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-2(33)

Věda a perspektivy

№ 2(33) 2024

Praha, České republika
2024

Věda a perspektivy № 2(33) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online

Multidisciplinární mezinárodní vědecký magazín "Věda a perspektivy" je registrován v České republice. Státní registrační číslo u Ministerstva kultury ČR: E 24142. № 2(33) 2024. str. 487

Zveřejněnorozhodnutímakademické radyMezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. (zápis č. 97/2024 ze dne 21. Únor 2024)

Vydavatel:
Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. , Česká republika
International Economic Institute s.r.o.
Praha, České republika se sídlem V Lázních 688,
Jesenice 252 42
IČO 03562671 Praha, České republika
zastoupen Mgr. Markétou Pavlovou

Časopis vychází v rámci práce vydavatelské skupiny „Scientific Perspectives" a s vědeckou podporou: veřejné organizace „Ukrainian Assembly of Doctors of Sciences in Public Administration", veřejné organizace „Association of Scientists of Ukraine",Institut filozofie a sociologie Ázerbájdžánu Národní akademie věd (Baku, Ázerbájdžán)

Časopis je zařazen do mezinárodní vědeometrické databáze Index Copernicus (IC), mezinárodního vyhledávače Google Scholar a do mezinárodní vědeometrické databáze Research Bible



Šéfredaktor:
Karel Nedbálek - doktor práv, docent (Zlín, Česká republika)



Zástupce šéfredaktora:
Markéta Pavlova - ředitel, Mezinárodní Ekonomický Institut (Praha, České republika)



Dina Dashevska - geolog, geochemist Praha, Česká republika (Jeruzalém, Izrael)

Členové redakční rady:
Humeir Huseyn Achmedov **-** doktor pedagogických věd, profesor (Baku, Ázerbájdžán)
Yevhen Romanenko - doktor věd ve veřejné správě, profesor, ctěný právník Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)
Iryna Zhukova -kandidátka na vědu ve veřejné správě, docentka (Kyjev, Ukrajina)
Jurij Kijkov - doktor informatiky, dr.h.c. v oblasti rozvoje vzdělávání (Teplice, Česká republika)
Vladimír Bačišin - docent ekonomie (Bratislava, Slovensko)
Peter Ošváth - docent práva (Bratislava, Slovensko)
Dina Dashevsky - geolog, geochemik Praha, Česká republika (Jerusalem, Israeli)
Oleksandr Datsiy - doktor ekonomie, profesor, čestný pracovník školství na Ukrajině (Kyjev, Ukrajina)
Badri Getchbaya - doktor ekonomie, profesor, docent na Batumi State University. Shota Rustaveli (Gruzie)
Laila Achmetová - doktorka historických věd, profesorka politologie, profesorka UNESCO, mezinárodní žurnalistiky a médií na žurnalistické fakultě Kazašské národní univerzity (KazNU). al-Farabi (Kazachstán)
Oleksandr Nepomnyashy - doktor věd ve veřejné správě, kandidát ekonomických věd, profesor, řádný člen Vysoké školy stavební Ukrajiny (Kyjev, Ukrajina)
Michał Tomasz - doktor věd, docent katedry geografie regionálního rozvoje, University of Gdańsk (Polsko)

Články jsou vyvěšeny v redakci autora. Za obsah a pravopis zaslaných materiálů odpovídají autoři

© Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o. , Česká republika, 2024
© Vydavatelské skupiny „Scientific Perspectives", 2024
© autoři článků, 2024

Věda a perspektivy № 2(33) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

OBSAH

SÉRIE “Ekonomika”

Sergij Moshenskyi 10
LESSONS OF ECONOMIC MODERNIZATION IN THE SOUTHEAST OF UKRAINE (END OF THE 19th CENTURY – BEGINNING OF THE 20th CENTURY)

Kateryna Redko 26
ENABLING ECONOMIC EMPOWERMENT: SOCIAL ENTERPRISE'S ROLE IN HARNESSING THE POTENTIAL OF INDIVIDUALS WITH DISABILITIES

Artur Strungar 37
THE IMPACT OF SOCIAL NETWORKS ON A BRAND IMAGE FORMATION: ASPECTS OF DIGITAL MARKETING

Петро Бечко, Сергій Колотуха, Олександр Непочатенко, Світлана Пташник, Ольга Пономаренко 44
РОЗВИТОК БАНКІВСЬКИХ ІННОВАЦІЙ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ

Іван Благун, Ірина Румянцева 56
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ В КРИЗОВИХ УМОВАХ

SÉRIE “Veřejná správa”

Oleksandr Lomaka 66
FEATURES OF THE ORGANIZATIONAL AND ADMINISTRATIVE MECHANISM FOR THE IMPLEMENTATION OF THE STATE INDUSTRIAL POLICY AT THE REGIONAL LEVEL

Oleksandr Radchenko, Sergey Chernov, Roman Kozenko 77
IMPLEMENTATION OF PROJECT MANAGEMENT BY PUBLIC ADMINISTRATION BODIES OF THE DECENTRALIZED SYSTEM OF TERRITORIAL GOVERNMENT ORGANIZATION

Věda a perspektivy № 2(33) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

Андрій Акімов 88
ЗАСАДИ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ У РОЗРІЗІ ПІДГОТОВКИ МОЛОДОГО ПОКОЛІННЯ ДО ВИКОНАННЯ ФУНКЦІЙ В ОРГАНАХ ДЕРЖАВНОЇ ВЛАДИ, ПРАВООХОРОННІЙ ТА ВІЙСЬКОВІЙ СТРУКТУРАХ УКРАЇНИ

Оксана Костюченко 100
ФУНКЦІЇ, ПРИНЦИПИ ТА КОМПЛЕСНИЙ МЕХАНІЗМ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РИНКУ АЗАРТНИЇ ІГОР В УКРАЇНІ

