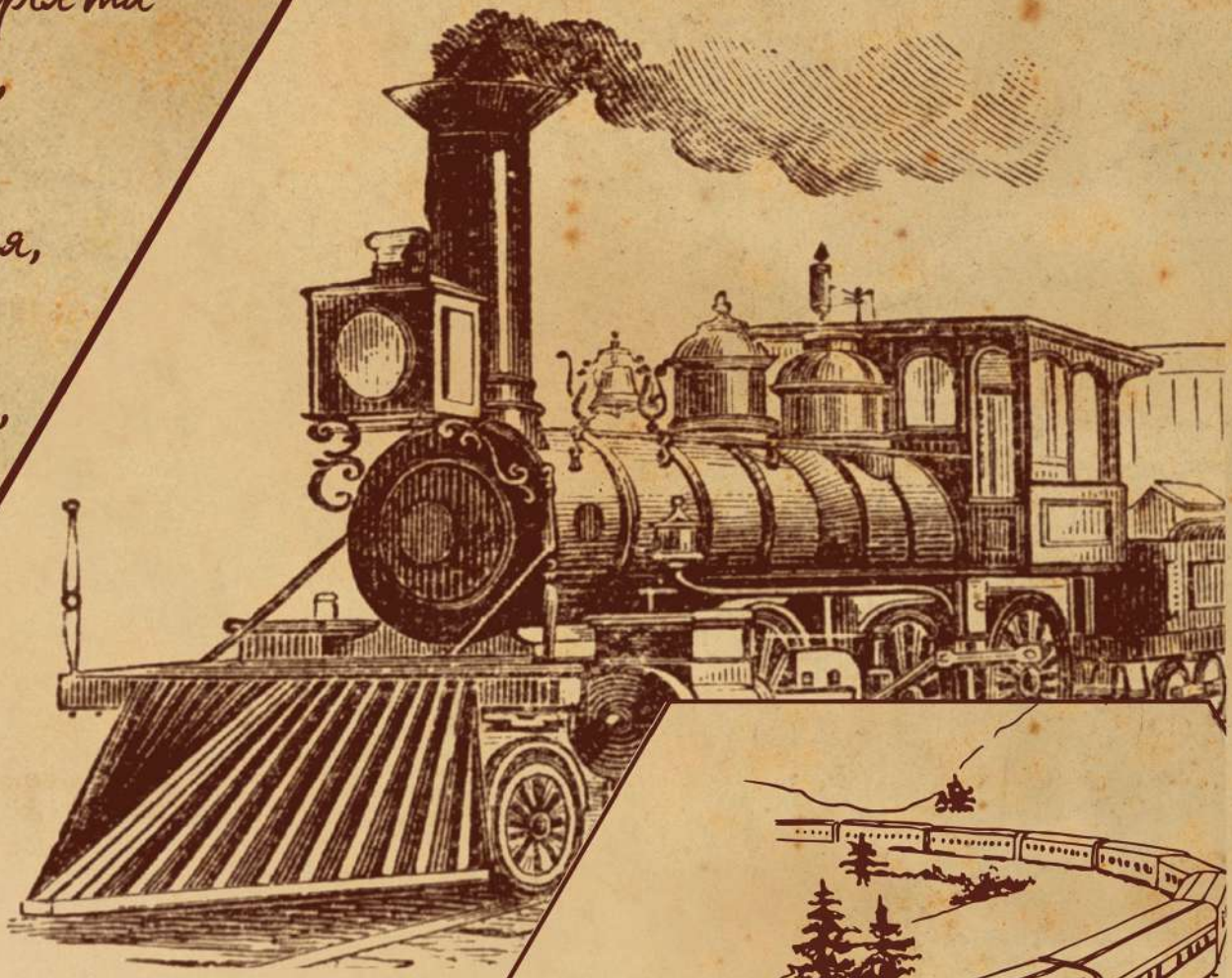
Наукові перспективи
Видавнича група

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ У СУЧАСНІЙ НАУЦІ

№2(20)
2024

Серія: історія та археологія, державне управління, економіка, педагогіка, техніка, право





Всеукраїнська асамблея докторів наук з державного управління
Асоціація науковців України
Науковий парк Національного Авіаційного Університету

у рамках роботи Видавничої групи «Наукові перспективи»

«Актуальні питання у сучасній науці»

(Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія Економіка», Серія «Державне управління», Серія «Техніка», Серія «Історія та археологія»)

Випуск № 2(20) 2024

Київ – 2024

Ukrainian Assembly of Doctors of Sciences in Public Administration
Association of Scientists of Ukraine
Scientific Park of the National Aviation University

within the work of the Publishing Group "Scientific Perspectives"

«Current issues in modern science»

("Pedagogy" Series, "Law" Series, Economy Series, "Public Administration" Series, "Technology" Series, "History and Archeology" Series)

Issue № 2(20) 2024

Kyiv – 2024

ISSN 2786-6300 Print

УДК 001.32:1 /3](477)(02)

DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-2(20)

«Актуальні питання у сучасній науці (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія Економіка», Серія «Державне управління», Серія «Техніка», Серія «Історія та археологія»)»: журнал. 2024. № 2(20) 2024. С. 953.

Свідоцтво про державну реєстрацію Серія Серія КВ № 25116-15056Р.

Згідно наказу Міністерства освіти і науки України 10.10.2022 № 894 журналу присвоєні категорії "Б" із з права (спеціальність - 081 Право), економіки (спеціальність - 076 Підприємництво та торгівля), педагогіки (спеціальність - 014 Середня освіта) та державного управління (спеціальність - 281 Публічне управління та адміністрування).

Згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 20.02.2023 № 185 журналу присвоєно категорію "Б" із історії та археології (спеціальність - 032 Історія та археологія)

Рекомендовано до друку Президією громадської наукової організації «Всеукраїнська Асамблея докторів наук з державного управління» (Рішення від 12.02.2024, № 4/2-24).

Журнал видається за підтримки Інституту філософії та соціології Національної Академії Наук Азербайджану (Баку, Азербайджан), Міждержавної гільдії інженерів консультантів, громадської організації «Християнська академія педагогічних наук України» та громадської організації «Всеукраїнська асоціація педагогів і психологів з духовно-морального виховання».

Журнал публікує оригінальні дослідницькі та оглядові розвідки з теоретичних та прикладних аспектів державного управління, права, економіки, історії, педагогіки, техніки для їх інтеграції у європейський, світовий науковий простір. Цільова аудиторія: науковці, працівники вищих навчальних закладів та наукових інституцій, здобувачі вищої освіти, а, також фахівці тематики журналу.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (IC), міжнародної пошукової системи Google Scholar та до міжнародної наукометричної бази даних Research Bible.

Головний редактор: Даційй Олександр Іванович - доктор економічних наук, професор, Заслужений працівник освіти України, завідувач кафедри фінансів, банківської та страхової справи Міжрегіональної академії управління персоналом (Київ, Україна)

Редакційна колегія:

- Балалаєва (Дорошенко) Катерина Вікторівна - кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Бельська Тетяна Валентинівна - доктор наук з державного управління, доцент, завідувач кафедри менеджменту Інституту підготовки кадрів державної служби зайнятості (Київ, Україна)
- Будник Вікторія Анатоліївна - кандидат економічних наук, професор, професор кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій Державного університету інфраструктури та технологій (Київ, Україна)
- Гбур Зоряна Володимирівна - доктор наук з державного управління, професор, професор кафедри управління охороною здоров'я та публічного адміністрування Національного університету охорони здоров'я України імені П.Л.Шупика (Київ, Україна)
- Герасименко Юлія Сергіївна - доктор економічних наук, доцент, професор кафедри педагогіки, психології та менеджменту Білоцерківського інституту неперервної професійної освіти Державного закладу вищої освіти «Університет менеджменту освіти» Національної академії педагогічних наук України (Біла Церква, Україна)
- Дегтяр Олег Андрійович — доктор наук з державного управління, доцент, доцент кафедри менеджменту і адміністрування Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова (Харків, Україна)
- Закієв Іслам Муса-Огли - старший науковий співробітник кафедри підтримання льотної придатності авіаційної техніки Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Заячківська Оксана Василівна - кандидат економічних наук, доцент кафедри фінансів та економічної безпеки Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, Україна)
- Іванченко Євгенія Вікторівна — кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Ігнатович Сергій Ромуальдович - доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою конструкції літальних апаратів Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Ільїна Анастасія Олександрівна - кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри публічного управління і адміністрування Національного торговельно-економічного університету (Київ, Україна)
- Ісайкіна Олена Дмитрівна - кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри історії та документознавства Національного авіаційного університету, член Спілки краєзнавців України (Київ, Україна)

