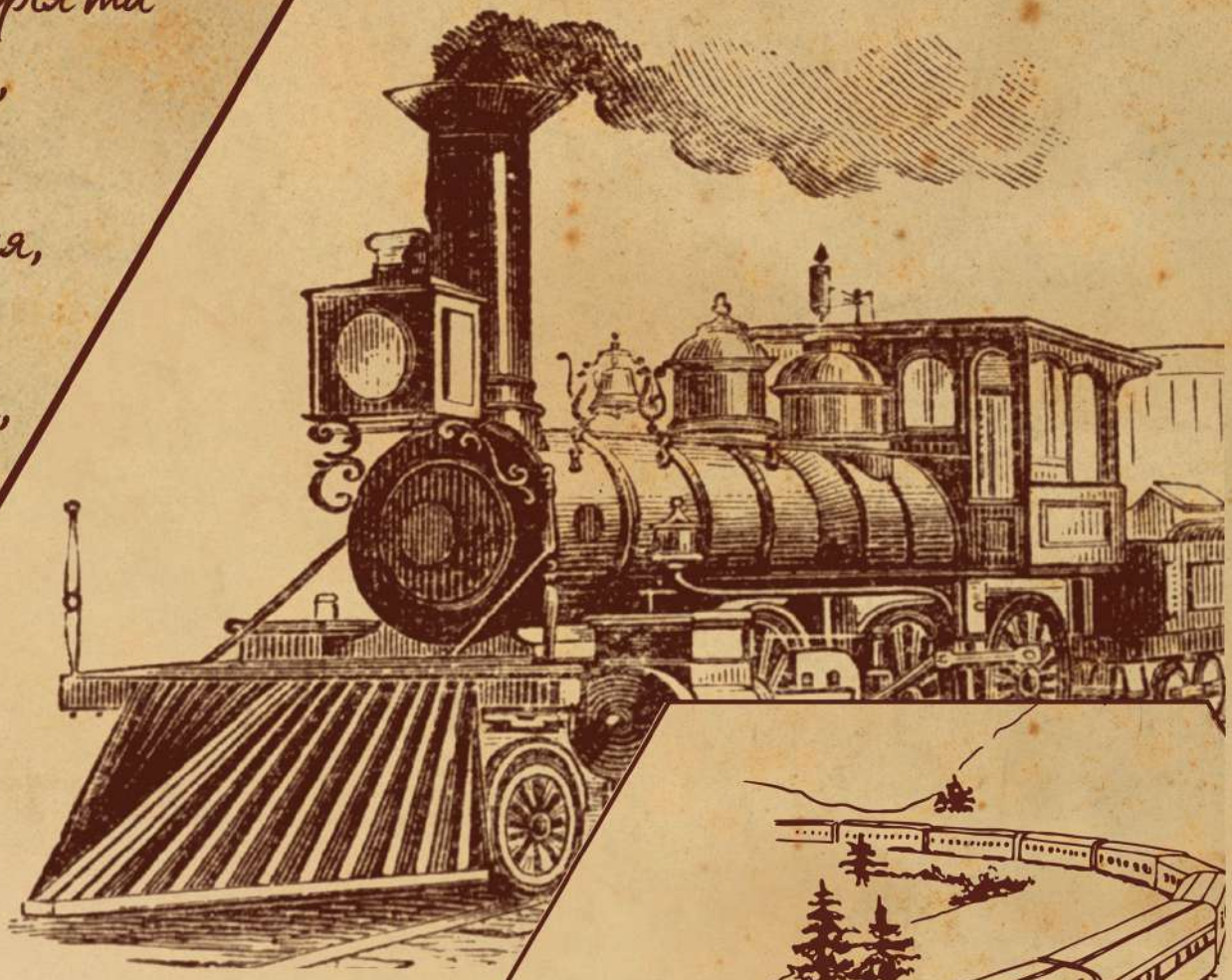
Наукові перспективи
Видавнича група



АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ У СУЧАСНІЙ НАУЦІ

№10(28)
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 № 10(28) 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 № 10(28) 2024

Kyiv – 2024

ISSN 2786-6300 Print

УДК 001.32:1 /3](477)(02)

DOI: https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-10(28)

«Актуальні питання у сучасній науці (Серія «Педагогіка», Серія «Право», Серія Економіка», Серія «Державне управління», Серія «Техніка», Серія «Історія та археологія»)»: журнал. 2024. № 10(28) 2024. С. 1134.

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 Всеукраїнської Асамблеї докторів наук з державного управління (Рішення від 11.10.2024, № 8/10-24).

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: Дацій 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 Ислам 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»

Губарев Я.Д., Дугієнко Н.О. 16
СОЦІАЛЬНО-КУЛЬТУРНІ ВИГОДИ МАСОВОГО ТУРИЗМУ ТА ВЗАЄМОДІЯ МІЖ ТУРИСТАМИ І МІСЦЕВИМ НАСЕЛЕННЯМ

Овчаренко Т.С. 27
ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІІ В УПРАВЛІННІ ПЕРСОНАЛОМ НА РИНКУ БАНКІВСЬКИХ ПОСЛУГ

Швець О.С. 46
НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТА ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВІЗАЦІЇ АГРАРНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

СЕРІЯ «Державне управління»

Борисенко О.П. 59
НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ОРГАНІВ ДЕРЖАВНОЇ ВЛАДИ Й ГРОМАДЯНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА

Вергун М.А. 70
ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ГУМАНІТАРНОЇ БЕЗПЕКИ У ПОЛІТИЦІ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ: ТЕОРЕТИКО-ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ

Вовжиняк М.В. 82
РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ГІГІЄНИ В ЗАПОБІГАННІ ДЕЗІНФОРМАЦІЇ У СФЕРІ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ

Волинець Б.А. 99
МЕХАНІЗМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ: СВІТОВИЙ ДОСВІД

Єсенніков К.В. 110
ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ЯК ФАКТОРУ ЗМІНИ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ В США



Івашківська А.О. 120
ОСНОВНІ АСПЕКТИ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЄСТРАЦІЇ ЮРИДИЧНИХ ОСІБ В УКРАЇНІ

Круглов В.В. 132
ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДЕРЖАВНИХ КОРПОРАЦІЙ ДО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Любченко А.В. 141
ПРІОРИТЕТНІ НАПРЯМИ МІЖНАРОДНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

Маліборський П.В. 153
РОЗПОДІЛ ВИДАТКІВ ТЕРИТОРІЙ В УМОВАХ ВІЙНИ В УКРАЇНІ

Маркіна М.І. 163
ТРАНСФОРМАЦІЯ ПУБЛІЧНОГО УПРАВЛІННЯ У СФЕРІ ПРОСТОРОВОГО ПЛАНУВАННЯ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ В КОНТЕКСТІ ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ УКРАЇНИ

Орлова Н.С., Сіденко Ю.Л., Бишенко Г.М. 176
РЕАЛІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ У ЗАКЛАДАХ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ

Пархоменко-Куцевіл О.І. 188
КОНЦЕПТУАЛІЗАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ У СУЧАСНОМУ СВІТІ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРІШЕННЯ

Руснак О.А. 199
ДВА РІВНЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ В КОНТЕКСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНИХ ІНТЕРЕСІВ

Хаварівська Г.С. 213
НОВИЙ ПРОЄКТ ТРУДОВОГО КОДЕКСУ УКРАЇНИ 2024: ОЧІКУВАННЯ ТА РЕАЛІЇ

Цигилик Н.В., Чепіль Б.А. 223
ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЛЮДСЬКИМИ РЕСУРСАМИ В СУЧАСНІЙ СИСТЕМІ ДЕРЖАВНОГО УПРАВЛІННЯ УКРАЇНИ

СЕРІЯ «Право»

Жукова І.В. 237
ОСНОВНІ СТАНДАРТИ ТРАНСФОРМАЦІЇ ГАЛУЗЕВОГО НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ СФЕРИ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ В УКРАЇНІ

Атаманова Н.В., Макаров І.М. 251
РОЛЬ ЮРИДИЧНОЇ ТЕХНІКИ У ПРАВОВІЙ КУЛЬТУРІ

Атаманова Н.В., Федан С.В. 261
СИСТЕМНА ПАРАДИГМА ДІДЖИТАЛІЗАЦІЇ ПРАВА

Бережний Є.В. 273
КРИМІНАЛЬНО-ПРАВОВИЙ АНАЛІЗ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ВЧИНЕННЯ КРИМІНАЛЬНОГО ПРАВОПОРУШЕННЯ, ПЕРЕДБАЧЕНОГО СТ. 290 КК УКРАЇНИ

Берч В.В. 284
БЕЗПОСЕРЕДНЯ УЧАСТЬ НАРОДУ У РЕАЛІЗАЦІЇ СУДОВОЇ ВЛАДИ У ПІВДЕННІЙ КОРЕЇ: КОНСТИТУЦІЙНА НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ЧИ НЕВІДПОВІДНІСТЬ ОСНОВНОМУ ЗАКОНУ?