Анна Печура 111
ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

Тетяна Савосько 118
ДЕРЖАВНА ІНФОРМАЦІЙНА ПОЛІТИКА УКРАЇНИ ПІД ЧАС ПОВНОМАСШТАБНОГО ВТОРГНЕННЯ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ

SÉRIE “Právní vědy”

Олена Менська 129
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ: МІЖНАРОДНЕ ТА НАЦІОНАЛЬНЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Костянтин Ткач 146
ПОЗИТИВНИЙ ДОСВІД ЗДІЙСНЕННЯ ДЕРЖАВНОЇ ПОЛІТИКИ ОХОРОНИ ЗДОРОВ’Я В УГОРЩИНІ – УРОКИ ДЛЯ УКРАЇНИ

SÉRIE “Pedagogika”

Nataliia Halchun 155
PEDAGOGICAL CONDITIONS FOR THE FORMATION OF INTERCULTURAL COMPETENCY OF THE FUTURE MEDICAL PROFESSIONAL

Mariia Medvedieva, Vladyslav Yamkovenko 168
OVERVIEW OF APPLICATIONS WITH AR AND VR TECHNOLOGIES IN EDUCATIONAL ACTIVITIES

Лідія Коваль 178
ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ У НАВЧАЛЬНІЙ ПРОЦЕС ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ З ДИЗАЙНУ

Володимир Лучко, Лілія Мельничук, Галина Перун 189
ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ У ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ РОБОТОТЕХНІКИ

Наталія Марчук, Ірина Мушеник 203
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПЕДАГОГІЧНОЇ ГАЛУЗІ ЗНАНЬ В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

Людмила Перфільєва 217
ІННОВАЦІЙНІСТЬ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ВЧИТЕЛІВ ПОЧАТКОВОЇ ОСВІТИ ПРИ ВИКЛАДАННІ ПРИРОДОЗНАВЧИХ ДИСЦИПЛІН

Ніна Стельмах, Ірина Середа 226
БЕЗПЕЧНЕ ОСВІТНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ЯК ФАКТОР ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ПСИХОФІЗИЧНОГО ЗДОРОВ'Я ДІТЕЙ У СУЧАСНИХ УМОВАХ ЗАСОБАМИ ЗДОРОВ'ЯЗБЕРЕЖУВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Андрій Фрицюк 236
ПРОФЕСІЙНА МОБІЛЬНІСТЬ МАЙБУТНЬОГО ПЕДАГОГА ЯК ЧИННИК ПРОФЕСІЙНОГО САМОРОЗВИТКУ

SÉRIE "Psychologie"

Дмитро Карпілянський, Едуард Петров, Олена Шевченко 250
ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОФЕСІЙНОГО СПІЛКУВАННЯ (на прикладі сфери фізичної культури і спорту)

Ярослав Коркос 261
ПСИХОСЕМАНТИЧНИЙ АНАЛІЗ КАТЕГОРІЙ ПОСТПРАВДИ У БУДЕННІЙ СВІДОМОСТІ СТУДЕНТІВ

Анна Кравченко 275
РЕЗУЛЬТАТИ ЕМПІРИЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФІЗИЧНИХ ТЕРАПЕВТІВ У ПРОФЕСІЙНОМУ СПІЛКУВАННІ

Věda a perspektivy № 2(33) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

SÉRIE “Filologie”

Iryna Biletska **288**
CONCEPTUAL SPHERE OF MULTICULTURALISM: ITS STRUCTURAL AND CONTENT POSSIBILITIES AND LINGUISTIC EXPRESSIONS

Olesia Reshetar **299**
CULTURAL AWARENESS IN ENGLISH LANGUAGE TEACHING

Olesia Reshetar **311**
THE CONCEPT OF POWER IN AMERICAN MEDIA DISCOURSE

SÉRIE “Lékařská věda”

Дмитро Колосов **323**
ЯКІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ АКРЕДИТАЦІЇ ЗАКЛАДІВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ’Я УКРАЇНИ

Юрій Марушко, Світлана Ходаківська **337**
ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ НЕОНАТАЛЬНОЇ ЕНЦЕФАЛОПАТІЇ У ДІТЕЙ РАННЬОГО ВІКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЯЖКОСТІ УРАЖЕННЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ НЕРВОВОЇ СИСТЕМИ

SÉRIE “Informační a telekomunikační technologie”

Vitaliy Danylov **352**
PROSPECTIVE ACTIVE NOISE CANCELLING ALGORITHMS IN TRUE WIRELESS STEREO (TWS) TECHNOLOGIES FOR ASPIRING INVENTORS

SÉRIE “Historické vědy”

Світлана Боян-Гладка, Іван Костишин **362**
ОБРАЗ УКРАЇНСЬКОГО ВОЇНА В ТРАДИЦІЙНО-ПОБУТОВІЙ КУЛЬТУРІ УКРАЇНЦІВ XX–XXI ст.

SÉRIE “Zeměpis”

Тетяна Лисюк, Оксана Терещук, Ірина Єрко, Андрій Слащук, Роман Качаровський 376
ТУРИСТИЧНА ІНФРАСТРУКТУРА МАНЕВИЦЬКОЇ ТГ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ: СУЧАСНИЙ СТАН ТА ШЛЯХИ ЇЇ УДОСКОНАЛЕННЯ

Михайло Мельнійчук, Лариса Чижевська, Юрій Білецький, Олег Мельник, Сергій Ковальчук, Роман Качаровський 390
РОЖИЩЕНСЬКА ТЕРИТОРІАЛЬНА ГРОМАДА ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ: ПРИРОДНИЙ РЕКРЕАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЙНИХ ТРАНСФОРМАЦІЙ

Ірина Нетробчук, Зоя Карпюк, Валентина Стельмах, Сергій Полянський, Віталій Соловей, Роман Качаровський, Анна Хайнацька, Єлизавета Щесюк 403
КІЧКАРІВСЬКІ СТАВКИ – ВАЖЛИВЕ ВОДНО-БОЛОТНЕ УГІДДЯ М. ЛУЦЬК