- Кавиліна Ганна Костянтинівна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри сімейної та спеціальної педагогіки і психології Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К.Д. Ушинського» (Одеса, Україна)
- Кардаш Оксана Любомирівна — кандидат економічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Навчально-наукового інституту автоматики, кібернетики та обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне, Україна)
- Карускевич Михайло Віталійович - доктор технічних наук, професор, професор кафедри конструкції літальних апаратів Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Катеринчук Іван Степанович - доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікаційних та інформаційних систем Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького (Хмельницький, Україна)
- Кінзерявий Василь Миколайович — кандидат технічних наук, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Коваленко Валентин Васильович - доктор юридичних наук, професор, провідний науковий співробітник сектору авторського права та суміжних прав лабораторії авторського права та інформаційних технологій Науково–дослідного центру судової експертизи з питань інтелектуальної власності Міністерства юстиції України (Київ, Україна)
- Ковтун Владислав Юрійович — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Комнатний Сергій Олександрович - докторант кафедри філософії права та юридичної логіки Національної академії внутрішніх справ (Київ, Україна)
- Корченко Анна Олександрівна — доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Корченко Олександр Григорович — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Котельницький Назар Анатолійович - кандидат історичних наук, доцент кафедри права Чернігівського інституту інформації, бізнесу та права Міжнародного науково - технічного університету імені академіка Юрія Бугая, член - кореспондент Центру українських досліджень Інституту Європи РАН (Чернігів, Україна)
- Кошетар Уляна Петрівна - кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри української мови та культури Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Кошова Світлана Петрівна — кандидат наук з державного управління, доцент, доцент кафедри управління охорони здоров'я Національного університету охорони здоров'я України імені П.Л.Шупика (Київ, Україна)
- Кравчук Володимир Миколайович — доктор юридичних наук, доцент, доцент кафедри конституційного, адміністративного та міжнародного права Волинського національного університету імені Лесі Українки (Луцьк, Україна)
- Кризина Наталія Павлівна – доктор наук державного управління, професор, Заслужений лікар України, директор Навчально-Наукового медичного інституту Київського міжнародного університету (Київ Україна)
- Куриш Наталія Костянтинівна – кандидат педагогічних наук, заступник директора з науково-навчальної роботи, Інститут післядипломної педагогічної освіти Чернівецької області (Чернівці, Україна)
- Марушева Олександра Анатоліївна - доктор наук з державного управління, доцент, завідувач кафедри публічного управління та інформаційного менеджменту ПВНЗ Університет Новітніх Технологій (Київ, Україна)
- Маслак Тетяна Петрівна - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструкції літальних апаратів Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Матяш Ольга Іванівна - доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри алгебри і методики навчання математики Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (Вінниця, Україна)
- Миргород-Карпова Валерія Валеріївна - кандидат юридичних наук, заступник директора з наукової роботи, старший викладач кафедри адміністративного, господарського права та фінансово-економічної безпеки Сумського державного університету (Суми, Україна)
- Михайленко Любов Федорівна - доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри алгебри і методики навчання математики Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського (Вінниця, Україна)
- Михальчук Роман Юрійович - кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри всесвітньої історії Рівненського державного гуманітарного університету (Рівне, Україна)
- Мізюк Вікторія Анатоліївна – кандидат педагогічних наук, доцент, декан факультету управління, адміністрування та інформаційної діяльності Ізмаїльського державного гуманітарного університету (Ізмаїл, Україна)
- Мірошніченко Валентина Іванівна - доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри психології, педагогіки та соціально-економічних дисциплін Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького (Хмельницький, Україна)
- Міхальський Томаш — доктор наук, доцент кафедри географії регіонального розвитку Гданського університету (Польща)
- Ніколаєв Микола Ілліч - доктор історичних наук, професор кафедри історії на методики її навчання Ізмаїльського державного гуманітарного університету (Одеса, Україна)
- Новак-Каляєва Лариса Миколаївна — доктор наук з державного управління, професор, професор кафедри державного управління Львівського регіонального інституту державного управління Національної академії державного управління при Президентові України (Львів, Україна)
- Огієнко Альона Володимирівна - доктор економічних наук, доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Оніщенко Наталія Миколаївна - доктор юридичних наук, професор, Заслужений юрист України, академік НАПрН України, завідувач відділу теорії держави і права Інституту держави і права ім. В.М.Корецького НАН України (Київ, Україна)
- Орлова Наталія Сергіївна — доктор наук з державного управління, професор кафедри державного управління, публічного адміністрування та регіональної економіки, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця (Харків, Україна)

- Павлов Костянтин Володимирович — доктор економічних наук, професор, професор кафедри аналітичної економіки та природокористування Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки (Київ, Україна)
- Павлова Олена Миколаївна - доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економіки, підприємництва та маркетингу Волинського національного університету імені Лесі Українки (Луцьк, Україна)
- Палічук Юрій Іванович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри медицини катастроф та військової медицини Буковинського державного медичного університету (Чернівці, Україна)
- Присяжнюк Олексій Миколайович - кандидат історичних наук, доцент кафедри всесвітньої історії та методології науки ДЗ «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» (Одеса, Україна)
- Робак Ігор Юрійович - доктор історичних наук, професор, завідувач кафедри суспільних наук Харківського національного медичного університету (Харків, Україна)
- Руденко Юлія Анатоліївна - доктор педагогічних наук, доцент, доцент кафедри теорії і методики дошкільної освіти ДЗ "Південноукраїнський національний педагогічний університет імені к.д.ушинського (Одеса, Україна)
- Сидоренко Вікторія Миколаївна —асистент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Сирник Ярослав - доцент кафедри етнології та культурної антропології Вроцлавського університету (Вроцлав, Польша)
- Січкаренко Галина Геннадіївна - доктор історичних наук, доцент, професор кафедри документознавства та інформаційної діяльності Державного університету телекомунікацій (Київ, Україна)
- Сопілко Ірина Миколаївна - доктор юридичних наук, професор, Відмінник освіти України, Заслужений юрист України, декан юридичного факультету Національного Авіаційного Університету (Київ, Україна)
- Терещенко Юрій Матвійович — доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії в області науки і техніки України, Заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Титко Анна Василівна — кандидат юридичних наук, провідний науковий співробітник Національної академії внутрішніх справ (Київ, Україна)
- Толочко Світлана Вікторівна – доктор педагогічних наук, професор, головний науковий співробітник лабораторії позашкільної освіти Інституту проблем виховання Національної академії педагогічних наук України (Київ, Україна)
- Хитровська Юлія Валентинівна - доктор історичних наук, професор, професор кафедри історії факультету соціології і права Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)
- Хохлачова Юлія Євгеніївна — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій Національного авіаційного університету (Київ, Україна)
- Чумак Оксана Володимирівна - доктор економічних наук, доцент, науковий співробітник відділу статистики і аналітики вищої освіти Державної наукової установи «Інститут освітньої аналітики», (Київ, Україна)
- Шандра Наталія Андріївна - кандидат педагогічних наук, доцент кафедри іноземних мов для природничих факультетів Львівського національного університету імені Івана Франка (Львів, Україна)
- Шеремет Інеса Володимирівна - кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри медикобіологічних та валеологічних основ охорони життя і здоров'я Національного педагогічного університету ім. М. П. Драгоманова (Київ, Україна)
- Шологон Лілія Іванівна - доктор історичних наук, доцент, професор кафедри історії Центральної та Східної Європи і спеціальних галузей історичної науки Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника (Івано-Франківськ, Україна)
- Якимчук Олег Феодосійович - керівник групи білінгу Відділу бізнес-систем Департаменту інформаційних технологій ПРаТ «Рівнеобленерго» (Рівне, Україна)
- Якушенко Олександр Сергійович — кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри авіаційних двигунів Національного авіаційного університету (Київ, Україна)

Статті розміщені в авторській редакції. Відповідальність за зміст та орфографію поданих матеріалів несуть автори.

