

Шупяцький Ілля Михайлович,
кандидат медичних наук, доцент,
доцент кафедри хірургічної, ортопедичної
стоматології та ортодонції,
ПЗВО «Київський міжнародний університет»
ORCID ID: 0009-0009-9562-760X
м. Київ, Україна

Другий закон термодинаміки в стоматології

Вступ. Розвиток зубів – процес складний і тривалий. Починається в ембріональному періоді і закінчується в 18-20 років. Зуби є похідними слизової оболонки ротової порожнини зародка. Велика частина тканин зуба має мезанхімне походження і лише емаль розвивається з ектодермального епітелію.

Мета дослідження. За допомогою термодинамічних законів, проаналізувати причини виникнення карієсу та його ускладнень.

Результати досліджень та їх обговорення. Ознаки запалення, які свого часу ввів до медичної практики відомий римський лікар Цельс (Celsus'a), це Calor, Rubor, Tumor, Dolor, Functio laesa це системні фізичні поняття, тобто фізичні зміни показників стану системи; температури, об'єму, тиску, зміни функції, інакше кажучи зміна параметрів.

Відомо, що при підвищення температури тіла людини може виникати пульпіт, ускладнений маргінальним періодонтитом. При таких умовах, де стан захворювання це закон збереження енергії, а нам необхідно вийти за його рамки для того, щоб спробувати проаналізувати і пояснити причину виникнення карієсу та його ускладнень. Вийти за рамки цього закону можна завдяки новій функції, яку ввів Клаузіус, під назвою „ентропія” і позначається буквою S і яка може збільшуватись тільки в результаті незворотних реакцій. А як, що припустити, що карієс зуба виникає при зміні ентропії, де чіткість ентропійного фактору у виникненні карієсу підтверджують періодонтити – смерть тканини, її переродження в гнильний розпад з подальшим продовженням запального процесу і можливим видаленням зуба, – незворотні процеси призводять, свого, роду до односторонності часу: позитивний напрямок часу корелює зростанням ентропії. Карієс та його ускладнення – це незворотні процеси

Висновки. В поясненні причин виникнення карієсу твердих тканин зубів та його ускладнень важливу роль відіграє ентропія. Діагноз гострого, хронічного запалення пульпи залежить від ентропійного фактору. Вибір вектора часу запалення захворювання вказує на точку початку захворювання в системі, яка коливається, а специфічні механізми впливу перед початку захворювання і подальше протікання його залежать від стану системи.

Ключові слова: стоматологія, фісура, карієс, пульпіт, пародонтит, термодинаміка, ентропія, біфуркація, кристал, дисипативні.

Shupiatskyi Illia Mykhailovych, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Surgical, Orthopedic Dentistry and Orthodontics, Kyiv International University, ORCID ID: 0009-0009-9562-760X, Kyiv, Ukraine

The second law of thermodynamics for the dentistry

Introduction. The development of teeth is a complex and long process. It begins in the embryonic period and ends in 18-20 years. Teeth are derivatives of the mucous membrane of the oral cavity of the embryo. Most of the tooth tissues are of mesenchymal origin and only the enamel develops from the ectodermal epithelium.

The aim of the study. With the help of thermodynamic laws, analyze the causes of caries and its complications.

Research results and their discussion. Signs of inflammation, which at one time were introduced into medical practice by the famous Roman physician Celsus (Celsus'a), are Calor, Rubor, Tumor, Dolor, Functio laesa, these are systemic physical concepts, that is, physical changes in indicators of the state of the system; temperature, volume, pressure, function changes, in other words, parameter changes.

It is known that when a person's body temperature rises, pulpitis complicated by marginal periodontitis can occur. Under such conditions, where the state of the disease is the law of conservation of energy, and we need to go beyond it in order to try to analyze and explain the cause of caries and its complications. It is possible to go beyond this law thanks to a new function introduced by Clausius, called "entropy" and denoted by the letter S, which can increase only as a result of irreversible reactions. And how to assume that dental caries occurs with a change in entropy, where the clarity of the entropic factor in the occurrence of caries is confirmed by periodontitis – the death of tissue, its transformation into putrid decay with further continuation of the inflammatory process and possible removal of the tooth – irreversible processes lead, of their own kind to the one-sidedness of time: the positive direction of time correlates with the growth of entropy. Caries and its complications are irreversible processes

Conclusions. Entropy plays an important role in explaining the causes of dental caries and its complications. The diagnosis of acute, chronic inflammation of the pulp depends on the entropy factor. The choice of the vector of the time of inflammation of the disease indicates the point of onset of the disease in the system, which fluctuates, and the specific mechanisms of influence before the onset of the disease and its subsequent course depend on the state of the system.