SÉRIE “Politologie”

Аліна Лясота 415
ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД ІНСТИТУЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ДЕРЖАВИ ТА ГРОМАДЯНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА

SÉRIE “Fyzikální a matematické vědy”

Ігор Ткаченко, Юрій Краснобокий, Катерина Ільніцька 426
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЗАЄМОДІЙ У ЖИВІЙ ТА НЕЖИВІЙ ПРИРОДІ

SÉRIE “Umění”

Diana Buryk 440
TRENDS OF USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GRAPHIC DESIGN

Ruslana Buryk 449
TENDENCIES IN THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE PROCESSING OF PHOTO MATERIALS

Věda a perspektivy № 2(33) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

SÉRIE “ Zemědělství”

Іванна Смульська, Оксана Топчій, Світлана Михайлик, Євгеній Стариченко, Зінаїда Києнко, Галина Дутова 460
АНАЛІЗ СОРТІВ СЕРЕДНЬОСТИГЛОЇ ГРУПИ СОНЯШНИКА ОДНОРІЧНОГО HELIANTHUS ANNUUS L. ВНЕСЕНИХ ДО ДЕРЖАВНОГО РЕЄСТРУ СОРТІВ РОСЛИН, ПРИДАТНИХ ДЛЯ ПОШИРЕННЯ В УКРАЇНІ

SÉRIE “Oblast pohostinství”

Василь Жупник, Микола Депутат, Христина Терлецька, Ірина Луцик 474
ОРГАНІЗАЦІЯ АНІМАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТУРИСТИЧНОЇ ІНДУСТРІЇ ПРИКАРПАТТЯ

Věda a perspektivy № 2(33) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

SÉRIE “Fyzikální a matematické vědy”

https://doi.org/10.52058/2695-1592-2024-2(33)-426-439

Ігор Ткаченко

доктор педагогічних наук, професор,
професор кафедри фізики та інтегративних
технологій навчання природничих наук
Уманського державного педагогічного університету
імені Павла Тичини, м. Умань, Україна,
https://orcid.org/0000-0003-1775-1110

Юрій Краснобокий

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри фізики та інтегративних
технологій навчання природничих наук
Уманського державного педагогічного університету
імені Павла Тичини, м. Умань, Україна,
https://orcid.org/0000-0003-2103-9978

Катерина Ільніцька

кандидат педагогічних наук,
старший викладач кафедри фізики та інтегративних
технологій навчання природничих наук
Уманського державного педагогічного університету
імені Павла Тичини, м. Умань, Україна,
https://orcid.org/0000-0002-6179-5543

ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЗАЄМОДІЙ У ЖИВІЙ ТА НЕЖИВІЙ ПРИРОДІ

Анотація. У статті обґрунтовується можливості впровадження аналітико-синтетичного підходу до пояснення фізичних процесів, які відбуваються в живій та неживій природі під час виникнення та поширення електромагнітних взаємодій. Зазначимо, що сили взаємодій між електрично зарядженими частинками можна поділити на два види: електричні та магнітні. Суто електричні сили притягання і відштовхування проявляються між

нерухомими зарядженими частинками; магнітні взаємодії притаманні рухомим зарядженим частинкам. Важливо відзначити властивості системи нерухомих точкових зарядів, розміщених на скінчених відстанях один від одного, яка не може бути стійкою. Це означає, що потенціальна енергія статичної системи зарядів не може відповідати умові мінімуму.

Механізм виникнення потенціалів в електричних пластинках живих організмів, зокрема риб у принципі однаковий для клітин всіх типів: генерація електричних імпульсів зумовлюється розподілом йонів по обидві сторони мембрани. Оскільки нервові закінчення розташовуються з однієї сторони електричної пластинки, то під час розряду вона стає електронегативною по відношенню до іншої сторони. Таким чином, характер і напруга імпульсів, які генеруються електричними пластинками, зумовлені їх конструкцією і комбінацією мембран. Напруга імпульсу також залежить від характеру іннервації мембрани і розміру електричної пластинки.

Доведено, що механізм генерації електричного струму в різних клітинах і тканинах організму однаковий. Деякі відмінності у величині потенціалів і швидкостей поширення імпульсів пов’язані із специфічними особливостями клітин, забезпечуючи за цього постійну структуру електричного поля і сумування створюваних зарядів.

У статті також обґрунтовується, що у окремих клітинах живого організму відбувається постійна зміна різниці потенціалів, «біологічна» електрика неначе переносить певну інформацію і тим самим координує складні внутрішні процеси життєдіяльності біологічних систем.

Ключові слова: електричні заряди, характеристики електричного поля, електризація фізичних тіл, механізм генерації електричного струму в живих організмах.

Ihor Tkachenko

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of the Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine,
https://orcid.org/0000-0003-1775-1110

Yurii Krasnobokyi

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of the Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine,
https://orcid.org/0000-0003-2103-9978

Věda a perspektivy № 2(33) 2024
ISSN 2695-1584 (Print)
ISSN 2695-1592 (Online)

Kateryna Ilnitska

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences of the Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Uman, Ukraine,
https://orcid.org/0000-0002-6179-5543

THEORY AND PRACTICE OF ELECTRICAL INTERACTIONS IN LIVING AND NON-LIVING NATURE

Abstract. The article substantiates the possibility of introducing an analytical-synthetic approach to the explanation of physical processes that occur in living and non-living nature during the emergence and spread of electromagnetic interactions. Note that the interaction forces between electrically charged particles can be divided into two types: electric and magnetic. Purely electric forces of attraction and repulsion are manifested between stationary charged particles; magnetic interactions are inherent in moving charged particles. It is important to note the system of stationary point charges placed at finite distances from each other, which cannot be stable. This means that the potential energy of a static system of charges cannot have a minimum.