© автори статей, 2024
© Всеукраїнська асамблея докторів наук з державного управління, 2024
© Асоціація науковців України, 2024
© Науковий парк Національного Авіаційного Університету, 2024
© Видавнича група «Наукові перспективи», 2024

ЗМІСТ

СЕРІЯ «Економіка»

Атаманюк Р.Ф. **16**
ВПЛИВ МІГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА РИНОК ПРАЦІ УКРАЇНИ

Винничук Р.О., Гончар М.Ф., Макогін П.О. **26**
ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У РЕКРУТИНГУ

Залізнюк В.П. **37**
ВПЛИВ НЕОПРОТЕКЦІОНІЗМУ НА ФОРМУВАННЯ МІЖНАРОДНИХ ТОРГОВЕЛЬНИХ АЛЬЯНСІВ

Кондрацька Л.П. **47**
СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНКЛЮЗИВНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНІ

Лавров Р.В., Еатон Г.В., Сидорук І.С. **59**
ГЛОБАЛІЗАЦІЙНІ ТРЕНДИ СУЧАСНОГО БІЗНЕС-СЕРЕДОВИЩА: НОВІ ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ ПІДПРИЄМНИЦТВА І МІЖНАРОДНОЇ ТОРГІВЛІ

Левицький В.О., Радинський С.В., Крупка А.Я. **73**
ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДПРИЄМНИЦТВІ: СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД ТА ПРАВОВА БАЗА

Магас Н.В., Чабанюк О.М., Бернацька І.Я. **88**
СИНЕРГІЗМ КРИЗИ ТА ІННОВАЦІЙ ЯК КЛЮЧОВОГО ФАКТОРУ ЗБЕРЕЖЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ

Радченко Г.А., Казанська О.О., Соболєва А.В. **97**
ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ОНЛАЙН-КОМУНІКАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

СЕРІЯ «Державне управління»

Kyrylko V.O., Kalashnikova Kh.I. **112**
HISTORICAL AND CHRONOLOGICAL DEVELOPMENT OF PUBLIC ADMINISTRATION IN THE HEALTHCARE SECTOR: NATIONAL DIMENSION



Атабєгов М.І. **123**
ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРУДОВИХ ВІДНОСИН В СИСТЕМІ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ В УКРАЇНІ

Бондар В.Т., Ціпоренко С.Ю. **132**
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ВДОСКОНАЛЕННЯМ ДЕРЖАВНОЇ КАДРОВОЇ ПОЛІТИКИ З РОЗВИТКУ КЕРІВНИХ КАДРІВ У ПУБЛІЧНОМУ УПРАВЛІННІ

Голинська О.В. **140**
ВІДНОВЛЕНЯ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ ТА ЙОГО ПУБЛІЧНО-УПРАВЛІНСЬКІ МЕХАНІЗМИ

Драгомирецька Н.М. **150**
ПАРТНЕРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ ГРОМАДСЬКИХ ПРАВОЗАХИСНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ З ЗАПРОВАДЖЕННЯ ПРОЄКТІВ ЗАХИСТУ ПРАВ ЛЮДИНИ

Іоффе М.В. **163**
ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЛІДЕРСТВА В СУЧАСНІЙ НАУЦІ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ

Костюченко О.Д. **176**
СТАН ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЛОТЕРЕЙНОГО РИНКУ В УКРАЇНІ

Кравчук О.Ю. **196**
ПОЛІТИЧНЕ ЛІДЕРСТВО У СИСТЕМІ ПОЛІТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

Лугач О.О. **207**
ПУБЛІЧНО-УПРАВЛІНСЬКИЙ ПІДХІД ЩОДО РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТИПАНДЕМІЧНИХ ЗАХОДІВ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Лукашевський Ю.О. **217**
ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ ІНСТРУМЕНТАРІЮ ФОРМ УЧАСТІ МЕШКАНЦІВ У МІСЦЕВОМУ САМОВРЯДУВАННІ

Лях Ю.І., Давидов Д.В. **225**
ОПТИМІЗАЦІЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЧЕРЕЗ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВІ МЕХАНІЗМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПУБЛІЧНОЇ ПОЛІТИКИ В УКРАЇНІ

Масик Р.І. **238**
ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА СИСТЕМУ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Мосора Л.С. **251**
АКТУАЛІЗАЦІЯ ДЕРЖАВНОЇ МІГРАЦІЙНОЇ ПОЛІТИКИ У ВОЄННИЙ ПЕРІОД

Осіпов А.О., Бутенко Т.В. **264**
ЗАПОБІГАННЯ УЗУРПАЦІЇ ВЛАДИ ЧЕРЕЗ РЕАЛІЗАЦІЮ МЕХАНІЗМУ СТРИМУВАННЯ І ПРОТИВАГ У МІСЦЕВИХ РАДАХ УКРАЇНИ

Пархоменко-Куцевіл О.І. **276**
ФОРМУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ДЕРЖАВНОЇ МОЛОДІЖНОЇ ПОЛІТИКИ: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ДОСВІД ТА ПОЗИТИВНІ ПРАКТИКИ ДЛЯ УКРАЇНИ

Підбережник Н.П., Тютюнник О.І. **288**
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАВОВОГО СТАТУСУ НАЦІОНАЛЬНИХ МЕНШИН В УКРАЇНІ В КОНТЕКСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

Радиш Я.Ф. **299**
МЕДІАЦІЯ ТА ВИРІШЕННЯ КОНФЛІКТІВ У СФЕРІ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА АДМІНІСТРУВАННЯ

Сербин А.В. **307**
МЕХАНІЗМИ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Споришев К.О., Бєлай С.В. **320**
СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ДЕРЖАВНОМУ УПРАВЛІННІ СИЛАМИ БЕЗПЕКИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ ДЛЯ УКРАЇНИ

Стороженко Л.Г., Власенко В.О. **330**
ЦИФРОВА ГОТОВНІСТЬ СУСПІЛЬСТВА ЯК КОМПОНЕНТ ФОРМУВАННЯ НЕТОКРАТИЧНОГО ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ

Хом'як І.В. **342**
ЗМІСТ ТА СКЛАДОВІ ЕФЕКТИВНОСТІ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИМИ ГРОМАДАМИ



СЕРІЯ «Право»

Баїк О.І. **354**
ПРОБЛЕМИ ПРИТЯГНЕННЯ ДО ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ЕКОЦИД: АНАЛІЗ МІЖНАРОДНОГО ТА НАЦІОНАЛЬНОГО КРИМІНАЛЬНОГО ПРАВА

Білянська Н.В. **366**
ВИЗНАННЯ НЕОБГРУНТОВАНИМИ АКТИВІВ ТА ЇХ СТЯГНЕННЯ В ДОХІД ДЕРЖАВИ ЯК ПІДСТАВА ПРИПИНЕННЯ ПРАВА ВЛАСНОСТІ

Бурлак О.В., Зінич Л.В. **379**
ОСОБЛИВОСТІ ЗДІЙСНЕННЯ МІЖНАРОДНОЮ ОРГАНІЗАЦІЄЮ ПРАЦІ КОНТРОЛЮ ЗА ВИКОНАННЯМ ДЕРЖАВАМИ-ЧЛЕНАМИ ЗОБОВ'ЯЗАНЬ ЩОДО СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРАВ

Вовк М.З., Юркевич Ю.М. **394**
ПРОБЛЕМИ ТЛУМАЧЕННЯ ДОГОВОРІВ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ГАРМОНІЗАЦІЇ З ПРАВОМ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

Гречанюк Р.В. **406**
АДМІНІСТРАТИВНО – ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЕРЖАВНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ АКТІВ ЦИВІЛЬНОГО СТАНУ НА ТИМЧАСОВО ОКУПОВАНІЙ ТЕРИТОРІЇ

Донченко О.І. **417**
ПОЛІТИЧНА ПРОГРАМА КИРИЛО-МЕФОДІЇВСЬКОГО ТОВАРИСТВА

Драган О.В. **430**
ПРАКТИКА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СУДУ З ПРАВ ЛЮДИНИ ЩОДО ТИМЧАСОВО ОКУПОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ

Зеленський Є.С., Байрак К.С. **440**
ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ВОГНЕПАЛЬНОЇ ЗБРОЇ ПОЛІЦЕЙСЬКИМИ В УКРАЇНІ ТА США: ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Канцір В.С. **447**
«ЗЛОЧИНИ АГРЕСІЇ» /ПРОПАГАНДА, ПЛАНУВАННЯ, ПІДГОТОВКА, РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ТА ВЕДЕННЯ АГРЕСИВНОЇ ВІЙНИ/: ВЕКТОРИ ПОДАЛЬШИХ НАУКОВИХ ПОШУКІВ

Колосовський Є.Ю. **455**
АНАЛІТИЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ У ФІНАНСОВИХ РОЗСЛІДУВАННЯХ

Кузьменко О.В., Чорна В.Г., Кожура Л.О. **466**
АДАПТАЦІЯ БАНКІВСЬКИХ ПОСЛУГ ДЛЯ ОСІБ З ІНВАЛІДНІСТЮ: ОСОБЛИВОСТІ АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Мануйлова Ю.О., Шульга Т.М. **475**
ПОРУШЕННЯ ПРАВА НА МИРНЕ ВОЛОДІННЯ МАЙНОМ: РІШЕННЯ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СУДУ ЯК ОСНОВА РЕГУЛЮВАННЯ ПОДАТКОВИХ СПОРІВ

Обушенко Н.М., Межевська Л.В. **488**
ПІДЗАКОННІ НОРМАТИВНО-ПРАВОВІ АКТИ У СИСТЕМІ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАВСТВА

Олексін Ю.П., Цецик Я.П. **499**
ЗАСТОСУВАННЯ НОРМ ПРАВА ПІД ЧАС РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ У 2022 – 2024 РР.