Бобко У.П. 293
ПРАВОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ОХОРОННИХ ДОГОВОРІВ НА ПАМ'ЯТКИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ, ЩОЙНО ВИЯВЛЕНІ ОБ'ЄКТИ КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ ЧИ ЇХ ЧАСТИНИ

Воронятніков О.О. 306
СУБ'ЄКТИ АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО БРОНЕЗАХИСТУ

Герасименко О.М. 316
ДО ПИТАННЯ ПРО СПІВВІДНОШЕННЯ КАТЕГОРІЙ ЗАПОБІГАННЯ ТА ПРОТИДІЇ КРИМІНАЛЬНИМ ПРАВОПОРУШЕННЯМ У КОНТЕКСТІ ДІЯЛЬНОСТІ СЛУЖБИ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АСПЕКТ

Голота Н.П., Пироговська В.О., Валуєва Л.В. 335
ОЦІНКА ПРАВОВИХ МЕХАНІЗМІВ ВЛАДНИХ ПОВНОВАЖЕНЬ У КОНТЕКСТІ АДМІНІСТРАТИВНОГО СУДОЧИНСТВА В УКРАЇНІ

Гусєв Ю.М. 351
ПОЧАТОК ДОСУДОВОГО РОЗСЛІДУВАННЯ ТА ОБСТАВИНИ, ЩО МАЮТЬ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ РОЗКРИТТЯ І РОЗСЛІДУВАННЯ КРАДІЖКИ КУЛЬТУРНИХ ЦІННОСТЕЙ ІЗ КУЛЬТОВОЇ СПОРУДИ

Добкіна К.Р. 365
ДОСВІД ДЕРЖАВОТВОРЕННЯ ДАЛЕКОСХІДНОЇ УКРАЇНСЬКОЇ РЕСПУБЛІКИ (ЗЕЛЕНИЙ КЛИН)

Коваль М.М. 375
ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ ЗАСУДЖЕНИХ ДО ПОЗБАВЛЕННЯ ВОЛІ ПІД ЧАС ВІДБУВАННЯ ПОКАРАННЯ

Мазуренко В.Г., Замрига А.В. 383
АДМІНІСТРАТИВНО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ДЕРЖАВНОГО РЕЗЕРВУ В УКРАЇНІ: ПОНЯТТЯ, ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРИНЦИПИ

Максименко О.В. 392
ПРАВОВИЙ АНАЛІЗ ПОВНОВАЖЕНЬ СУБ'ЄКТІВ АДМІНІСТРАТИВНИХ ПРАВОВІДНОСИН ЩОДО ПРОТИДІЇ БУЛІНГУ В ДИТЯЧОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Маркулинець А.А. 404
ЕВОЛЮЦІЯ ТА ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ: ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВИЙ АСПЕКТ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ІННОВАЦІЙНИХ ФОРМ

Матвійчук А.В., Дума В.В. 417
РЕФОРМА ПРАВОВОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ У КОНТЕКСТІ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

Найченко А.М. 430
ЦИФРОВІЗАЦІЯ ПРАВОСУДДЯ ЯК ОДИН ІЗ ЕТАПІВ РЕФОРМУВАННЯ СУДОВОЇ СИСТЕМИ В УКРАЇНІ

Новіков Є.А., Дума О.О., Божко Д.В. 441
РОСІЙСЬКА АГРЕСІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА СИСТЕМУ СОЦІАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В УКРАЇНІ:УРОКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Предместніков О.Г., Гапотій В.Д., Гулевич С.Ю. 458
АДМІНІСТРАТИВНІ ПОКАРАННЯ ЗА ЗБЕРІГАННЯ НАРКОТИКІВ: ПОРІВНЯННЯ УКРАЇНСЬКОГО ТА МІЖНАРОДНОГО ДОСВІДУ

Предместніков О.Г., Охман О.В., Пархета В.І. 472
ПРОТИДІЯ КРИМІНАЛЬНИМ ПРАВОПОРУШЕННЯМ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЯК ПРЕДМЕТ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ: ТЕОРЕТИЧНИЙ АСПЕКТ

Сех Ю.З. 488
ОСОБЛИВОСТІ СПАДКУВАННЯ ЦИФРОВИХ АКТИВІВ

Скриньковський Р.М. 498
СУДИ ТА ПРОКУРАТУРА УКРАЇНИ В СИСТЕМІ ДЕРЖАВНОГО КОНТРОЛЮ ЗА ЗАКОННІСТЮ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ДЕРЖАВНОЇ ОХОРОНИ

Хмелевська Н.В. 512
ПРОГРАМИ ВІДНОВНОГО ПРАВОСУДДЯ ТА ЇХ ЗНАЧЕННЯ У ЮВЕНАЛЬНІЙ ЮСТИЦІЇ

Цісар Д.В. 522
СОЦІАЛЬНИЙ І ПРАВОВИЙ ЗАХИСТ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ДЕРЖАВНОЇ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ УКРАЇНИ: ОКРЕМІ АСПЕКТИ УДОСКОНАЛЕННЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Якушов Д.Ю. 532
РОЛЬ ДЕРЖАВИ У СТВОРЕННІ ЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ГОСПОДАРСЬКО-ПРАВОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ НА ЕНЕРГЕТИЧНОМУ РИНКУ

СЕРІЯ «Педагогіка»

Glushanytsia N.V., Tarnavska T.V., Erman Akilli 543
SYSTEMS APPROACH AND ITS IMPLEMENTATION IN ESP TEACHING

Антофійчук А.М., Маркуляк Л.В. 553
ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНТЕГРОВАНОГО НАВЧАННЯ УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ І ЛІТЕРАТУРИ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Бажан С.П. 517
ТЕХНІЧНИЙ ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ КЛАСТЕР: КАТАЛІЗАТОР ІННОВАЦІЙ В РЕГІОНАЛЬНІЙ ОСВІТНІЙ ЕКОСИСТЕМІ

Бєляєв С.Б., Кондрацька Л.В., Красіна Г.В., Красін С.А. 583
РОЗВИТОК СТРЕСОСТІЙКОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

Борщ О.І. 597
ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПЕДАГОГІЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ МЕТОДИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ВЧИТЕЛІВ ПОЧАТКОВИХ КЛАСІВ ОПОРНИХ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ

Галів М.Д., Галів У.Б., Гамерська І.І. 607
ФІЛОЛОГІЧНІ ЗНАННЯ В ІСТОРИКО-ПЕДАГОГІЧНИХ СТУДІЯХ УКРАЇНСЬКИХ УЧЕНИХ (ДРУГА ПОЛОВИНА XIX – XX ст.)