The mechanism of the generation of potentials in the electrical plates of living organisms, in particular fish, is basically the same for all types of cells: the generation of electrical impulses is determined by the distribution of ions on both sides of the membrane. Since the nerve endings are located on one side of the electric plate, during discharge it becomes electronegative in relation to the other side. Thus, the nature and voltage of the pulses generated by electric plates are determined by their design and combination of membranes. The voltage of the pulse also depends on the nature of innervation of the membrane and the size of the electric plate.

The article also emphasizes that there is a constant change in the potential difference in individual cells of a living organism, "biological" electricity seems to transfer certain information and thereby coordinates the complex internal processes of the vital activity of biological systems.

Keywords: electric charges, electric field characteristics, electrification of physical bodies, the mechanism of electric current generation in living organisms.

Постановка проблеми. Основою електричних взаємодій у живій та неживій природі у розрізі природи електростатичних явищ постає теорія будови атома. Стійкість атома забезпечується електронною взаємодією ядра й електронної оболонки. Наразі відомо, що у природі існують *два типи електризації* тіл: *позитивна* і *негативна.* Носієм негативного заряду є

елементарна частинка – електрон. Заряд електрона $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*, його маса $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ *кг*. Носієм позитивного заряду є елементарна частинка – протон, яка має заряд, рівний заряду електрона, але протилежний йому за знаком $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*. Маса протона дорівнює $m_p = 1836\ m_e$. Протони входять до складу атомних ядер.

Між частинками, що складають ядро, діють колосальні за величиною сили притягання. Тому, щоб звільнити протон з ядра, необхідно витратити дуже велику енергію. Електрони в атомі рухаються по орбітах навколо ядра і зв'язані з ядром незрівнянно меншими силами, ніж частинки в ядрі. Тому електризація тіл, як правило, пов'язана зі зміною у тілі кількості електронів. Отже, заряд будь-якого тіла змінюється не неперервно, а дискретно, стрибком на величину, кратну $q = \pm 1,6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*. Цей найменший заряд $1,6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*, що існує у природі, називається елементарним зарядом [1]. Електрично-нейтральне тіло має однакову кількість зарядів обох знаків. Негативна електризація тіла зумовлена надлишком у тілі електронів, позитивна електризація – їх недостачею. Дослідження співвідношення між ними в об'єктах живої і неживої природи й складає проблематику статті.

Аналіз досліджень і публікацій з проблеми. З давніх давен людству були відомі явища електризації тіл. Ще за 600 років до н.е. грецький філософ Фалекс Мілетський (625 – 547 р. до н.е.) помітив, що янтар, натертий вовною або шкірою, притягує легкі предмети. Були відомі й інші електричні явища, але довгий час по-справжньому їх ніхто не вивчав. Подібні дослідження були ще дуже далекими від виробничих потреб людства. Наприкінці XVI ст. електричними явищами зацікавився англійський вчений В. Гільберт (1544 – 1603). Він помітив, що під час натирання, крім янтарю, здатності притягати легкі предмети набувають багато інших тіл.

Спонукальними причинами розгортання природничих досліджень, включаючи електромагнетизм, були проблеми розвитку промислового виробництва XVIII ст. У 1729 р. англійський фізик С. Грей (1666 – 1736) виявив, що всі речовини можна поділити на провідники та діалектрики. У 1734 р. французький фізик Ш.Ф. Дюфе (1698 – 1739) довів, що існує два види електрики – «скляний» і «смоляний», причому однорідні види електрики відштовхуються, а різнорідні – взаємно притягуються.

У 1749 р. американський вчений Б. Франклін (1706 – 1790) на дослідах показав, що в усіх випадках електризації виникають заряди обох знаків та в однаковій кількості. Для пояснення електризації він висунув гіпотезу про існування в тілах електричних флюїдів та можливість їх перетікання від одного тіла до іншого під час натирання. Такими були початкові відомості про електризацію тіл.

У 1785 р. французький вчений Ш.О. Кулон (1736 – 1806) відкрив закон взаємодії двох заряджених точкових тіл, чим заклав початок строгим

кількісним оцінкам електростатичних явищ. У кінці XVIII ст. істотний внесок у вивчення електромагнетизму зробили італійські вчені Л. Гальвані (1737 – 1798) та А. Вольта (1745 – 1827). В результаті дослідження контактних електричних явищ вони побудували джерела постійного струму – гальванічні елементи, а з них і батарею – «вольтів стовп».

У 1820 року вчені Х.К. Ерстед та А.М. Ампер на дослідах довели, що навколо електричного струму неодмінно існує магнітне поле, виявивши цим єдність електричних та магнітних явищ. Згодом було відкрите М. Фарадеєм явище електромагнітної індукції, що створило умови та можливості побудови якісно нових генераторів електричного струму. Своє завершення класична електродинаміка дістала у працях англійського фізика Дж.К. Максвелла (1831 – 1879) [3; 6].

Детальному дослідженню можливостей безпосереднього використання аналітичного підходу до пояснення фізичних процесів, які відбуваються у живій природі, а також біологічних системах, зокрема вивчення механізмів утворення та накопичення електричних зарядів присвячені праці відомих дослідників Г.Ф. Бушка, М.С. Будіщева, Є.Ф. Венгера, І.Т. Горбачука, В.П. Дущенка, П.Г. Костюка, І.М. Кучерука, П.П. Луцика, Ю.І. Посудіна, О.В. Чалого та інших [2; 4; 7; 8].

Метою статті є дослідження можливостей впровадження аналітико-синтетичного підходу щодо вивчення електричних взаємодій серед біологічних організмів в умовах функціонування багатоструктурних систем біоценозу.

Виклад основного матеріалу. *Точковим електричним зарядом* називається заряджене тіло формою і розмірами якого в умовах даної конкретної задачі можна знехтувати, тобто його лінійні розміри значно менші за відстані до інших тіл, з якими це заряджене тіло взаємодіє. Поняття точкового заряду, як і матеріальної точки, є фізичною абстракцією (моделями реальних тіл).

На основі дослідних даних був сформульований *закон збереження електричного заряду*: алгебраїчна сума зарядів ізольованої системи є величина стала (тобто, в ізольованій системі позитивні та негативні заряди виникають та зникають парами).