Онишкевич І.А. **508**
«SUI GENERIS НОРМА ПРО НАСИЛЬНИЦЬКЕ ЗНИКНЕННЯ: АНАЛІЗ СКЛАДУ (Ч.2 СТ.146-1 КК УКРАЇНИ).»

Пунда О.О. **522**
ГАРАНТІЇ ЗАХИСТУ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДАНИХ ПРИ ЗАСТОСУВАННЯ НЕПРЯМИХ МЕТОДІВ ПОДАТКОВОГО КОНТРОЛЮ

Самойленко О.А.,Вейц А.М. **535**
КРИМІНАЛІСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗЛОЧИННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СЛУЖБОВОЇ ОСОБИ АБО ТАКОЇ, ЯКА ЗДІЙСНЮЄ ПРОФЕСІЙНУ ДІЯЛЬНІСТЬ, ПОВ'ЯЗАНУ З НАДАННЯМ ПУБЛІЧНИХ ПОСЛУГ, ЯКА ДІЄ У СКЛАДІ ОРГАНІЗОВАНОЇ ГРУПИ ДЛЯ ВЧИНЕННЯ КІБЕРЗЛОЧИНУ

Семенюк-Прибатень А.В. **549**
ЗНИЩЕННЯ ТА ПОШКОДЖЕННЯ МАЙНА ЯК СПОСІБ ВЧИНЕННЯ ІНШИХ КРИМІНАЛЬНИХ ПРАВОПОРУШЕНЬ

Стовба О.В. **561**
НЕЗАЛЕЖНІСТЬ СУДДІВ: ПРАКТИКА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СУДУ З ПРАВ ЛЮДИНИ

Цебенко С.Б., Обрембальський С.В. **571**
СПІВПРАЦЯ УКРАЇНИ З МІЖНАРОДНИМИ ОРГАНІЗАЦІЯМИ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ



Чурпіта Г.В. **585**
ТРЕТІ ОСОБИ, ЯКІ НЕ ЗАЯВЛЯЮТЬ САМОСТІЙНИХ ВИМОГ ЩОДО ПРЕДМЕТА СПОРУ, ТА ЗАІНТЕРЕСОВАНІ ОСОБИ ЯК УЧАСНИКИ ЦИВІЛЬНИХ СПРАВ РІЗНИХ ВИДІВ ЦИВІЛЬНОГО СУДОЧИНСТВА

Яновицька А.В., Гусонька З.П. **596**
СТАНДАРТИЗАЦІЯ МЕДІАЦІЇ

СЕРІЯ «Педагогіка»

Mykytenko I.V. **605**
WAYS TO INCREASE THE WORK EFFICIENCY OF FUTURE TEACHERS OF FOREIGN LANGUAGES DURING ONLINE LEARNING

Анісімова О.Е. **613**
ОСНОВНІ ПОНЯТІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПІДГОТОВКИ ВИХОВАТЕЛІВ ДОШКІЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Бялик О.В., Демчик Н.О. **627**
ПІДГОТОВКА УЧНІВСЬКОЇ МОЛОДІ ДО СТВОРЕННЯ СІМ'Ї У СКАНДИНАВСЬКИХ КРАЇНАХ: ПОГЛЯД НА ПРОБЛЕМУ

Галів М.Д., Невмержицька О.В. **636**
ВИХОВНИЙ ПРОЦЕС У НИЖНЬОГАЇВСЬКІЙ СЕРЕДНІЙ ШКОЛІ НА ДРОГОБИЧЧИНІ (1950-1980-mi РР.)

Добридень О.В., Колдунов Я.В. **649**
ПЕДАГОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО РОЗВИТКУ ДУХОВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СТУДЕНТІВ-МЕДИКІВ У СВІТЛІ ФОРМУВАННЯ ЗДОРОВ'ЯЗБЕРЕЖУВАЛЬНОЇ КУЛЬТУРИ МАЙБУТНЬОГО ЛІКАРЯ

Завулічна І.І. **659**
МЕРЕЖА ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ, СТВОРЕНИХ ЗА СПРИЯННЯ БЛАГОДІЙНИХ ФОНДІВ УКРАЇНИ

Ільніцька К.С., Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А. **669**
ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЯВИЩА ЗОРОВОГО СПРИЙНЯТТЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Казачінер О.С., Бойчук Ю.Д., Галій А.І. **684**
КОРЕКЦІЙНО-ВИХОВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ КАЗОК НАРОДІВ ПІВНОЧІ ТА ЇХ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ У ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ КАЗКОТЕРАПІЇ

УДК 002.6:[536:535.2]+577.3

https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-2(20)-669-683

Ільніцька Катерина Сергіївна кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, тел.: (096) 293-50-22, https://orcid.org/0000-0002-6179-5543

Краснобокий Юрій Миколайович кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, тел.: (097) 338-30-45, https://orcid.org/0000-0003-2103-9978

Ткаченко Ігор Анатолійович доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, тел.: (067) 181-94-85, https://orcid.org/0000-0003-1775-1110

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ЯВИЩА ЗОРОВОГО СПРИЙНЯТТЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Анотація. У статті розглядаються термодинамічні процеси впливу світла на речовини, які складають структуру ока, внаслідок чого виникає зорове відчуття. За цього під світлом розуміється не лише *видиме світло*, а й прилягаючі до нього широкі області спектра електромагнітного випромінювання – *інфрачервона* та *ультрафіолетова*.

Аналізується будова *сітківки* ока з *колбочок* і *паличок*: їх роль, кількість, геометричні розміри та розташування в оці. Наводяться характеристики світлочутливих речовин *родопсину* і *йодопсину*, які слугують рецепторами на подразнення квантами електромагнітного випромінювання. На основі фотофізичного і фотохімічного підходів пояснено реакцію сітківки (паличок і колбочок) на зміну інтенсивності світлового потоку, що потрапляє до ока; залежність від цього фактору «поведінки» (чутливості) паличок і колбочок за умов сутінкового і денного освітлення; їх роль у формуванні кольорового бачення; залежність характеру зорового сприйняття оточуючих предметів хребетними тваринами, плазунами, птахами тощо від природи і кількості тих чи тих рецепторів у їх очах.

Око людини розглядається як відкрита термодинамічна система, яка обмінюється з оточуючим середовищем (яким для нього є тіло людини)

енергією і масою. Оскільки око в складі людського організму має рівну з ним температуру ($\sim 37^{o}C$), то воно, поряд з поглинанням із зовні енергії електромагнітного випромінювання (червоного – «теплого»), здатне випромінювати у власну задню камеру теж певну кількість теплової енергії.

Чисельне співставлення цих енергій дало змогу пояснити, чому око не бачить оточуючі предмети в інфрачервоному випромінюванні. Застосувавши до таких процесів закон збереження енергії, який, як відомо, є фундаментальним законом природи і виконується за будь-яких явищ і перетворень енергії, та аналітичний вираз об'єднаного закону термодинаміки, складено два диференціальних рівняння: балансу енергетичних потоків електромагнітного випромінювання, що зрештою й визначають перебіг зорового процесу, і балансу потоків ентропії, які супроводжують відповідні енергетичні потоки. Розв'язок системи цих рівнянь дозволив отримати зв'язок фотофізичних і фотохімічних процесів з ентропійними характеристиками, температурою системи зору і потужністю енергії, яка викликає відповідні перетворення у такій системі, тобто з'ясувати термодинаміку цих процесів.

Ключові слова: термодинаміка, око, зорове сприйняття, електромагнітне випромінювання (світло).

Ilnitska Kateryna Serhiivna Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Sadova St., 2, Uman, tel.: (096) 293-50-22, https://orcid.org/0000-0002-6179-5543

Krasnobokyi Yurii Mykolayovych Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Sadova St., 2, Uman, tel.: (097) 338-30-45, https://orcid.org/0000-0003-2103-9978

Tkachenko Ihor Anatoliiovych Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physics and Integrative Technologies of Natural Sciences, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, Sadova St., 2, Uman, tel.: (067) 181-94-85, https://orcid.org/0000-0003-1775-1110

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF THE PHENOMENON OF VISUAL PERCEPTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

Abstract. The article deals with the thermodynamic processes of the influence of light on the substances that make up the structure of the eye, as a result of which



the visual sensation arises. By this, light is understood not only as visible light, but also the broad areas of the spectrum of electromagnetic radiation adjacent to it – infrared and ultraviolet.