Галян О.І., Пташник С.Ю. 620
ПРЕДИКТОРИ ФОРМУВАННЯ СПІЛЬНОЇ ІГРОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДІТЕЙ СЕРЕДНЬОГО ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ



Гончаренко О.М., Герасимчук В.П., Бобовський Р.П., Хищенко О.О. 631
НАУКОВО-МЕТОДИЧНА ПРАКТИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЄКТНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ УЧНІВ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ, ІНФОРМАТИЧНІЙ ТА ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

Губіна О.Ю. 642
ВІЙНА ТА КОРУПЦІЯ: ЯК КЛЮЧОВІ ПРОБЛЕМИ ВПЛИВАЮТЬ НА МАЙБУТНЄ УКРАЇНИ

Гуменникова Т.Р. 657
МЕДІАГРАМОТНІСТЬ НА МОРІ: ОСВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В КОНТЕКСТІ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКОГО ТА КОМЕРЦІЙНОГО ФЛОТУ

Дзямко В.Й., Адам Адрієн Емериківна, Церкуник-Квітка Ю.В. 669
ВПЛИВ ГАДЖЕТІВ НА РОЗВИТОК КОМУНІКАЦІЇ, СОЦІАЛІЗАЦІЇ ТА МОВИ У ДІТЕЙ РАННЬОГО ТА ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ

Жовтоніжко І.М., Прудніков А.О., Шкель Н.Л. 684
STEM-VACATION: ПРОКАЧУЄМО МАТЕМАТИЧНУ ТА ІНФОРМАТИЧНУ КОМПЕТЕНТНОСТІ

Зорочкіна Т.С., Яцина С.М., Литвин І.М. 694
РОЛЬ МЕДІАОСВІТИ У ПРОЦЕСІ РОЗВИТКУ МОНОЛОГІЧНОГО МОВЛЕННЯ УЧНІВ ПОЧАТКОВОЇ ШКОЛИ

Калабська В.С. 705
ДІЯЛЬНІСТЬ НАУКОВИХ ГУРТКІВ ТА ПРОБЛЕМНИХ ГРУП НА ФАКУЛЬТЕТІ МИСТЕЦТВ УДПУ ІМЕНІ ПАВЛА ТИЧИНИ

Кіндрась І.В., Задко Т.П., Янчук О.О. 717
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КВЕСТ-ТЕХНОЛОГІЇ НА ЗАНЯТТЯХ З ІНОЗЕМНИХ МОВ У ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ (на матеріалі арабської, китайської та турецької мов)

Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Ільніцька К.С. 736
ПРИРОДА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АТМОСФЕРІ ЗЕМЛІ – ГІПОТЕЗИ І МОДЕЛІ ЯВИЩ

Кудряшова Т.І., Кіндякова Н.Г. 753
ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГІЙ В ДИСТАНЦІЙНІЙ ВЗАЄМОДІЇ ТРЕНЕРА ТА СТУДЕНТА-СПОРТСМЕНА

Кукса Н.Г. 767
ВИКОРИСТАННЯ РОЛЬОВОЇ ГРИ НА ЗАНЯТТЯХ З ДИСЦИПЛІНИ «УКРАЇНСЬКА МОВА (ЗА ПРОФЕСІЙНИМ СПРЯМУВАННЯМ)»

УДК 502.3/7:53.01/05:550.8

https://doi.org/10.52058/2786-6300-2024-10(28)-736-752

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

Ільніцька Катерина Сергіївна кандидат педагогічних наук, доцент, 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

ПРИРОДА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АТМОСФЕРІ ЗЕМЛІ – ГІПОТЕЗИ І МОДЕЛІ ЯВИЩ

Анотація. Стаття присвячена аналізу фізичних процесів виникнення і поширення одного з грандіозних явищ природи – електричним розрядам в атмосфері Землі – лінійній і кульовій блискавкам. З точки зору фізичного явища йонізації нейтральних молекул повітря описується ступінчастий механізм розвитку лінійної блискавки, доводиться, що лінійна блискавка поширюється не згори униз, а навпаки – у напрямку від поверхні Землі до хмар.

Аналізуються різні гіпотези щодо природи кульової блискавки. Вважається, що найбільш прийнятною з них є так звана *кластерна гіпотеза,* яка на теперішній час задовільно описує зародження кульової блискавки, час її «життя», взаємодію з оточуючими предметами, запас енергії, варіанти зникнення – від згасання, розпаду на частини та вибуху. Кульова блискавка середніх розмірів може утворюватися внаслідок потрапляння лінійної блискавки у воду, або просто у вологий ґрунт і навіть може виникнути з великої краплини роси, яка випадково потрапила у канал грозового розряду. Якщо кульова блискавка потрапляє у такі умови, а її температура сягає вище певного критичного значення (наприклад, внаслідок зменшення можливості



тепловіддачі у закритому приміщенні), то розпочинається ланцюгова реакція термічного руйнування водяних оболонок, яка призводить до вибуху. За звичайних же умов речовина блискавки повільно «вигорає» за рахунок рекомбінації.

У статті наводиться низка розрахунків у формі фізичних задач щодо визначення параметрів процесів, якими супроводжуються розряди блискавок: напруженості електричного поля між поверхнею землі і хмарами, різниці потенціалів між цими тілами під час грози, величині електричного струму у йонізованому каналі лінійної блискавки, енергетичним запасам блискавок, поясненню звукового супроводу (грому) розрядів блискавок тощо. Енергетичну потужність блискавки можна оцінити у формі розв'язку задачі за рахунок визначення кількості енергії, яка виділяється через розряд лінійної блискавки, вважаючи, що електричне поле між земною поверхнею і нижньою межею хмари є однорідним, тобто воно подібне до електричного поля всередині плоского конденсатора.

Ключові слова: електричний розряд, атмосфера, лінійна блискавка, кульова блискавка, гіпотези їх походження.

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

Ilnitska Kateryna Serhiivna Candidate of Pedagogical 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.: (096) 293-50-22, https://orcid.org/0000-0002-6179-5543

THE NATURE OF ELECTRICAL PROCESSES IN THE EARTH'S ATMOSPHERE – HYPOTHESES AND PHENOMENA MODELS

Abstract. The article is devoted to the analysis of the physical processes of the emergence and spread of one of the grandiose phenomena of nature - electric

discharges in the Earth's atmosphere - linear and ball lightning. From the point of view of the physical phenomenon of ionization of neutral air molecules, the gradual mechanism of the development of linear lightning is described, it is proved that linear lightning does not spread from top to bottom, but on the contrary - in the direction from the Earth's surface to the clouds.

Various hypotheses regarding the nature of ball lightning are analyzed. It is believed that the most acceptable of them is the so-called cluster hypothesis, which for now satisfactorily describes the genesis of ball lightning, its "lifetime", interaction with surrounding objects, energy reserve, options for disappearance - from extinction, disintegration into parts and explosion. Medium-sized ball lightning can form as a result of linear lightning striking water, or simply wet soil, and can even originate from a large dew drop that accidentally falls into a lightning discharge channel. If ball lightning falls into such conditions, and its temperature reaches above a certain critical value (for example, due to a decrease in the possibility of heat transfer in a closed room), then a chain reaction of thermal destruction of water shells begins, which leads to an explosion. Under normal conditions, the lightning substance slowly "burns out" due to recombination.

The article presents a number of calculations in the form of physical problems to determine the parameters of the processes that are accompanied by lightning discharges: the intensity of the electric field between the surface of the earth and the clouds, the potential difference between these bodies during a thunderstorm, the magnitude of the electric current in the ionized channel of linear lightning, energy reserves of lightning, explanation of sound accompaniment (thunder) of lightning discharges, etc. The energy power of lightning can be estimated in the form of a solution to the problem by determining the amount of energy released through a linear lightning discharge, assuming that the electric field between the earth's surface and the lower boundary of the cloud is uniform, that is, it is similar to the electric field inside a flat capacitor.

Keywords: electric discharge, atmosphere, line lightning, ball lightning, hypotheses of their origin.

Постановка проблеми. Багато сторіч, включаючи й середні віки, вважалося, що блискавка – це «вогняна пара», яка затиснута у водяній парі хмар. Розширюючись, вогняна пара прориває водяну пару у її найслабшому місці і швидко спрямовується униз, до поверхні Землі.