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = q_1 + q_2 + q_3 + ... + q_n = const. \quad (1)$$

Дослід показує, що однойменні заряди взаємно відштовхуються, а різнойменні – взаємно притягуються. Сили взаємодії двох нерухомих точкових зарядів діють уздовж лінії, що проходить через ці заряди, тобто вони є центральними силами. Рис. 1 демонструє електростатичну взаємодію між однойменними (відштовхування) та різнойменними (притягання) нерухомими точковими зарядами. Сили взаємодії підпорядковані третьому закону

Ньютона: для векторів сил взаємодії можна записати $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$; для модулів сил взаємодії між зарядами $\left|\vec{F}_{12}\right| = \left|\vec{F}_{21}\right| = F$.

Кулон сформулював *закон взаємодії нерухомих точкових зарядів*: два нерухомі точкові електричні заряди, які розташовані у вакуумі, взаємодіють один з одним з силою, що прямо пропорційна добуткові величин цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними, тобто

$$F = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{\varepsilon_0 r^2}, \qquad (2)$$

де q_1 і q_2 – величини зарядів; r – відстань між ними; $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}\frac{Ф}{м}$ – електрична стала, що відноситься до фундаментальних фізичних констант.

Якщо нерухомі електричні заряди перебувають в однорідному

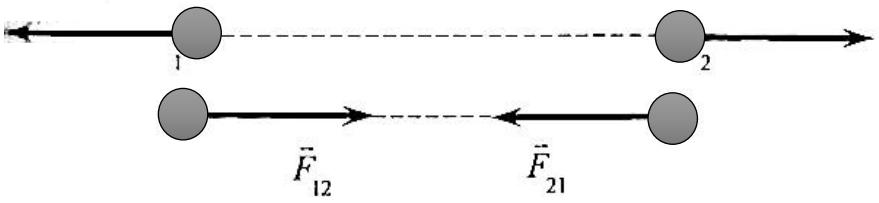


Рис. 1

матеріальному середовищі, тобто у середовищі, фізичні властивості якого в усіх напрямах однакові, то кулонівська сила описується наступним виразом:

$$F = k\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{\varepsilon_0 \varepsilon r^2}, \qquad (3)$$

де ε – відносна діелектрична проникність середовища (часто її називають просто діелектричною проникністю середовища), в якому перебувають заряди.

Відносна діелектрична проникність середовища показує у скільки разів сила взаємодії зарядів у вакуумі $F_{вак}$ більша за силу взаємодії цих зарядів у даному матеріальному середовищі $F_{сер}$:

$$\varepsilon = \frac{F_{вак}}{F_{сер}}. \qquad (4)$$

Для вакууму $\varepsilon = 1$ (для повітря ε дуже близька до одиниці). Для інших середовищ $\varepsilon > 1$, наприклад: для ебоніту $\varepsilon = 2{,}6-3$; для кварцу $\varepsilon = 4{,}5$; для слюди $\varepsilon = 7$; для води $\varepsilon = 81$, а для сегнетоелектриків, наприклад, сегнетової солі – $\varepsilon > 10^4$. Добуток $\varepsilon_a = \varepsilon_0\varepsilon$ називають *абсолютною діелектричною проникністю середовища.*

Одиниця заряду у *СІ* є похідною одиницею. У *СІ* величина заряду вимірюється у кулонах (*Кл*). За 1 *Кл* прийнята величина такого заряду, який переноситься через будь-який поперечний переріз провідника за 1 *с*. Або 1 *Кл* = 1 *А·с*. 1 *Ампер* (одиниця сили струму) є однією з семи основних одиниць *СІ*.

Електричним полем називається особливий вид матерії, що виникає навколо електричних зарядів і за допомогою якого електричні заряди взаємодіють між собою. Електричне поле матеріальне. Воно існує незалежно від нашої свідомості, оточує кожний заряд і поширюється до нескінченності у просторі. Про його матеріальність свідчить те, що воно діє на електричні заряди і поширюється у просторі з певною швидкістю [5].

Важливою *силовою* характеристикою електричного поля є вектор напруженості електричного поля $\vec{E}$. *Напруженістю електричного поля* називається фізична величина, що чисельно дорівнює відношенню сили, яка діє на точковий позитивний пробний заряд, до величини цього пробного заряду $q_{пр}$, тобто:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}}, \tag{5}$$

де $\vec{F}$ – сила, з якою електричне поле діє на пробний заряд $q_{пр}$. Такий точковий пробний заряд не повинен спотворювати поле, яке досліджується (не повинен викликати перерозподілу зарядів, що створюють досліджуване електричне поле).

Напруженість $\vec{E}$ – величина векторна. За напрямок вектора напруженості електричного поля приймається напрямок вектора сили, з якою поле діє на одиничний позитивний заряд. У системі *СІ* напруженість електричного поля має розмірність $|E| = \frac{|F|}{|q|} = кг \cdot м \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$. Одиниця вимірювання напруженості $1\ кг \cdot м \cdot с^{-3} \cdot А^{-1} = 1\frac{Н}{Кл} = 1\frac{В}{м}$.

Електростатичним полем називається поле, яке створене нерухомими електричними зарядами. Електростатичне поле, що не змінюється з часом, називається стаціонарним електростатичним полем. Графічно електричне поле зображується за допомогою силових ліній або ліній напруженості електричного поля.

Силовими лініями (лініями напруженості) електричного поля називаються уявні лінії, дотична до яких у кожній точці простору збігається з напрямком вектора напруженості електричного поля.