The structure of the retina from cones and rods is analyzed: their role, number, geometric dimensions and location in the eye. The characteristics of light-sensitive substances rhodopsin and iodopsin, which serve as receptors for stimulation by quanta of electromagnetic radiation, are given. On the basis of photophysical and photochemical approaches, the reaction of the retina (rods and cones) to changes in the intensity of the light flux entering the eye is explained; the dependence on this factor of the "behavior" (sensitivity) of rods and cones under twilight and daylight conditions; their role in the formation of color vision; dependence of the nature of the visual perception of surrounding objects by vertebrates, reptiles, birds, etc. on the nature and number of certain receptors in their eyes.

The human eye is considered as an open thermodynamic system that exchanges energy and mass with the environment (which for it is the human body). Since the eye as a part of the human body has the same temperature as it (~ 37 °C), it, along with absorbing the energy of electromagnetic radiation (red – "warm") from the outside, is also able to emit a certain amount of thermal energy into its own rear chamber.

The numerical comparison of these energies made it possible to explain why the eye does not see surrounding objects in infrared radiation. Applying to such processes the law of conservation of energy, which is known to be a fundamental law of nature and is carried out for any phenomena and energy transformations, and the analytical expression of the unified law of thermodynamics, two differential equations were formulated: the balance of energy flows of electromagnetic radiation, which ultimately and determine the course of the visual process and the balance of entropy flows that accompany the corresponding energy flows. Solving the system of these equations made it possible to obtain a connection between photophysical and photochemical processes with entropy characteristics, the temperature of the visual system and the power of energy that causes the corresponding transformations in such a system, that is, to find out the thermodynamics of these processes.

Keywords: thermodynamics, eye, visual perception, electromagnetic radiation (light).

Постановка проблеми. За функціональними ознаками у зоровому апараті (оці) можна виокремити дві його основні частини: оптичний пристрій, який відповідає за фокусування зображень спостережуваних об’єктів (це – зіниця, кришталик і скловидне тіло), і апарат, що сприймає світло (електромагнітне випромінювання) (це – сітківка) і визначає енергетику процесу зору.

У відповідності із зазначеними функціями, з двох етапів складається й робота ока. На першому етапі воно, як оптичний прилад, створює зображення

спостережуваних об'єктів на сітківці, яка покриває його дно. На другому етапі око завдяки фотохімічним процесам трансформує енергію світлового зображення в енергію збудження нервових волокон, яке має електричну природу і передається до кори головного мозку, де й формується світлове сприйняття спостережуваного об'єкта.

Робота ока на першому етапі складає предмет променевої (геометричної) оптики, яка добре розроблена як у теоретичному плані, так і в прикладних задачах [1], і тому не входить до кола розглядуваних нами у цій статті проблем.

Значно більш важливе значення має порівняно **мало розроблена проблема** з'ясування ступеня чутливості ока до подразнень його світлом різних довжин хвиль, тобто до процесів, які розвиваються на другому етапі роботи ока – за перетворення світлової енергії в енергію збудження нервових волокон. Оскільки енергетичні процеси у різних природних і штучно створених системах є предметом дослідження термодинаміки, то застосування її понять і законів до опису процесу формування зорового відчуття під дією електромагнітного випромінювання складає низку ще не достатньо вирішених питань, що, на нашу думку, дозволяє вважати презентований матеріал *актуальним*.

У методичному плані такий підхід теж може представляти певний інтерес, оскільки за вивчення розділу «Оптика» у «Загальному курсі фізики» виникає можливість пригадати і поглибити знання з розділу «Термодинаміка».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У 1823 р. чеський біолог Я.Е.Пуркіне описав явище (яке отримало його ім'я) позірної зміни яскравості предметів різного кольору за зміни їх освітленості. Американський фізіолог Дж. Уолд намагався пояснити цей ефект наявністю хроматичної аберації ока людини, яка змінюється зі зміною яскравості світла. С.І.Вавілов пов'язував це явище зі зміною роздільної здатності ока за денного і нічного умов освітлення [2]. У 1951 р. англійський учений М.Х.Піренн, розглядаючи Сонце і людське тіло як теплові випромінювачі з температурами $6000\ K$ і $310\ K$ відповідно, наблизив розв'язок проблеми шляхом термодинамічного підходу з використанням формули М.Планка для розподілу спектральної густини потоку випромінювання [3].

Строго термодинамічний розгляд таких систем і процесів бере свій початок з роботи академіка Л.Д.Ландау, яка була опублікована у 1946 р. під час його роботи у Харківському Фізико-технічному інституті. У цій роботі Л.Д.Ландау вперше показав, як до нерівноважних систем, які взаємодіють зі світлом, можуть бути застосовані закони термодинаміки, зокрема для розрахунку ентропії різних видів електромагнітного випромінювання. У подальшому розвиток цього підходу отримав у працях американського теоретика М.А.Вайнштейна. Згодом була обґрунтована застосовність цього методу не лише до явища люмінесценції (як у згаданій роботі Л.Д.Ландау), а



й до термодинамічних процесів, що протікають зі зміною вільної енергії речовини.

На теперішній час цей метод набув такого розвитку, що дозволяє здійснювати не лише якісні, але й кількісні порівняння з результатами фотохімічних і фотофізичних експериментів в області термодинаміки зорового сприйняття електромагнітного випромінювання (світла).

Мета статті: продемонструвати можливість і ефективність застосування термодинамічного підходу щодо пояснення процесу зорового сприйняття електромагнітного випромінювання.

Виклад основного матеріалу. Для початку наведемо кілька основних характеристик органу зору (ока), які в подальшому і підлягатимуть аналізу їх взаємодії з електромагнітним випромінюванням.

По дну ока розташований так званий епітельний шар (сітківка), товщиною біля $0{,}2$ *мм*. Цей шар у свою чергу розпадається ще на кілька шарів з різною структурою. Тут з одного боку проходять тонесенькі нервові волокна, а з іншого розташовуються зв'язані з ними закінчення світлочутливих клітин різних видів – *паличок* і *колбочок*. У кожному оці є біля $120\text{-}130$ мільйонів паличок і $6\text{-}7$ мільйонів колбочок. Середні розміри паличок: довжина $0{,}06$ *мм*, діаметр $0{,}002$ *мм*; колбочок: довжина $0{,}07$ *мм*, діаметр $0{,}002\text{-}0{,}007$ *мм*. Палички і колбочки заповнені розчинами світлочутливих речовин, які здатні розпадатися під дією електромагнітного випромінювання (світла). У паличках міститься рожева речовина – *зоровий пурпур*, або *родопсин*; у колбочках – більш стійка до впливу випромінювання фіолетова речовина – *йодопсин*.

Родопсин складається з двох компонентів – білка *опсину* і небілкової частини – *ретикалю*, у якій і відбувається поглинання світла. Ретикаль може існувати у двох ізомерних формах: *витягнутій* і *перегнутій*. За поглинання світла ретикаль переходить із зігнутої (цис-форми) у спрямлену (транс-форму). За цього може відбутися його відщеплення від білка опсину. У цьому випадку передача енергії до опсину припиняється і чутливість сітківки до світла послаблюється. Колбочки знаходяться головним чином у центральній *ямці* дна ока і в оточуючій її так званій *жовтій плямі*; палички розташовані значно більш широким колом, яке виходить далеко за межі жовтої плями.

Розкладання світлом родопсину у паличках призводить до збудження нервових закінчень, що зумовлює відчуття *зеленувато-білого* кольору. Проте це відчуття не пов'язане з кольоровим сприйняттям. Останнє виникає за подразнення нервових закінчень, які зв'язані з колбочками, і супроводжується розкладанням йодопсину. Є три види колбочок, кожен з яких дає своє специфічне кольорове сприйняття. Накладання цих різних кольорових сприймань, взятих у різних пропорціях, які відповідають діючому на колбочку світлу, забезпечує сприйняття всіх відомих кольорів, і дає у підсумку кольорове бачення (зір) [4].

За слабих освітленостей задіяні головним чином палички. Їх набагато більше і вони наповнені більш чутливою до світла речовиною – родопсином. Тому за слабких освітленостей ми отримуємо сірувате безкольорове зображення, яскравість якого за вкрай слабих освітленостей пропорціональна потужності світлового потоку. Зір (бачення) за допомогою паличок називається *сутінковим* (оскільки воно складає основну частину світлового сприйняття за слабких світлових потоків) і *периферійним зором*, тому що основна частина паличок, як відзначалося, розташована на площі порівняно широкого кола, яке виходить далеко за межі жовтої плями.

За зростання яскравості світла вся речовина родопсину у паличках вицвітає. З часом родопсин відновлюється, але цей процес відбувається порівняно повільно. Тому за значних освітленостей дія паличок майже припиняється, і око від сутінкового зору переходить до кольорового, *центрального зору*.