Тому цілком зрозуміло, що блискавка і грім спочатку сприймалися людьми як вираження волі богів і, зокрема, як прояв божого гніву. Разом з тим допитливий людський розум з давніх часів намагався осягнути природу блискавки і грому, зрозуміти їх природні причини. У давнину над цим розмірковував Аристотель. Над природою блискавки і грому задумувався й



Лукрецій [1]. Але у ті далекі часи розгадати їх природу ученим було не під силу.

У 1752 році Бенджамін Франклін експериментально довів, що блискавка – це потужний електричний розряд. Учений виконав знаменитий дослід з повітряним змієм, якого було запущено за наближення грози. Завдяки дослідженням Франкліна та інших учених була доведена електрична природа блискавки. З того часу стало зрозуміло, що блискавка являє собою потужний електричний розряд, який виникає за достатньо сильної електризації хмар.

Більшість блискавок виникають між земною поверхнею і тучою, проте є блискавки, які виникають між самими тучами. Всі такі блискавки прийнято називати *лінійними*. Довжина окремої лінійної блискавки може вимірюватися кілометрами.

Серед лінійних блискавок виділяють дещо незвичну – так звану *стрічкову блискавку*. За цього спостерігається «оригінальне» явище – неначе одночасно виникає кілька майже однакових лінійних блискавок, зміщених одна відносно одної.

Існує ще один вид блискавок, який відрізняється своєю загадковістю. Це так звана *кульова блискавка*. Вона абсолютно не схожа ні на лінійну, ні на стрічкову блискавки. До цього часу природа цієї блискавки до кінця не розкрита. У пропонованій статті робиться спроба проаналізувати з фізичної точки зору сучасні гіпотези щодо природи і властивостей блискавок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найдавніших праць щодо опису атмосферних явищ вважається книга Аристотеля. Близько двох з половиною тисяч років тому вийшла у світ його книга про погоду, на обкладинці якої була назва «Метеорологія». Про блискавки, зокрема, згадується й у праці Лукреція [1].

У 1851 році з’явилася перша книга, яка цілком була присвячена кульовій блискавці. Її автором був видатний французький фізик Франсуа Араго. Кульову блискавку він назвав «одним із непояснюваних фізичних явищ». Ця книга у подальшому ініціювала низку теоретичних і експериментальних досліджень цієї форми атмосферної (грозової) електрики.

Для пояснення цих явищ пропонувалися різні фізичні механізми їх перебігу. Більшість теорій сходилися на тому, що причина утворення будь-якої кульової блискавки пов’язана з проходженням газів через область з великою різницею електричних потенціалів, що викликає йонізацію цих газів і їх стиснення у вигляді кулі.

Однією з таких теорій є *резонансна* природа кульової блискавки П.Л.Капиці: між хмарами і землею виникає стояча електромагнітна хвиля, і коли вона досягає критичної амплітуди, у певному місці (частіше за все, ближче до землі) виникає пробій повітря, утворюється газовий розряд. У

цьому випадку кульова блискавка виявляється неначе «нанизана» на силові лінії стоячої хвилі і здатна рухатися уздовж електропровідних поверхонь. Стояча хвиля за цього відповідає за енергетичне насичення кульової блискавки.

Згідно з резонансною моделлю В.Г. Шаронова кульову блискавку можна розглядати як *самостійну плазму*, яка «утримує» сама себе у власних резонансних змінних і постійних магнітних полях.

Принципово іншою є гіпотеза Б.М.Смірнова. Згідно з нею ядро кульової блискавки – це переплетена комірчаста структура, подібна до *аерогелю*, яка забезпечує міцний каркас за малої ваги. За цього *нитками* каркасу слугує плазма, а не тверде тіло. Енергетичний же запас кульової блискавки цілком сконцентрований у гігантській поверхневій енергії такої мікропористої структури. Представлені Б.М. Смірновим термодинамічні розрахунки на основі цієї моделі, у принципі, не суперечать спостережуваним даним.

Згідно з припущенням І.П. Стаханова кульова блискавка середніх розмірів (10-20 см у діаметрі) може утворюватися внаслідок потрапляння лінійної блискавки у воду, або просто у вологий ґрунт і навіть може виникнути з великої краплини роси, яка випадково потрапила у канал грозового розряду. Якщо кульова блискавка потрапляє у такі умови, а її температура сягає вище певного критичного значення (наприклад, внаслідок зменшення можливості тепловіддачі у закритому приміщенні), то розпочинається ланцюгова реакція термічного руйнування водяних оболонок, яка призводить до вибуху. За звичайних же умов речовина блискавки повільно «вигорає» за рахунок рекомбінації. Це призводить до зміни її густини, і в результаті блискавка «руйнується», викидаючи частини речовини, які очевидці сприймають як іскри.

Своєрідний підхід до пояснення природи кульової блискавки пропонується В.П. Торчигіним. Він вважає, що кульова блискавка являє собою тонкий шар сильно стиснутого повітря, у якому в різних напрямах циркулює звичайне інтенсивне біле світло у вигляді некогерентного оптично-просторового *солітону*, кривизна якого відмінна від нуля. Цей солітон за рахунок створюваного ним електрострикційного тиску забезпечує стиснення повітря. У свою чергу, стиснуте повітря слугує у якості світловоду, який перешкоджає випромінюванню світла у вільний простір. Іншими словами можна сказати, що за цією моделлю кульова блискавка – це світло звичайної лінійної блискавки, яке потрапило у власну «пастку» у формі світлової «бульбашки».

Ще одна гіпотеза пояснює всю сукупність спостережуваних властивостей кульової блискавки *термохімічними* ефектами, які відбуваються у насиченій водяній парі за присутності сильного електричного поля. Енерге-

тика кульової блискавки за цього визначається теплотою хімічних реакцій за участі молекул води та їх йонів.

Поряд з теоретичними гіпотезами і теоріями робилися спроби й експериментального відтворення кульової блискавки. Оскільки у виникненні кульових блискавок спостерігається явний зв'язок з іншими проявами атмосферної електрики (наприклад, зі звичайною блискавкою), то більшість дослідів, які ставилися з метою штучно викликати кульову блискавку, проводилися приблизно за такою схемою: створювався газовий розряд (зрозуміло, що він світиться), а потім створювалися умови, за яких цей розряд міг би існувати у формі сферичного тіла.

У науковій літературі наведено багато схем установок, на яких автори (Тесла, Капиця, Бабат та ін.) отримували певні плазмоїди з часом життя до однієї секунди, схожі на «природну» кульову блискавку, але які нею не були.

Було зроблено декілька заяв щодо отримання кульової блискавки в лабораторних умовах, але в основному до цих заяв склалося скептичне відношення в академічному середовищі. Залишалися відкритими питання: чи дійсно спостережувані у лабораторних умовах явища тотожні з природним явищем кульової блискавки?

Серед інших явищ і процесів, які формують погоду і клімат на Землі, йде мова про блискавки й у працях авторів Волеваха М.М. [2; 3], Прох Л.З. [4; 5] та інших.

Деякі питання, що висвітлюються у пропонованій статті, з дещо інших ракурсів вивчалися й нами і описані в авторських працях [6; 7; 8].

Мета статті: запропонувати варіант методичного підходу до вивчення природи блискавок як явища електричного розряду в атмосфері у контексті розгляду відповідного матеріалу у загальному курсі фізики.

Виклад основного матеріалу.

Спершу мова йтиме про *лінійну* блискавку, яка виникає між хмарою і землею і має довжину, яка може сягати кількох кілометрів. Різниця потенціалів між хмарою і землею досягає 10^9 В. Це у тисячі разів перевищує різницю потенціалів між землею і нижньою границею йоносфери, яка забезпечує наявність електричних струмів за умов *гарної* погоди. Розряд блискавки триває біля 0,1 с.

Це, так би мовити, середньостатистичні показники. Проте трапляються й вражаючі відхилення від них. Так Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) у 2007 році у штаті Оклахома (США) було зареєстровано лінійну блискавку довжиною більше 300 кілометрів. А найтриваліша за часом лінійна блискавка, більше 7,7 секунди, була зареєстрована цією організацією 30 серпня 2012 р. у регіоні Прованс-Альпи-Лазурний берег на півдні Франції.