Енергетичною (скалярною) характеристикою електричного поля є його потенціал. Потенціалом певної точки електростатичного поля називається

фізична величина, що чисельно дорівнює відношенню потенціальної енергії, яку має одиничний позитивний пробний заряд q_{np}, поміщений у цій точці, до величини цього пробного заряду. Отже,

$$\varphi = \frac{W_n}{q_{np}}, \tag{6}$$

де φ – потенціал; W_n – потенціальна енергія заряду q_{np} у точці, в якій визначається потенціал. Таким чином, потенціал дорівнює потенціальній енергії, яку має в даній точці поля одиничний позитивний заряд; це величина скалярна та алгебраїчна. Позитивні заряди створюють поля з позитивними потенціалами, а негативні – з негативними. Величина потенціальної енергії *Wn* може бути визначена лише з точністю до довільної сталої, обумовленої вибором нульового рівня потенціальної енергії. Тому потенціал теж може бути визначений лише з точністю до довільної сталої, обумовленої вибором точки з нульовим потенціалом. Нульовий рівень потенціалу може бути вибраний довільно. Наприклад, у фізиці за точку з нульовим потенціалом приймають точку, що перебуває на нескінченності від зарядженого тіла, а в електротехніці – точку, що лежить на поверхні Землі.

Різниця потенціалів у двох точках 1 та 2 електростатичного поля – це фізична величина, що чисельно дорівнює відношенню роботи, яка виконується силами кулонівської (електростатичної) взаємодії по переміщенню точкового позитивного заряду між цими точками поля, до величини цього заряду:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q_0}, \tag{7}$$

де $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – різниця потенціалів; A_{12} – робота, яка виконується при переміщенні заряду q_0 з точки з потенціалом φ_1 в точку з потенціалом φ_2.

Величину, що дорівнює різниці потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2$, називають електричною напругою (спадом напруги) між точками 1 і 2, тобто:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q} = U_{12}. \tag{8}$$

Розмірність потенціалу (різниці потенціалів, напруги) за означенням така: $|\varphi| = \frac{|A|}{|q|} = кг \cdot м^2 \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$. В системі *СІ* різниця потенціалів вимірюється у *вольтах*. За $1В$ прийнято різницю потенціалів між такими двома точками поля, при переміщенні між якими заряду в 1 *Кл* виконується робота в 1 *Дж* $\left(1В = 1\frac{Дж}{Кл}\right)$.

Потенціал поля, створеного точковим зарядом q в ізотропному матеріальному середовищі (для вакууму $\varepsilon = 1$), визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r}, \tag{9}$$

де r – відстань від заряду q до точки, в якій визначається потенціал.

Робота сил електростатичного поля з переміщення заряду q із точки поля з потенціалом φ_1 у точку з потенціалом φ_2 дорівнює добутку величини цього заряду на різницю потенціалів між початковою і кінцевою точками переміщення:

$$A_{12} = q\left(\varphi_1 - \varphi_2\right). \tag{10}$$

Електростатичне поле можна графічно зображати не тільки лініями напруженості, а й за допомогою еквіпотенціальних поверхонь. Зручно проводити їх так, щоб потенціали двох суміжних еквіпотенціальних поверхонь відрізнялися на однакову величину (наприклад, $\Delta\varphi = 1B$), тобто – $-\Delta\varphi = E \cdot \Delta x = const$. Величини E і Δx – обернено пропорціональні: у тих областях електростатичного поля, де більша напруженість, будуть більш насичені еквіпотенціальні поверхні й лінії напруженості.

Наведемо приклади прояву та впливу електричних взаємодій у біотичних системах навколишнього середовища.

Електрична активність – невід'ємна властивісгь живої природи. Електрику генерують нервові, м'язові і залозисті клітини всіх живих істот, оскільки основні процеси у нервових тканинах – збудження і гальмування – супроводжуються електричними явищами. Відомо, що біоструми можна реєструвати, прикладаючи до нервів і м'язів електроди, тобто контактним способом. Можлива і безконтактна фіксація електричних явищ у живих клітинах завдяки тому, що біопотенціали утворюють електричні поля за межами організму. Учені виявили електричні поля навколо нервів, м'язів і серця жаби, і навіть навколо джмеля і комара, під час їх польоту. Проте властивість генерувати електрику найсильніше розвинута у риб.

Наразі встановлено, що біля 300 із 20 тисяч видів риб здатні генерувати і використовувати у своєму житті біоелектричні поля. У відповідності з цим всіх риб ділять на три групи: *сильноелектричні* види, що мають електричні органи і створюють навколо себе сильні електричні поля з метою нападу або оборони; *слабоелектричні* види, що мають спеціалізовані *електрогенераторні* тканини і утворюють імпульсні електричні поля з метою локації і зв'язку; *неелектричні* риби, тобто решта всіх риб.

Найбільш яскравими і вивченими представниками сильноелектричних риб є *вугор*, *скат* і *сом*.

Вивчення механізмів, які застосовують риби для генерації і сприйняття електричних полів та характеристик цих полів має велике наукове і практичне

значення. Результати цих досліджень використовуються в медицині, рибному господарстві, біонанотехнологіях.

Про електричні властивості сильноелектричних риб людству відомо давно. Про них писав ще Арістотель. Дослідження в цій галузі проводили Гумбольт, Реймон, Кавендіш, Гальвані та інші вчені. Проте експериментальні докази того, що в живих тканинах є електрика були отримані лише у 1832 році. Ця заслуга належить Фарадею. Своїми дослідами Фарадей довів, що біоелектрика нічим не відрізняється від інших видів електрики. Явища, притаманні різним видам електрики відрізняються не за своєю природою, а лише кількісно. Отже, жодних особливих властивостей у «тваринної» електрики немає.

Яким же чином виникає біоелектрика? Думки багатьох дослідників зійшлися на тому, що основну роль при електрогенезі відіграють клітинні мембрани, які мають властивість «сортувати» позитивні і негативні йони зовні і всередині клітини в залежності від її фізіологічного стану (тобто стану збудження).