Ми вже відзначали, що існують колбочки трьох різних видів. Розкладання речовини в одному виді колбочок призводить до світлового сприйняття червоного кольору; подразнення нервів, які пов’язані з другим видом колбочок, викликає сприйняття зеленого кольору, і, нарешті, третій вид колбочок відповідає сприйняттю фіолетового кольору.

Відмітимо, що будь-який монохроматичний промінь, тобто промінь однієї певної довжини світлової хвилі, викликає розкладання йодопсину у всіх трьох видах колбочок, але в різному співвідношенні; тож всі видимі нами кольори фактично є складними. Виключення складають крайні ділянки видимого спектру, які відповідають збудженню лише одного виду колбочок і тому відповідають простому сприйняттю світла.

Йодопсин колбочок набагато стійкіший від родопсину, і досягти його повного розкладання набагато важче. Проте за дуже великих освітленостей він також вицвітає, і чутливість ока зменшується. Це стає помітним за процесу читання на яскравому сонячному світлі, коли очі осліплюються і букви стають важкорозрізнюваними. За раптового сильного спалаху (наприклад, погляду на яскраве Сонце) око може на тривалий час осліпнути. Подібний же процес, хоча і в меншій мірі, відбувається за прямого погляду на розжарену спіраль лампи накалювання. Тому існує певна межа освітленості за гігієнічної роботи ока. Око у деякій мірі автоматично контролює вхідний у нього світловий потік, скорочуючи або розширюючи діаметр зіниці. Проте скорочення зіниці вимагає певного часу адаптації, приблизно $0{,}1\ c$, крім того, здатність зіниці змінювати (пропускати) світловий потік порівняно невелика, не більш як у 25 разів. Між тим як світлові перевантаження можуть сягати сотні і тисячі разів.

Чутливість ока до випромінювання різних довжин хвиль електромагнітного випромінювання (світла) характеризується *кривою видності*. На цій кривій (рис. 1) по вісі абсцис відкладається довжина хвилі λ, а по вісі

ординат – *видність* V_λ, тобто величина, обернена до енергетичної потужності випромінювань, які за візуальної оцінки їх оком сприймаються як однаково яскраві. Візуальне ж порівняння яскравостей випромінювань віддалених одна від одної довжин хвиль дещо ускладнюється. Тому для побудови кривої видності зазвичай застосовують метод малих ступенів, тобто порівнюють попарно за видимою яскравістю випромінювання таких близьких довжин хвиль, щоб різниця у їх кольорі не утруднювала таке порівняння. Не дивлячись на суб'єктивність цього методу, відтворюваність результатів досить добра, а криві видності для різних людей не дуже відрізняються одна від одної.

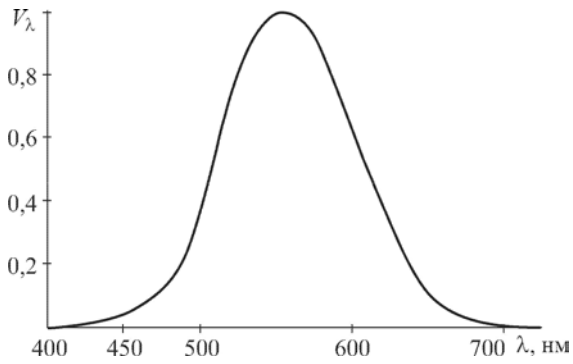


Рис. 1.

Крива видності середнього нормального ока за умов денного зору має максимум у жовто-зеленій частині спектра за значення $\lambda = 555$ *нм*, яка умовно береться за одиницю.

Межі видимої області, а також сама форма кривої видності людського ока не випадкові. Око людини (та й інших живих істот) сформувалося у процесі тривалої еволюції, пристосувавшись до умов освітлення земних предметів сонячним світлом, а також до умов сутінкового і нічного освітлення.

Сонячний спектр коротких хвиль поблизу поверхні Землі практично обмежується довжиною хвилі 290 *нм*. Ще більш короткі хвилі (ультрафіолетові) сонячного випромінювання затримуються шаром озону в атмосфері. Тому з біологічної точки зору є недоцільним, щоб око людини володіло здатністю сприймати випромінювання з довжинами хвиль коротшими від 290 *нм*. Чутливість сітківки до ультрафіолетових променів досить значна. Проте від довгохвильових ультрафіолетових променів ($290 < \lambda < 400$ *нм*), які земна атмосфера пропускає, око захищене власними засобами. Такі промені сильно поглинаються всередині ока, особливо у кришталику, і лише зовсім мізерна їх частка доходить до сітківки. Саме з цим і пов'язаний спад кривої чутливості ока на межі і в області ультрафіолету. Біофізичні дослідження [5] показують, що за хірургічного видалення кришталика, якщо лише око продовжує функціонувати, його чутливість до ультрафіолетових променів помітно підвищується.

Ультрафіолетові промені, потрапляючи до ока, викликають його *флуоресценцію*, перетворюючись у синє світло, яке й сприймається сітківкою.

Такий побічний вплив ультрафіолету проявляється, наприклад, у такому досліді. Якщо дивитися на потужну ртутну кварцову лампу, що випромінює ультрафіолет, через спеціальне затемнене скло, яке затримує видимі, але пропускає ультрафіолетові промені, то завдяки флуоресценції всередині ока оточуюче повітря здаватиметься наповненим блакитним туманом, що нагадує тютюновий дим.

Що ж до високої чутливості стосовно інфрачервоного випромінювання, коли б око таку мало, то вона була б не лише недоцільною, але й зробила б неможливим функціонування ока в умовах сонячного освітлення. Причина цього – у тепловому випромінюванні самого ока. За низької температури ($310\ K$) все теплове випромінювання ока припадає на інфрачервону область. Потужність, яка випромінюється $1\ см^2$ стінки ока всередину його порожнини, можна оцінити, користуючись законом Стефана-Больцмана, вона складає близько $0{,}105\ Вт/см^2$. Загальна внутрішня поверхня порожнини ока $\approx 17\ см^2$, тож повна потужність випромінювання ока всередину власної порожнини становить $\approx 1{,}7\ Вт$ і вона світиться інфрачервоним світлом. За цього поверхня порожнини ока скільки поглинає, стільки енергії й випромінює. Користуючись значенням сонячної сталої ($0{,}139\ Вт/см^2$), оцінимо потужність прямого сонячного випромінювання, яке потрапляє через зіницю ока із зовні. Отримаємо $0{,}139\pi r^2 \approx 0{,}017\ Вт$ (радіус зіниці r взятий рівним $2\ мм$). Ця величина, як видно, приблизно у 100 разів менша від потужності власного теплового випромінювання ока. Тож коли б чутливість ока в інфрачервоній області спектра була такою ж великою, як і в жовто-зеленій, то власне теплове інфрачервоне випромінювання ока затьмило б не лише розсіяне випромінювання неба, але й пряме сонячне світло. Функціонування ока як органа зору було б абсолютно неможливим, що рівносильно стану сліпоти. Це і є однією з причин, чому людина не бачить у інфрачервоних променях. Інша причина полягає у малій енергії інфрачервоних квантів світла. Процес зору повинен збуджуватися або хімічними, або фотоелектричними процесами, а вони спонукаються окремими квантами світла і не можуть відбуватися, якщо енергія кванта менша від деякого мінімального значення.

Варто відмітити, що у процесі еволюції, пристосовуючись до різних умов середовища пробування (проживання), різні хребетні неначе «відбирали» різні конструкції зорового апарату і основної його частини – світлочутливої сітківки. Так відомо, що пігментний шар в оці людини чорний, а в оці крокодила – білий. У кішки він має яскраво-зелений колір. Саме тому очі кішки у світлі, наприклад, фар автомобіля, виблискують вночі жовто-зеленими плямами внаслідок відбивання світла від пігментного шару.

Крім того, сітківка ока більшості хребетних містить і палички, і колбочки, але в сітківці ока голуба містяться лише колбочки, а в сітківці ока



кішки, навпаки, майже самі палички. Відсутність колбочок у сітківках очей сов і нічних мишей дає підстави вважати, що вони не володіють кольоровим зором. З іншого боку, малочисельність або й цілковита відсутність паличок у сітківці ока деяких видів черепах, а також у курей і голубів призводить до сліпоти за нічних умов, що й породило вираз «куряча сліпота».

Що ж стосується *енергетики* процесів зору, тобто саме таких процесів, що регулюються законом збереження енергії, то вона майже не розглядалася, а якщо й розглядалася, то це мало фрагментарний характер і не втілювалося у форму цілісної теорії. Лише в останні роки завдяки розвитку квантової термодинаміки до енергетики процесу зору вдалося підійти з самих загальних позицій. На теперішній час вже зрозуміло, що енергетичний підхід до процесу зору стає найбільш результативним, тому й важливо зрозуміти ті основи, той фундамент, на якому він базується. Із багатьох аспектів процесу зору (біофізичного, біохімічного, психологічного та ін.) зараз активно розвиваються ті, які пов'язані з «фотофізикою» і «фотохімією».