Середня сила розряду складає приблизно 10^3 А, а загальний заряд, що переноситься блискавкою, сягає 100 Кл (в середньому біля 20 Кл). Енергія, яка виділяється у каналі блискавки, дорівнює $10^9 - 10^{10}$ Дж. Канал блискавки дуже вузький. Видимий канал має діаметр біля 1 м; за цього основний струм тече по ще вужчому *внутрішньому* каналу діаметром лише 1 см.

Зважаючи на швидкоплинність розряду блискавки, людське око не встигає помітити, що він складається з *кількох* (інколи до десяти) послідовних імпульсів. Тривалість кожного імпульсу становить лише 10^{-3} с. Проміжки між імпульсами досягають порядку 10^{-2} с. Під час імпульсу канал блискавки нагрівається до $2 \cdot 10^4$ К; протягом проміжку часу між імпульсами він охолоджується до 10^3 К. Максимальна сила струму в імпульсі може перевищувати 10^5 А.

Отже, лінійна блискавка являє собою кілька електричних імпульсів, що швидко слідують один за одним. Кожен імпульс – це пробій повітряного проміжку між хмарою і землею, що відбувається у вигляді *іскрового розряду*. У розвитку *першого (початкового)* імпульсу є дві стадії: спочатку утворюється канал розряду між хмарою і землею, а потім по каналу, що утворився, швидко проходить імпульс основного струму.

Перша стадія розпочинається з того, що у нижній частині хмари формується електричне поле дуже великої напруженості, порядку $10^5 - 10^6$ В/м. Вільні електрони набувають у такому полі величезних прискорень. Вектори цих прискорень спрямовані униз, оскільки нижня частина хмари заряджена негативно, а поверхня землі позитивно. На своєму шляху електрони зіштовхуються і від одного до другого зіткнення вони набувають значної кінетичної енергії. Тому, стикаючись з атомами або молекулами повітря, вони їх *йонізують*. У результаті народжуються нові (вторинні) електрони, які, у свою чергу, прискорюються в електричному полі хмари і потім у зіткненнях йонізують нові атоми і молекули повітря. Виникають цілі *лавини* швидких електронів, які утворюють на «дні» хмари «нитки» плазми – так звані *стримери*.

Зливаючись один з одним, стримери дають початок *плазмовому каналові*, по якому далі пройде імпульс основного струму. Цей плазмовий потік, що розвивається від «дна» хмари до поверхні землі, наповнений вільними електронами і йонами і тому здатний добре проводити електричний струм. Його називають *лідером*, або, точніше, *ступінчастим лідером*. Справа в тому, що канал формується не плавно, а *стрибками* – «східцями».

У зв'язку з таким механізмом розряду експерти ВМО запропонували змінити термін «грозовий розряд» на «серію електричних процесів, що протікають послідовно».



Головка лідера «виринає» з хмари і рухається до землі з величезною швидкістю (порядку 10^7 м/с). Пройшовши біля 50 м, вона раптово зупиняється. Зупинка триває біля 50 мкс. Лідер неначе «набирає сили», неначе «роздумує», у якому напрямку йому рухатися далі. Потім відбувається «кидок» ще на 50 м, за цього не обов'язково у напрямку попереднього кидка, – і знову зупинка на 50 мкс. Так окремими кидками (східцями) головка лідера поступово наближається до земної поверхні, залишаючи позаду себе канал розряду у вигляді примхливої ламаної лінії. Відмітимо, що сам лідер світиться відносно слабо, його майже не видно. За швидкісної кінозйомки його головка виглядає невеликою світлою плямкою, що *ривками* переміщується до землі.

Фізика процесу руху лідера з паузами (за цього ще й відносно регулярними) поки що не з'ясована. Але самі фізичні процеси, що відбуваються поблизу головки лідера, цілком зрозумілі.

Напруженість електричного поля під хмарою досить значна – вона складає $10^3 - 10^4$ В/м; в області простору безпосередньо перед головкою лідера вона ще більша. У сильному електричному полі поблизу головки лідера відбувається інтенсивна йонізація атомів і молекул повітря. Вона відбувається за рахунок, по-перше, бомбардування атомів і молекул швидкими електронами, які вилітають із лідера (так звана *ударна йонізація*), і, по-друге, за рахунок поглинання атомами і молекулами фотонів ультрафіолетового випромінювання, яке випускає лідер (*фотойонізація*). Внаслідок інтенсивної йонізації атомів і молекул, які зустрічаються на шляху лідера, плазмовий канал «росте», лідер рухається до поверхні землі. Щоб подолати відстань між хмарою і землею 1 км, з врахуванням зупинок, лідеру знадобиться час приблизно 10 – 20 мс. Тепер хмару із землею з'єднує плазмовий канал, який добре проводить струм. Канал йонізованого газу неначе *замкнув* хмару із землею накоротко. На цьому перша стадія розвитку початкового імпульсу закінчується.

Друга стадія відбувається швидко і потужно. По прокладеному лідером шляху спрямовується основний струм. Імпульс струму триває 0,1 мс. Сила струму сягає значень порядку 10^5 А. Виділяється значна кількість енергії (до 10^9 Дж). Температура газу в каналі досягає $(1-2)\cdot 10^4$ К. Тепер саме й народжується надзвичайно яскраве світло, яке ми спостерігаємо за розряду блискавки, і виникає грім, викликаний різким розширенням раптово нагрітого газу. Суттєво відзначити, що і свічення, і розігрів плазмового каналу розвиваються у напрямку від землі до хмари, тобто *знизу уверх*.

Така фізика цього процесу пояснюється наступним чином. У момент, коли канал лише утворився (головка лідера досягла землі), униз «зістрибують»

насамперед ті електрони, які знаходилися у найнижчій його частині; тому нижня частина каналу першою починає світитися і розігріватися. Потім до землі спрямовуються електрони і йони із наступної (тієї, що знаходиться вище) частини каналу; починається свічення і розігрів цієї частини. І так поступово – від низу до верху – у рух до землі приєднуються все нові і нові носії електричних зарядів; у результаті свічення і розігрів каналу поширюється знизу уверх. Таким чином, блискавка «б'є» не із хмари у землю, як це зазвичай вважають, а навпаки, із землі у хмару.

Після того як пройшов імпульс основного струму, наступає пауза тривалістю від 10 до 50 мс. За цей час канал практично гасне, його температура падає приблизно до 10^3 К, рівень йонізації каналу суттєво зменшується.

Проте у хмарі ще зберігається великий електричний заряд, тому новий лідер спрямовується з хмари до землі, прокладаючи дорогу для нового імпульсу струму. Новий лідер рухається шляхом, протореним початковим лідером, – адже на цьому шляху збереглося ще багато йонів. Тому новому лідеру, взагалі кажучи, немає потреби довго «обирати дорогу», він без зупинок, за час порядку 1 мс, пробігає весь шлях зверху до низу. Такий лідер має назву «стріловидний». Знову слідує потужний імпульс основного струму, який поширюється по відновленому каналу знизу уверх.

Після чергової паузи, що вимірюється десятками мілісекунд, все повторюється. У підсумку висвічується кілька потужних імпульсів, які ми, зазвичай, сприймаємо як єдиний розряд блискавки, як єдиний яскравий спалах.

Енергетичну потужність блискавки можна оцінити у формі розв'язку задачі: визначити кількість енергії, яка виділяється за розряду лінійної блискавки, вважаючи, що електричне поле між земною поверхнею і нижньою межею хмари є однорідним, тобто воно подібне до електричного поля всередині плоского конденсатора. Нехай горизонтальні розміри хмари дорівнюють 4×4 км, а відстань від хмари до землі 1 км; різниця потенціалів між хмарою і землею 10^9 В.