У результаті «сортування» різнойменних зарядів між зовнішньою і внутрішньою сторонами мембрани виникає різниця електричних потенціалів. Якщо клітина збуджується, провідність мембрани по відношенню до електричного струму збільшується: позитивно і негативно заряджені йони спрямовуються через неї назустріч одні одним. Як наслідок по обидві сторони мембрани різниця потенціалів вирівнюється. Таким чином у клітині відбувається постійна зміна різниці потенціалів, «біологічна» електрика неначе переносить певну інформацію і тим самим координує складні внутрішні процеси життєдіяльності організму.

Електричні потенціали поширюються по нервах, опір яких дуже великий. У нервовому волокні діаметром в один мікрон (10^{-6} *м*) протоплазма має питомий опір 100 *Ом/см*. Цікаво порівняти, що нервове волокно довжиною в 1 *м* має такий же опір електричному струмові, що й мідний дріт діаметром 0,6 *мм* і довжиною, що в 10 разів перевищує відстань від Землі до Сатурна, (а це $1{,}4 \cdot 10^{9}$ *км*). Відомо, що в техніці для передачі електрики по кабелю такої довжини, необхідно для підсилення сигналів застосовувати своєрідні пристрої (типу трансформаторів) для підживлення енергії.

Подібним чином природа вирішила це завдання з «ретрансляцією» сигналів у нервовому волокні. Справа в тому, що по центру нервового волокна розташований осьовий циліндр, по якому проходять нервові, а також і електричні імпульси. Міелінова оболонка нерва, що складається з жироподібних речовин – ліпідів, покриває циліндр не повністю, утворюючи певні проміжки, які називають перехватами Ранв'є. В момент збудження (виникнення імпульсу) катіони розчину, що омивають зовні нерв, через перехвати Ранв'є проникають у середину нерва через мембрану, оскільки її

електричний опір у цей момент зменшується майже в 100 разів. В результаті заряд аксоплазми стає додатнім і між внутрішньою і зовнішньою сторонами мембрани виникає електричний струм. Поширюючись по нерву, електричний процес доходить до наступного перехвату Ранв'є і збуджує наступну ділянку нерва. Таким чином електричні імпульси поширюються по нерву із швидкістю 60÷120 *м/с*; частота генерації досягає 1000 імпульсів за 1 *с*, а їх тривалість – 0,001 *с*.

Дослідженнями встановлено, що механізм генерації електричного струму в різних клітинах і тканинах організму однаковий. Деякі відмінності у величині потенціалів і швидкостях поширення імпульсів пов'язані із специфічними особливостями клітин. Наприклад, потенціал діючої окремої клітини електричного *вугра* складає 120-150 *мВ*, клітини м'яза *жаби* – 120 *мВ*, мотонейрона спинного мозку *кішки* – 90 *мВ* і т.д, тобто вони одного порядку і порівняно незначне. Тому, висновок про те, як у електричних органах риб виникають розряди високої напруги (у електричного *ската* зафіксовані розряди потужністю до 6 *кВт*), може бути такий – вони виникають у результаті сумування (накладання) потенціалів окремих електричних клітин.

Як же побудовані «електрогенератори» у риб? Спеціалізовані електрогенераторні клітини електричних риб утворилися із м'язових (у більшості видів), нервових (у деяких електричних вугрів) або залозистих (у електричного сома) клітин. Товщина їх незначна, тому такі клітини називають електричними пластинками.

У сильноелектричних видів риб є спеціалізовані електричні органи, тоді як слабкоелектричні види мають морфологічно виражені тканини. Утворюються електричні поля за допомогою так званого електричного органу, який генерує електричні розряди. Складається електричний орган з клітин (пластинок) електроцитів, які з'єднані послідовно або паралельно. Форма, кількість та порядок розташування електроцитів залежить від виду риби. Так, електричний орган ската *Torpedo* містить 500-1000 з'єднаних паралельно стовпчиків електроцитів, по 1000 клітин в кожному стовпчику; діаметр клітин становить 5-7 *мм*, а товщина – 10-30 *мкм*; ще один представник скатів, *Narcine*, має близько 400 стовпчиків з 300-500 клітин діаметром 2 *мм* і товщиною 7 *мкм*; крім основного органа є додатковий, що містить 10 стовпчиків по 200 клітин кожний.

Електричний орган слабкоелектричних риб складається з електроцитів, які простягаються вздовж латерального пучка тіла риби. Кількість електроцитів у електричного вугра *Electrophorus* досягає 6000. Електричні розряди риб характеризуються такими параметрами як інтенсивність (амплітуда), тривалість, хвильова форма, частота повторення. Величина цих параметрів залежить від виду та способу життя риби. Так, електричний вугор у стані пошуку генерує імпульси напругою до 50 *В*, тривалість яких становить

близько 2 *мс*, тоді як в момент виявлення здобичі він створює імпульси напругою 300-600 *В* тривалістю 0,6-2 *с*.

Електрична пластинка покрита оболонкою – електролемою. У різних видів риб пластинки відрізняються за формою. Характерною їх ознакою є порівняно велика площа поверхні при досить малій товщині.

До однієї із сторін електричної пластинки, як правило, підходить багато нервових закінчень. Ця сторона називається лицьовою і є мембраною клітини; вона керує розподілом йонів натрію, калію, кальцію і хлору. До другої сторони пластинки, в якій розсіяні її багаточисельні ядра, підходять кровоносні судини. Процес іннервації (збудження) електричної риби спрямовується переважно на узгодження розрядів окремих пластинок.

Механізм виникнення потенціалів в електричних пластинках риб у принципі однаковий для клітин всіх типів: генерація електричних імпульсів зумовлюється розподілом йонів по обидві сторони мембрани. Оскільки нервові закінчення розташовуються з однієї сторони електричної пластинки, то під час розряду вона стає електронегативною по відношенню до другої сторони. Таким чином, характер і напруга імпульсів, які генеруються електричними пластинками, зумовлені їх конструкцією і комбінацією мембран. Напруга імпульсу залежить також від характеру іннервації мембрани і розміру електричної пластинки.