Вважаючи око біологічною системою, у термодинамічному сенсі її розглядають як нерівноважну і відкриту. Це означає, що вона має здатність обмінюватися з оточуючим середовищем (для ока людини це є її тіло) енергією і масою. Щодо останнього, то обмін масою відбувається за рахунок періодичного відлущування і відновлення зовнішніх сегментів паличок і колбочок. Це означає що модель, яка демонструю термодинаміку процесу зору, має враховувати й процеси транспорту речовини як одну з обов'язкових складових частин.

Нехай до такої системи підводяться деякі речовини, внутрішня енергія яких U_1, і відводяться інші речовини з внутрішньою енергією U_2. За подальшого розгляду цих процесів важливими є швидкості зміни цих величин, а саме dU_1/dt і dU_2/dt (у подальшому похідні цих й інших величин позначатимемо $\dot{U}_1$ і $\dot{U}_2$). Це потоки внутрішньої енергії речовин, що вводяться до системи і виводяться з неї. Оскільки розглядувана система (око) зазнає на собі впливу падаючого світла, то його теж необхідно ввести в розгляд. За цього береться до уваги поглинута енергія W_1 сонячного випромінювання, яка бере участь у подальших процесах і може бути тим чи іншим способом перетворена. Тут знову береться до уваги швидкість поглинання цієї енергії dW_1/dt ($\dot{W}_1$), яка являє собою потужність поглинутої енергії. Принципово допустимим є й процес нерівноважного випромінювання світла системою. Якщо ж і його вводити в розгляд, то слід враховувати й потужність потоку енергії випромінювання $\dot{W}_2$. Крім того, за будь-якого розгляду відкритих термодинамічних систем завжди існує процес їх обміну теплом з оточуючим

середовищем. Він враховується за допомогою потужності теплового потоку $\dot{Q}$, який у самому загальному випадку може бути спрямований як від системи в оточуюче середовище (віддача тепла), так і з оточуючого середовища до системи (поглинання тепла). З урахуванням введених величин, закон збереження енергії для такої системи має наступний вигляд:

$$\dot{U}_1 + \dot{W}_1 \pm \dot{Q} - \dot{U}_2 - \dot{W}_2 = 0. \qquad (1)$$

Обидва знаки перед тепловим потоком $\dot{Q}$ відображають два можливих його напрямки.

Другим основним рівнянням розглядуваного підходу є рівняння балансу ентропії S.

На відміну від енергії, яка підкоряється закону збереження, ентропія подібного закону «не знає». Вона зберігається лише в оборотних процесах, які являють собою вищий ступінь ідеалізації: подібних процесів у природі не існує. Їх можна представити лише уявно, але у термодинаміці вони завжди фігурують, будучи тією теоретичною межею, яка ніколи не може бути досягнута. І хоча розгляд оборотних процесів є сугубою ідеалізацією, та одночасно він є дуже потужним методом пізнання основних законів оточуючого світу і допомагає виявляти «просте» із «загального».

Стосовно ролі ентропії, то варто пригадати з цього приводу висловлювання І.Р.Пригожина [6] про те, що класична термодинаміка вирішила проблему конкуренції між хаосом і структурою (або «порядком», «організацією») для рівноважних станів. Коли ж ми зменшуємо температуру T, вклад внутрішньої енергії U у вільну енергію Гельмгольца [7]

$$F = U - TS \qquad (2)$$

стає домінуючим. За цього можуть з'являтися більш складні структури, які відповідають меншому значенню ентропії S.

Із класичної термодинаміки відома формула Клаузіуса [8] зв'язку зміни ентропії dS ($\dot{S}$) зі зведеною теплотою $dQ/T\left(\dot{Q}/T\right)$

$$dS = dQ/T \text{ (у наших позначеннях } \dot{S} = \dot{Q}/T), \qquad (3)$$

яка фактично дає спосіб розрахунку цієї величини для теплових потоків $\dot{Q}$.

Крім того, на основі уявлень молекулярно-кінетичної теорії будови речовини, Л.Больцманом було розкрито статистичний зміст ентропії. Він увів її як величину, пропорціональну термодинамічній ймовірності P стану системи [9]:

$$S = k \ln P. \qquad (4)$$

Саме ця формула вказала шлях до способу розрахунку ентропії будь-якої системи.



За розгляду презентованої нами проблеми, будемо послуговуватися всіма трьома формулами (2, 3, 4), але попередньо ще раз повернемося до формули (2). З цієї формули випливає, що внутрішня енергія системи складається з двох членів ($U = F + TS$): вільної енергії F і добутку TS, який отримав назву «зв'язаної енергії». Зв'язана енергія представляє ту частину внутрішньої енергії, яка не може бути перетворена в роботу за ізотермічних умов перебігу процесу ($T = \text{Const}$). Звідси й виникла її назва – «зв'язана», яка несе в собі відтінок «знецінення», бо ж «цінною» є вільна енергія, яка може бути перетворена в роботу. Зв'язаної енергії тим більше, чим більшою є ентропія системи. Саме тому ентропію системи часто трактують як міру знецінення її енергії. Таким чином, вводячи поняття ентропії, вводиться й характеристика «якості» енергії: чим вища ентропія, тим, немов би, нижча якість енергії, і, навпаки, низька ентропія – це показник високої якості енергії, якою володіє система.

У сучасних термінах необоротність природних процесів характеризується за допомогою величини, яку вперше увів І.Пригожин і яку називають *швидкістю генерації ентропії* ($\dot{S}_г$).

Необоротність реальних процесів призводить до того, що для закритих систем (систем, які обмінюються з оточуючим середовищем лише енергією) завжди справедливий закон зростання ентропії. Його інколи називають законом «деградації» енергії, оскільки зростання ентропії означає падіння якості енергії.

У вживаних нами позначеннях це твердження, яке відоме під назвою одного з виразів другого начала термодинаміки, можна записати так:

$$\dot{S}_г \geq 0, \qquad (5)$$

де знак рівності відноситься до оборотних процесів.

У нашому подальшому розгляді обов'язковим агентом, який діє (впливає) на систему (око), буде світло, або іншими словами, електромагнітне випромінювання видимого діапазону.

Тепер, після такої «попередньої» ентропійної інтерпретації розглядуваних процесів, можна записати рівняння балансу ентропії з врахуванням її потоків, що вводяться до системи разом з потоками енергії, і які потоки ентропії відводяться.

Позначення потоків ентропії дамо за аналогією з потоками енергії, тому перераховувати їх не будемо, а відразу запишемо рівняння балансу ентропії з врахуванням другого начала термодинаміки:

$$\dot{S}_1 + \dot{S}_2 \pm \dot{Q}/T - \dot{S}_3 - \dot{S}_4 + \dot{S}_г = 0, \qquad (6)$$

де $\dot{S}_1$ і $\dot{S}_2$ відповідають членам $\dot{U}_1$ і $\dot{W}_1$, $\dot{S}_3$ і $\dot{S}_4$ – членам $\dot{U}_2$ і $\dot{W}_2$ рівняння (1).

У рівнянні (6) вимагають пояснення два моменти, що відрізняють його від (1). По-перше, ентропію теплового потоку ($\dot{Q}/T$) введено у уявному вигляді, а не позначенням. По-друге, у рівнянні (6) порівняно з рівнянням (1) фігурує новий член ($\dot{S}_{\text{г}}$), наявність якого свідчить про те, що враховується необоротність процесів. В оборотних процесах цей член дорівнює нулю.

За термодинамічного розгляду енергетика процесів завжди характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД) η. Рівняння (1) і (6) являють собою систему диференціальних рівнянь, розв'язок яких дозволяє охарактеризувати по η всі фотофізичні і фотохімічні процеси. У нашому випадку впливу електромагнітного випромінювання на процеси зорового сприйняття вони можуть бути охарактеризовані двома ККД.