Для розв'язання задачі можна вважати, що енергія блискавки дорівнює енергії плоского конденсатора, утворюваного нижнім краєм хмари і земною поверхнею. Площа S кожної пластини такого конденсатора визначається горизонтальними розмірами хмари. У нашому випадку $S = 16$ км$^2 = 1{,}6\cdot10^7$ м^2. Відстань між пластинами конденсатора $d = 10^3$ м, а різниця потенціалів $U = 10^9$ В. Спочатку знаходимо електроємність C розглядуваного природного конденсатора, використовуючи відому з фізики формулу

$$C = \varepsilon_o S / d, \qquad (1)$$

де $\varepsilon_o = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м – електрична стала. Підставивши числові дані, отримуємо $C = 1{,}5\cdot10^{-7}$ Ф $= 0{,}15$ мкФ. Як видно, хоча наш «конденсатор» має



досить значні розміри, його електроємність виявляється доволі «скромною»; у радіоприймачах застосовуються конденсатори з електроємністю у сто і тисячу разів більшою. Щоправда, у нашого «конденсатора» дуже велика різниця потенціалів, тому й енергія виявляється значною. Її значення знаходимо теж за відомою формулою

$$E = CU^2 / 2. \qquad (2)$$

Підставивши сюди числові значення, отримуємо $E = 7{,}5 \cdot 10^{10}$ Дж.

У дійсності енергія лінійної блискавки, принаймні, на порядок менша. Це цілком зрозуміло, оскільки, по-перше, поле між хмарою і землею лише наближено можна вважати плоским і однорідним і, по-друге, одна блискавка не розряджає цілком «конденсатор» хмара-земля.

Наведена у загальних рисах фізика лінійної блискавки є дещо спрощеною. Варто відмітити, що дійсна картина фізичних процесів виявляється складнішою. Так, не завжди стріловидний лідер слідує точно і повністю шляхом, прокладеному ступінчастим лідером. У певній точці цього шляху він може раптом «надати перевагу» зміні напряму подальшого маршруту. Тоді спостерігається блискавка у формі роздвоєної ламаної лінії.

Відомо, що блискавки супроводжуються звуковим ефектом – громом, який виникає внаслідок різкого розширення повітря за швидкого підвищення температури у каналі розряду блискавки.

Спалах блискавки ми спостерігаємо практично у момент розряду; адже світло поширюється зі швидкістю $3 \cdot 10^8$ м/с. Що ж стосується звуку (грому), то він поширюється значно повільніше; у повітрі його швидкість ~ 330 м/с. Чим далі від нас блискавка, тим триваліша пауза між спалахом світла і громом і, крім того, грім слабкіший. Вимірюючи тривалість таких пауз, можна приблизно оцінити, як далеко від нас у даний момент знаходиться гроза, наскільки швидко вона наближається до нас або, навпаки, віддаляється від нас. Грім від дуже далеких блискавок взагалі може не долинати – звукова енергія розсіюється і поглинається атмосферою на шляху поширення. Такі «беззвучні» блискавки називають «зірницями».

Може виникати питання, чому ми можемо чути грім протягом кількох секунд, у той час як розряд блискавки (з урахуванням всієї сукупності послідовних імпульсів) триває від 0,1 до 0,2 секунди? Причин тому дві. По-перше, блискавка має велику довжину (її канал вимірюється кілометрами); звук від різних його ділянок доходить до нас за різні проміжки часу. По-друге, відбувається відбивання звуку від хмар і їх скупчень – виникає *ехо*. Ці дві причини і призводять до того, що слідом за коротким спалахом блискавки чути коротші чи триваліші за часом *перекоти* (*гуркіт*) грому. Відбиванням звуку від хмар пояснюється й підсилення інколи гучності звуку під кінець громових перекотів.

Менш дослідженим феноменом серед електричних явищ в атмосфері є *блискавка кулястої форми*. Дані про її фізичні властивості наводяться здебільшого на основі статистичної обробки багатьох спостережних фактів.

Вже із самої назви слідує, що ця блискавка має форму кулі, а, отже, зовсім не схожа на звичайну (лінійну) блискавку. Строго кажучи, її форма лише приблизно куляста; блискавка може витягуватися, приймаючи форму еліпсоїда або груші, її поверхня може колихатися. Невелика кількість спостерігачів (0,3% від отриманих даних) стверджують, що вони зустрічали кульову блискавку, яка мала форму тора.

Вважатимемо, що кульова блискавка – це куля або майже куля; вона світиться – інколи тьмяно, а інколи й досить яскраво. Яскравість світла кульової блискавки порівнюють з яскравістю 100-ватної електричної лампи. Найчастіше (приблизно у 60% випадків) кульова блискавка має жовтий, оранжевий або червонуватий колір. У 20% випадків – це біла куля, у 20% – синя, блакитна. Інколи колір блискавки змінюється під час спостереження. Перед моментом згасання блискавки всередині неї можуть виникати темні області у вигляді плям, каналів, ниток тощо.

Як правило, кульова блискавка має достатньо чітку поверхню, яка відмежовує речовину блискавки від оточуючого її повітря. Це типова межа розділу двох *різних фаз*. Наявність такої межі свідчить про те, що речовина блискавки перебуває в особливому фазовому стані. В окремих випадках на поверхні блискавки з'являються «язички» полум'я, з неї викидаються «снопи» іскор.

Найчастіше зустрічаються кульові блискавки розміром від 15 до 40 см. Зазвичай кульова блискавка рухається тихо, але й може породжувати шипіння або дзижчання – особливо коли вона іскрить.

Швидкість переміщення кульової блискавки невелика: від 1 до 10 м/с. За нею неважко спостерігати. «Живе» кульова блискавка приблизно від 10 с до 1 хвилини.

Існує три різних способи припинення існування кульової блискавки. Найчастіше (у 55% випадків) блискавка *вибухає*. У 30% випадків блискавка спокійно *гасне* (через недостатньо накопиченої у ній енергії). У 15% випадків всередині блискавки розвиваються нестійкості, і вона *розпадається на частини*. Звичайно, що найнебезпечнішим є вибух блискавки. У зв'язку з цим виникає питання, якщо він все ж відбувається, то наскільки руйнівними є його наслідки? Логічно припустити, що це визначається запасом енергії блискавки. Оцінити мінімальну кількість енергії у кульовій блискавці можна за тими наслідками, які вона залишає після свого зникнення (вибуху). Такі розрахунки можна провести, користуючись даними конкретних спостережень.



Одне з таких спостережень свідчить, що блискавка діаметром 30 см вибухнула біля водопровідного крана. Цей кран являв собою металеву трубу діаметром 3 см і висотою 80 см. Після вивільнення енергії внаслідок вибуху, труба виявилася скрученою і була покрита окалиною, хоча й не розжарилася до червоного кольору. Тому можна припустити, що блискавка нагріла ділянку труби, наприклад, до 600 К. Довжину цієї ділянки будемо покладати приблизно рівною діаметру труби. У зв'язку з цим формулюємо задачу: скільки енергії необхідно для нагрівання на $\Delta T = 600$ К ділянки залізної труби довжиною $l = 5$ см? Зовнішній радіус труби $R = 1{,}5$ см, внутрішній $r = 1{,}2$ см. Питома теплоємність заліза $c = 0{,}71$ Дж/(г·К), густина заліза $\rho = 7{,}8$ г/см^3.

Згідно з умовою задачі, необхідно нагріти ділянку труби довжиною l, тобто нагріти масу заліза:

$$m = \rho\left(\pi R^2 - \pi r^2\right)l,$$

$$\text{або } m = \rho\pi l\left(R^2 - r^2\right). \qquad (3)$$

Підставивши числові значення відповідних величин, отримаємо

$$m = 100 \text{ г}.$$

За формулою $E = cm\Delta T$ отримаємо приблизне значення енергії, яка вивільнилася внаслідок вибуху кульової блискавки у спостережуваному випадку: $E = 4{,}2 \cdot 10^4$ Дж $= 42$ кДж.