Отже, електричні органи риб складаються із елементарних електрогенераторів – електричних пластинок, зібраних у декілька стовпчиків; вони неначе укладені один на одного. Оскільки у пластинок полярність різних сторін різна, то зв'язок їх у стовпчиках передбачає тип послідовного електричного з'єднання джерел електрорушійної сили, що значно збільшує загальний потенціал розряду.

Ряди стовпчиків також з'єднані між собою, але вже за типом паралельного електричного з'єднання. Завдяки цьому збільшується сумарна сила струму розряду.

Форма електричних пластинок у різних видів електричних риб різна: вона нагадує циліндри або диски, стержні або веретена, розетки або чашки. У зв'язку з відмінностями у будові електричних органів риби генерують специфічні для кожного виду розряди. Всі пластинки мають строгу орієнтацію відносно осі тіла риби, що забезпечує постійну структуру електричного поля і сумування створюваних потенціалів. Такий фізико біохімічний механізм дії електричних органів риб.

Висновок. Отже, електричні органи риб представляють собою комбінацію певним чином взаємопов'язаних елементарних генераторів, з'єднаних послідовно або паралельно. В органах різних риб мають місце обидва типи з'єднань елементарних генераторів у відповідності із законом Ома $U = I \cdot R$. За однієї і тієї ж витраті потужності ($P = U \cdot I$) у першому

випадку підвищується напруга розряду *U*, а в другому – збільшується сила струму *I*.

На розглянутому прикладі пояснення природи електричних властивостей риб, зроблена спроба продемонструвати інтегративні можливості фізики, хімії і біології при реалізації між ними міжпредметних зв'язків у процесі вивчення основ цих наук у різних закладах загальної середньої освіти. Вдалий підбір такого матеріалу, за належної фахової підготовки вчителя і методиці його викладу допоможе викликати підвищену цікавість учнів до вивчення природничих наук та сформувати у них комплексні уявлення про єдність наукової картини світу.

Література:

1. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Підручник. Львів : Афіша, 2001. 424 с.
2. Біофізика / П.Г. Костюк та ін. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. 567 с.
3. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики : у 3 кн. : навч. посібник. Київ : Вища школа, 2003. Кн. 2 : Електрика і магнетизм. 278 с.
4. Краснобокий Ю.М., Підгорний О.В., Ткаченко І.А. Основи фізики з елементами біофізики. Бровари : АНФГРУП, 2020. 356 с.
5. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. Дослідження електричного поля Землі методом електричного зондування. *Science in Motion: Classic and Modern Tools and Methods in Scientific Investigations* : proceedings of the II Correspondence International Scientific and Practical Conference, Vinnytsia (Ukraine) – Vienna (Austria), january 19th, 2024 [*Наука в русі: класичні та сучасні засоби та методи наукових досліджень* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, Вінниця – Відень, 19 січня 2024] / Грааль науки : міжнар. наук. журнал. Вінниця : ГО «Європейська наукова платформа», 2024. № 35. С. 243–245.
6. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики : у 3 т. / за ред. І.М. Кучерука. 2-ге вид., випр. Київ : Техніка, 2006. Т. 2 : Електрика і магнетизм. 456 с.
7. Медична і біологічна фізика: підручник для студ. вищ. мед. закл. III-IV рівнів акредитації / О.В. Чалий та ін. ; ред. О.В. Чалий. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Книга плюс, 2005. 760 с.
8. Посудін Ю.І. Біофізика. Київ : Видавництво Ліра-К, 2017. 472 с.

References:

1. Budishchev, M.S. (2001). *Elektrotekhnika, elektronika ta mikroprotsesorna tekhnika. Pidruchnyk [Electrical engineering, electronics and microprocessor technology. Textbook]*. Lviv: Afisha [in Ukrainian].
2. Kostiuk, P.H., Zyma, V.L., Mahura, I.S., Miroshnychenko, M.S., & Shuba, M.F. (2008). *Biofizyka [Biophysics]*. Kyiv : Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Kyivskyi universytet" [in Ukrainian].
3. Bushok, H.F., & Venher, Ye.F. (2003). *Kurs fizyky: Kn. 2. Elektryka i mahnetyzm [Physics course: Book. 2. Electricity and magnetism]*. Kyiv : Vyshcha shkola [in Ukrainian].
4. Krasnobokyi, Yu.M., Pidhornyi, O.V., & Tkachenko, I.A. (2020). *Osnovy fizyky z elementamy biofizyky [Fundamentals of physics with elements of biophysics]*. Brovary : ANFHRUP [in Ukrainian].

5. Krasnobokyi, Yu.M., & Tkachenko, I.A. (2024). Doslidzhennia elektrychnoho polia Zemli metodom elektrychnoho zonduvannia [Study of the Earth's electric field by the method of electric sounding]. A.M. Tanasiichuk (Eds.), *Science in Motion: Classic and Modern Tools and Methods in Scientific Investigations* : proceedings of the II Correspondence International Scientific and Practical Conference (Grail of science, no.35), (pp. 243–245). Vinnytsia : NGO«European Scientific Platform» [in Ukrainian].

6. Kucheruk, I.M., Horbachuk, I.T., & Lutsyk, P.P. (2006). *Zahalnyi kurs fizyky*: *T. 2. Elektryka i mahnetyzm [General course of physics: Vol. 2. Electricity and magnetism]* (I.M. Kucheruk, Eds.) (2nd ed., corrected). Kyiv : Tekhnika [in Ukrainian].

7. Chalyi, O.V., Tsekhmister, Ya.V., Ahapov, B.T., Melenevska, A.V., & Murashko, M.I. (2005). *Medychna i biolohichna fizyka: pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh medychnykh zakladiv III-IV rivniv akredytatsii [Medical and biological physics: textbook for students of higher medical institutions of III-IV accreditation levels]* (2nd ed., rev.). Kyiv : Knyha plius [in Ukrainian].

8. Posudin, Yu.I. (2017). *Biofizyka [Biophysics]*. Kyiv : Vydavnytstvo Lira-K [in Ukrainian].