Перший з них називається енергетичним виходом люмінесценції і описує рівень перетворення одного виду випромінювання в інший. Він відображає собою відношення потужності енергії, яка випромінюється системою, до потужності, поглинутої системою:

$$\eta_{л} = \dot{W}_2/\dot{W}_1 . \tag{7}$$

Фотохімічні процеси характеризує ККД η_e. Він відображає відношення різниці потоків вільної енергії реагентів ($\dot{F}_p$) і продуктів реакції ($\dot{F}_n$) до потужності, яка затрачена на це хімічне перетворення:

$$\eta_e = \left(\dot{F}_p - \dot{F}_n \right)/\dot{W}_1 . \tag{8}$$

Сумісний розв'язок рівнянь (1) і (6) дозволяє отримати наступний зв'язок ККД фотофізичних (η_e) і фотохімічних ($\eta_{л}$) процесів з ентропійними характеристиками, температурою системи і потужністю енергії, яка викликала ці процеси перетворення:

$$\eta_{л} + \eta_e = 1 - \frac{T\left(\dot{S}_2 - \dot{S}_4 + \dot{S}_{\text{г}} \right)}{\dot{W}_1} . \tag{9}$$

Аналіз рівняння (9) дозволяє отримати доволі різноманітну інформацію, що охоплює практично всі процеси, перебіг яких можливий у речовині після поглинання кванта світла, а саме: а) перетворення поглинутої енергії електромагнітного випромінювання у фонони (теплові коливання); б) перевипромінювання кванта світла або в) консервацію поглинутої енергії, що, як правило, викликає фотопровідність або інші хімічні зміни, тому інколи кажуть, що за ендоенергетичних реакцій енергія світла перетворюється в енергію хімічних зв'язків.



Показовою може бути залежність значення граничного ККД від величини спектральної густини поглинутого випромінювання. Для цього порівняємо максимальні значення граничного ККД для різних довжин хвиль спектра за умов сонячного освітлення. Нехай лінії у різних частинах спектра відповідають довжинам хвиль: 400 *нм*, 780 *нм*, 1500 *нм* і 3000 *нм*. Дві останні довжини хвиль лежать, зрозуміло, за межами діапазону видимого світла, але ми їх включили до розгляду, оскільки одне з цікавих питань стосується причин відсутності бачення у ближній інфрачервоній області.

Для чотирьох визначених довжин хвиль граничний ККД за умов сонячного освітлення відрізняється дуже значно. Найбільше значення має граничний ККД перетворення фіолетового випромінювання. Він дорівнює 85%. Для червоного випромінювання – 73%, а в ІЧ-області його значення складає уже 55% для довжини хвилі 1500 *нм* і лише 22% для довжини хвилі 3000 *нм*. Ці факти свідчать про труднощі перетворення інфрачервоного випромінювання у вільну енергію хімічних сполук навіть за умов максимальної освітленості на поверхні Землі. Ця «заборона» є загальною для будь-яких фотохімічних реакцій, у тому числі й для тих, які відбуваються у сітківці ока людини. У цьому й полягає розуміння того, чому у ближній інфрачервоній області спектра випромінювання Сонця око людини не бачить.

Порогова чутливість щодо сприймання електромагнітного випромінювання зором людини й інших хребетних за зміни довжини хвилі червоного випромінювання змінюється експоненціально. Пороговою чутливістю у даному випадку називається величина, яка обернена до величини граничної енергії, тобто тієї мінімальної енергії, яка необхідна, щоб око людини побачило світловий сигнал за умов повної темнової адаптації.

Тож, чим менші довжини хвиль випромінювання, тим ширшим може бути динамічний діапазон перетворювача випромінювання. Тому, очевидно, і є доцільність у тому, що чутливість ока людини знаходиться у діапазоні 780 – 400 *нм*, що строго відповідає логіці наслідків, які випливають із закону збереження енергії.

Саме з цих причин, працюючи за умов зменшення освітленості, око людини має «зсувати» криву спектральної чутливості у блакитну область спектра, змінюючи більш вузький динамічний діапазон колбочок на більш широкий динамічний діапазон паличок. Існування такого ефекту є еволюційною відповіддю сітківки ока на «вимогу термодинамічних законів».

Тут доречно дещо ширше прокоментувати наведене твердження. Коли б існувало око тварини або птиці, здатне бачити у більш далекій інфрачервоній області, ніж око людини, або за даної довжини хвилі і інтенсивності інфрачервоного випромінювання було б більш чутливим до нього, то це свідчило б про меншу термодинамічну необоротність такого ока, тобто про

більш досконалу енергетичну його будову, ніж око людини. Цей факт заслуговував би самої прискіпливої уваги не лише біологів і медиків, але й фізиків тому, що таке око було б претендентом на роль самого досконалого із відомих перетворювачів електромагнітного випромінювання.

Висновок. Застосувавши метод термодинамічного аналізу енергетики фотофізичних і фотохімічних процесів, пов'язаних із зором, з'ясовано причини, які змушують око людини зсувати свою чутливість у блакитну частину спектра. Такою причиною виявилося зменшення ККД фотохімічних процесів за зменшення густини потоку поглинутого випромінювання, яке у червоній частині спектра виражене сильніше, ніж у блакитній. З цієї ж причини око має нульову чутливість у всьому діапазоні за межами довжини хвиль 1 *мкм*, тобто у тій частині спектра (інфрачервоній), на яку припадає максимальне число квантів сонячного випромінювання.

Перспективність подальших досліджень в обраному напрямі вбачаємо у застосуванні основних положень синергетичного підходу, який розвинувся на базі термодинаміки систем, які знаходяться у станах далеких від стану рівноваги.

Література:

1. Прикладна оптика : навчальний посібник / В.А. Одарич та ін. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2010. 332 с.

2. Вавилов С.И. Глаз и Солнце. Москва : Издательство АН СССР, 1961. 160 с.

3. Planck M. Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung [Lectures on the theory of heat radiation]. Leipzig : Verlag von J.A. Barth, 1906. 222 p.

4. Richter M., Schmidt I., Dresler A. Grundriss der Farbenlehre der Gegenwart [Basics of the color science of the present]. Dresden, Leipzig : Verlag von T. Steinkopff, 1940. 226 p.

5. Краснобокий Ю.М., Підгорний О.В., Ткаченко І.А. Основи фізики з елементами біофізики : навчальний посібник. Бровари : АНФ ГРУП, 2020. 368 с.

6. Prigogine I. Physique, temps et devenir [Physics, time and becoming]. Paris : Masson, 1980. 275 p.

7. Helmholtz H. Handbuch der Physiologischen Optik [Handbook of Physiological Optics]. Leipzig : L. Voss, 1867. 875 p.

8. Clausius R. Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie [About various forms of the main equations of the mechanical heat theory that are convenient for application]. *Annalen der Physik und Chemie [Annals of Physics and Chemistry]*. 1865. Vol. 125, no.7. P. 353—400.

9. Boltzmann, L. Über die Beziehung zwischen dem zweiten Haupsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht [On the Relationship between the Second Fundamental Theorem of the Mechanical Theory of Heat and Probability Calculations Regarding the Conditions for Thermal Equilibrium]. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissen Classe [Proceedings of the Imperial Academy of Sciences. Mathematical and natural knowledge class]*. 1877. Volume LXXVI (II). P. 373—435.



References:

1. Odarych, V.A., Poperenko, L.V., Stashchuk, V.S., & Yakunov, A.V. (2010). *Prykladna optyka [Applied optics]*. Kyiv: VPTs «Kyivskyi universytet» [in Ukrainian].

2. Vavilov, S.I. (1961). *Glaz i Solntse [Eye and Sun]*. Moskva: Izdatelstvo AN SSSR [in Russian].

3. Planck, M. (1906). *Vorlesungen über die Theorie der Wärmestrahlung [Lectures on the theory of heat radiation]*. Leipzig : Verlag von J.A. Barth [in German].

4. Richter, M., Schmidt I., & Dresler A. (1940). *Grundriss der Farbenlehre der Gegenwart [Basics of the color science of the present]*. Dresden, Leipzig : Verlag von T. Steinkopff [in German].

5. Krasnobokyi, Yu.M., Pidhornyi, O.V., & Tkachenko, I.A. (2020). *Osnovy fizyky z elementamy biofizyky [Fundamentals of physics with elements of biophysics]*. Brovary : ANF HRUP [in Ukrainian].

6. Prigogine, I. (1980). *Physique, temps et devenir [Physics, time and becoming]*. Paris : Masson [in French].

7. Helmholtz, H. (1867). *Handbuch der Physiologischen Optik [Handbook of Physiological Optics]*. Leipzig : L. Voss [in German].

8. Clausius, R. (1865). Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie [About various forms of the main equations of the mechanical heat theory that are convenient for application]. *Annalen der Physik und Chemie – Annals of Physics and Chemistry*, *125*(7), 353—400 [in German].

9. Boltzmann, L. (1877). Über die Beziehung zwischen dem zweiten Haupsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respective den Sätzen über das Wärmegleichgewicht [On the Relationship between the Second Fundamental Theorem of the Mechanical Theory of Heat and Probability Calculations Regarding the Conditions for Thermal Equilibrium]. *Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissen Classe – Proceedings of the Imperial Academy of Sciences. Mathematical and natural knowledge class, 76(II)*, 373—435 [in German].