В іншому спостереженні було зафіксовано, що кульова блискавка діаметром 30 см розщепила частково занурену у воду дерев'яну сваю, що слугувала для причалювання човнів. Свая внаслідок вибуху блискавки була розщеплена уздовж волокон на окремі скалки. Скористаємося і цим повідомленням, щоб оцінити енергію блискавки, сформулювавши наступну задачу: скільки енергії необхідно для того, щоб пара, яка утворюється у результаті нагрівання і випаровування води, розірвала дерев'яну сваю уздовж волокон? Наближеними до реальних обираємо такі дані: радіус сваї $r = 0{,}15$ м; довжина ділянки сваї, у межах якої утворюється пара води, $l = 0{,}2$ м; межа міцності дерева на розщеплення уздовж волокон $p = 3 \cdot 10^6$ Па; початкова температура води $T_1 = 293$ К, температура кипіння води $T_2 = 373$ К; питома теплоємність води $c = 4{,}19$ Дж/(г·К); питома теплота пароутворення $\lambda = 2{,}26 \cdot 10^3$ Дж/г; коефіцієнт пористості дерева вважати рівним $k = 0{,}1$.

Під коефіцієнтом пористості k будемо розуміти частину об'єму деревини, яка припадає на пори. Пара, що розриває сваю, займає об'єм пор

$$V = k\pi r^2 l. \qquad (4)$$

У цьому об'ємі за температури кипіння води $T_2 = 373$ К необхідно забезпечити тиск водяної пари, що дорівнює p. Для цього потрібно спочатку

нагріти до T_2, а потім випарувати певну кількість молів n води. Щоб знайти n, користуємося рівнянням Клапейрона-Менделєєва для ідеального газу:

$$pV = nRT_2, \tag{5}$$

де $R = 8{,}31$ Дж/(моль · К) – універсальна газова стала.

З врахуванням (4) із (5) отримуємо

$$n = k\pi r^2 lp / RT_2. \tag{6}$$

Підставляючи числові значення величин, знаходимо $n = 1{,}35$ молів. Один моль води, як відомо, має масу 18 г. Шукану енергію розраховуємо за формулою:

$$E = \mu n(\lambda + c\Delta T), \tag{7}$$

де $\mu = 18$ г/моль; $\Delta T = T_2 - T_1 = 80$ К. Підставивши у (7) числові значення величин, отримуємо

$$E = 63 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 63 \text{ кДж}.$$

Беручи до уваги результати розглянутих задач, можна зробити висновок, що енергія, запас якої міститься у кульовій блискавці середнього розміру (біля 30 см у діаметрі), знаходиться у межах приблизно 100 кДж, а густина енергії виявляється порядку 10 Дж/см^3. Такої енергії достатньо, щоб оплавити невелику ділянку металу, розігріти і зігнути не дуже товсту трубу, розщепити дерев'яну колоду, пробити дерев'яний паркан, відламати частину кам'яної кладки, викликати пожежу тощо, що й спостерігається найчастіше.

Викликає здивування властивість кульової блискавки *проникати* у приміщення крізь щілини і отвори, розміри яких набагато менші від розмірів самої блискавки. Проходячи крізь малий отвір, блискавка *зазнає значної деформації*, її речовина неначе переливається через отвір. Ще більш дивна здатність блискавки після проходження крізь отвір *відновлювати* свою кулясту форму. Тож на здатність кульової блискавки зберігати форму кулі варто звернути особливу увагу, адже це чітко вказує на наявність у речовини кульової блискавки *поверхневого натягу*.

Питання про те, як виникає кульова блискавка, є, мабуть, найбільш складним і незрозумілим. Більшість спостережень стверджують, що кульова блискавка виникає відразу після розряду, або перед розрядом звичайної лінійної блискавки, що буває рідше.

Стосовно виникнення кульової блискавки за розряду звичайної блискавки існує кілька версій (гіпотез). Припускається, що кульова блискавка може виникати у момент, коли ступінчастий лідер лінійної блискавки, який прямує до землі, зустрічається за кілька десятків метрів над землею із зустрічним лідером. Можливий варіант виникнення кульової блискавки й у місці особливо різкого злому лінійної блискавки або у тому місці, де відбулося



її роздвоєння. Є свідчення того, що кульова блискавка виникала із землі або води у тому місці, у яке щойно потрапила звичайна блискавка. Не виключено, що кульова блискавка може виникати за електричного розряду між протилежно зарядженими хмарами. Зрозуміло, що у всіх цих випадках кульова блискавка виникає за рахунок енергії розряду звичайної блискавки.

Особливу пересторогу викликають випадки, коли кульова блискавка «вистрибує» з телефонних апаратів, електричних розеток тощо? Можна припустити, що вона виникає за рахунок енергії розряду звичайної блискавки, яка проникла до телефонного апарату або розетки по під'єднаних до них проводах.

Загалом же гіпотези, що стосуються фізичної природи кульової блискавки, зазвичай поділяють на дві групи. До однієї групи відносяться гіпотези, згідно з якими кульова блискавка *безперервно отримує енергію із зовні*. Припускається, що блискавка якимось чином (по якомусь каналу) отримує енергію, що накопичується у хмарах і їх скупчень, за цього виділення тепла у самому каналі виявляється незначним, так що вся енергія, яка передається, концентрується в об'ємі кульової блискавки, викликаючи його світіння. До іншої групи відносяться гіпотези, згідно з якими кульова блискавка після свого виникнення стає *самостійно існуючим об'єктом*. Цей об'єкт складається з деякої речовини, всередині якої відбуваються процеси, що призводять до виділення енергії.

Розглянемо можливості реалізації математичних розрахунків деяких гіпотез.

Одна з гіпотез першої групи ґрунтується на тому, що *кульова блискавка складається з позитивних і негативних йонів*. Йони утворюються за рахунок енергії розряду лінійної блискавки. Затрачена на їх утворення енергія саме й визначає запас енергії кульової блискавки. *Вона вивільняється за процесу рекомбінації йонів* (тобто, за зіткнень йонів, які супроводжуються переходом електронів від негативних йонів до позитивних, у результаті чого йони перетворюються у нейтральні атоми або молекули). Завдяки дії електростатичних (кулонівських) сил, які діють між йонами, об'єм, що заповнений ними, буде володіти поверхневим натягом, що й визначає стійку кулеподібну форму блискавки.

Здійснимо розрахунок запасу енергії кульової блискавки згідно з описаною її моделлю.

Нехай йони заповнюють об'єм сфери радіусом $r = 10$ см, густина йонного газу $\rho = 10^{19}$ см$^{-3}$. Оцінимо величину енергії, запасеної у такому об'ємі, якщо енергія йонізації у розрахунку на один йон $u = 8$ еВ (1 еВ $= 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж). В

одиниці розглядуваного об'єму запасена енергія рівна ρu. Помноживши її на об'єм сфери, визначимо шукану енергію:

$$E = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho u \approx 53{,}6 \ \text{(кДж)}. \qquad (8)$$

Отримане значення енергії цілком узгоджується із зробленими раніше оцінками енергії кульової блискавки відповідних розмірів. У наших розрахунках була обрана густина йонного газу порядку 10^{19} см$^{-3}$. Саме такою є густина повітря за умов, що близькі до нормальних. У зв'язку з цим й густина речовини кульової блискавки, очевидно, має бути приблизно такою ж, що й у повітря.

Незважаючи на таку формальну узгодженість, розглядувана модель кульової блискавки має суттєвий недолік, який не знаходить пояснення з точки зору фізики відповідних процесів. Справа у тому, що коли позитивні і негативні йони будуть рівномірно «перемішані» по об'єму блискавки, то вони будуть *дуже швидко рекомбінувати* – за час порядку всього 10^{-9} с. Тож така блискавка не може існувати протягом секунд, не кажучи вже про десятки секунд. Мав би бути якийсь процес суттєвої затримки рекомбінації йонів. Затримка рекомбінації могла б забезпечуватися *розподілом у просторі йонів різного знаку*: наприклад, можна було б припустити, що позитивні йони зосереджені у центрі сфери блискавки, а негативні на її поверхні. Проте таке припущення необхідно відразу *відкинути*. По-перше, не існує фізичного механізму, який зміг би «заставити» йони саме так розподілитися у просторі. По-друге (що головне), між розподіленими зарядами виникли б гігантські сили взаємного притягання, які жодним способом неможливо урівноважити. Знову підтвердимо це відповідним розрахунком.

Розглядаємо сферу радіусом $r = 1$ см, яка заповнена газом із нейтральних атомів густиною $\rho = 10^{19}$ см$^{-3}$. Припустимо, що з кожного атома вилетів один електрон і розмістився на поверхні сфери, а утворені позитивні йони зосередилися у центрі сфери. Визначимо, чому дорівнює сила притягання між електронами і йонами?

Позначимо через V об'єм сфери. Після розподілу зарядів, на поверхні сфери і в її центрі зосередяться заряди різного знаку, кожен з яких за модулем дорівнює

$$q = V\rho e, \qquad (9)$$

де $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл – абсолютне значення заряду електрона.

Сферична симетрія розподілених зарядів дозволяє для визначення шуканої сили F скористатися законом Кулона:

$$F = kq^2 / r^2, \qquad (10)$$



де $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \approx 9 \cdot 10^9$ Н $\cdot$ м^2 / Кл^2. Оскільки $V = \frac{4}{3}\pi r^3 \approx 4{,}2$ (см^3), то $q = 6{,}72$ Кл, а $q^2 = 45{,}2$ Кл^2. Підставивши числові значення у (10) ($r = 0{,}01$ м), отримуємо $F \approx 4 \cdot 10^{15}$ Н. Сила виявляється дійсно фантастично великою.

Це означає, що припущення про можливий просторовий розподіл йонів різного знаку всередині кульової блискавки потрібно виключити.

Що ж може загальмувати рекомбінацію рівномірно «перемішаних» по об'єму сфери йонів? Можливу відповідь на це питання дає так звана *кластерна гіпотеза*. *Кластер* – це позитивний або негативний йон, який оточений своєрідною «шубою» з нейтральних молекул. Якщо йон оточений молекулами води, то його називають *гідратованим*. Молекули води завдяки своїй полярності утримуються поблизу йонів силами електростатичного притягання. Відмітимо, що гідратовані йони відомі давно; вони містяться у розчинах електролітів, а останнім часом виявлені також і в атмосфері Землі.

Таким чином, припускається, що у кульовій блискавці кожен йон оточений «шубою» з молекул води. Ця «шуба» перешкоджає йонам зблизитися безпосередньо один з одним і тим самим суттєво уповільнює рекомбінацію йонів. Фізичні процеси за цього пояснюються наступним чином.

Якщо кількість рекомбінацій йонів за одиницю часу не надто велика, то кульова блискавка поводить себе «спокійно». Енергія, яка виділяється за цього при рекомбінації, перетворюється в енергію світлового випромінювання і частково передається оточуючому середовищу через теплообмін. Якщо ж число рекомбінацій стає надто великим, то енергія, яка за цього виділяється, не встигає відводитися з блискавки – і тоді швидко зростає температура, інтенсивно руйнуються оболонки йонів – кластерів, рекомбінація різко посилюється – відбувається вибух.

Отже, згідно з кластерною гіпотезою, кульова блискавка являє собою самостійно існуюче тіло (без постійного підведення енергії від зовнішніх джерел), яке складається із важких позитивних і негативних йонів, рекомбінація яких сильно загальмована внаслідок гідратації йонів.

Варто відмітити, що ця гіпотеза (на відміну від решти) цілком прийнятно пояснює всі властивості кульової блискавки, які виявлені у результаті багато чисельних спостережень. Та все ж наголошуємо, що поки що це лише гіпотеза, хоча й доволі правдоподібна.

Висновки. У результаті проведеного дослідження перебігу процесів електричного розряду в атмосфері Землі встановлено наступне:

– електричні розряди в атмосфері відбуваються у вигляді лінійної і кульової блискавок;

– лінійна блискавка розвивається у два етапи: перший – пов'язаний із зародженням «лідера», який рухається від хмар до землі; другий – пов'язаний з розвитком йонізованого каналу між землею і хмарами, який супровод-

жується різким підвищенням температури і рухом потужного електричного імпульсу у напрямі від землі до хмар;

– на основі аналізу зібраних даних у результаті чисельних спостережень щодо природи і фізичних властивостей кульової блискавки, перевагу надано її так званій «кластерній моделі».

Перспективними, цікавими і корисними можуть вважатися дослідження інших фізичних процесів, що відбуваються в атмосфері Землі.

Література:

1. Лукрецій. Про природу речей /пер. з латинської А.Содомора. Київ: Видавництво художньої літератури «Дніпро», 1988. 189 с.

2. Волеваха М.М. Полювання за хмарами. Київ: Знання, 1969. 47 с.

3. Волеваха М.М., Мішутін Д.А. Як завбачати погоду. Київ: Радянська школа, 1958. 42 с.

4. Прох Л.З. Погода та клімат. Київ: Радянська школа, 1957. 160 с.

5. Прох Л.З. Таємниці повітряного океану. Київ: Радянська школа, 1976. 168 с.

6. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Ільніцька К.С. Фізичні основи формування погоди та аномальних явищ у приповерхневій атмосфері Землі. Фізико-математична освіта, 2023. Том 38, № 3. С. 20-28.

7. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Ільніцька К.С. Самоорганізація у формуванні клімату на планетах Сонячної системи. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. Кропивницький: ЦУДПУ імені Володимира Винниченка, 2023. Випуск 208. С. 160-166.

8. Краснобокий Ю.М., Ткаченко І.А., Ільніцька К.С. Синергетичне тлумачення процесів формування клімату на планетах Сонячної системи. Veda a perspektivy № 5 (24), 2023. С. 90-108.

References:

1. Lucretius (1988). *Pro pryrodu rechei* [*On the Nature of Things*]. (A.Sodomora, Trans). Kyiv : Vydavnytstvo khudozhnoi literatury «Dnipro» [in Ukrainian].

2. Volevakha, M.M. (1969). *Poliuvannia za khmaramy* [*Cloud hunting*]. Kyiv : Znannia [in Ukrainian].

3. Volevakha, M.M., Mishutin, D.A. (1958). *Yak zavbachaty pohodu* [*How to predict the weather*]. Kyiv : Radianska shkola [in Ukrainian].

4. Prokh, L.Z. (1957). *Pohoda ta klimat* [*Weather and climate*]. Kyiv : Radianska shkola [in Ukrainian].

5. Prokh, L.Z. (1976). *Taiemnytsi povitrianoho okeanu* [*Secrets of the air ocean*]. Kyiv : Radianska shkola [in Ukrainian].

6. Krasnobokyi, Yu.M., Tkachenko, I.A., & Ilnitska, K.S. (2023). Fizychni osnovy formuvannia pohody ta anomalnykh yavyshch u prypoverkhnevii atmosferi Zemli [Physical foundations of weather formation and anomalous phenomena in the Earth's near-surface atmosphere]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education, 38*(3), 20–28 [in Ukrainian].

7. Krasnobokyi, Yu.M., Tkachenko, I.A., & Ilnitska, K.S. (2023). Samoorhanizatsiia u formuvanni klimatu na planetakh Soniachnoi systemy [Self-organization in climate formation on the planets of the Solar System]. *Naukovi zapysky. Seriia: Pedahohichni nauky – Scientific notes. Series: Pedagogical Sciences, 208,* 160–166 [in Ukrainian].

8. Krasnobokyi, Yu.M., Tkachenko, I.A., & Ilnitska, K.S. (2023). Synerhetychne tlumachennia protsesiv formuvannia klimatu na planetakh Soniachnoi systemy [Synergistic interpretation of climate formation processes on the planets of the Solar System]. *Věda a perspektivy – Science and perspectives, 5(24),* 90–108 [in Ukrainian].