Key words: dentistry, caries, pulpitis, periodontitis, thermodynamics, entropy, bifurcation, crystal, dissipation.

Актуальність проблеми. Розвиток зубів – процес складний і тривалий. Починається в ембріональному періоді і закінчується в 18-20 років. Зуби є похідними слизової оболонки ротової порожнини зародка. Велика частина тканин зуба має мезанхімне походження і лише емаль розвивається з ектодермального епітелію.

Зуб в своєму розвитку проходить три етапи:

1. Закладка і утворення зубних зачатків;
2. Диференціювання зубних зачатків;
3. Гістогенез тканин зуба.

Зубні зачатки з'являються на 6-7 тижні ембріогенезу у вигляді потовщення багатощарового плос-

кого епітелію ротової бухти. При цьому формується так звана **зубна пластинка**. Епітелій зубної пластинки поступово втрачає в мезенхіму, яка лежить глибше. На внутрішній поверхні зубної пластинки починають з'являтися епітеліальні скупчення – **зубні нирки**, з яких розвиваються **емалеві** або **епітеліальні органи** (organum enamelium). У подальше назустріч кожній нирці починає рости мезенхіма у вигляді **зубного сосочка** (papilla), що вдавлюється в епітеліальний орган, який стає схожим на двостінний келих або ковпачок. Навколо емалевого органу мезенхіма ущільнюється і утворює **зубний мішечок** (sacculus dentis).

У емалевому органі розрізняють три види епітеліальних клітин, утворюючих внутрішній, середній і зовнішній шари.

Внутрішній шар, що примикає до зубного сосочка, представлений одношаровим високим призматичним епітелієм, який отримав назву **енамелобласти** або **амелобласти** (enameloblasti, ameloblasti), вони будуватимуть емаль.

Зовнішній шар утворений епітеліальними клітинами, які обмежують емалевий орган від зубного мішечка. Ці клітини отримали назву **зовнішні клітини емалевого органу**.

Середній, або проміжний шар, розташований між внутрішнім і зовнішнім, названий **пульпою емалевого органу**. Він представлений епітеліальними клітинами, які придбали зірчасту форму унаслідок накопичення між ними тканинної рідини. Пульпа емалевого органу бере участь в утворенні кутикули емалі. Клітини поверхневого шару емалевого органу поступово руйнуються, не даючи ніяких похідних.

Зубний сосочок утворений мезенхімою, яка багата клітинами, їх особливо багато в поверхневих шарах сосочка. З цих клітин диференціюються **одонтобласти** або **дентинобласти** (dentiloblastus, odontoblastus) – будівельники дентину. Решта мезенхіми зубного сосочка перетворюється в пульпу зуба [1; 3].

Зубний мішечок утворений мезенхімою, яка на відміну від мезенхіми, що оточує зачаток зуба, має більш ущільнену будову. В процесі розвитку і формування зуба у внутрішньому шарі зубного мішечка диференціюються цементобласти (cementoblastus) – будівельники цементу; із зовнішнього шару зубного мішечка розвивається періодонт (periodontium).

Утворення тканин зуба (гістогенез) починається на 4-му місяці внутрішньоутробного розвитку. Першим утворюється дентин – коронка зуба. У його будові беруть участь клітини зубного сосочка – дентинобласти. Вони активно синтезують колаген і амфору речовину, а з колагену формуються колагенові волокна. Так утворюється **предентин** (необвапнений дентин). Потім відбувається звалпіння предентину і він перетворюється на дентин.

Внутрішні клітини емалевого органу трансформуються в енамелобласти. Вони синтезують глікопротеїни, молекули яких після виходу з клітини організуються в тонкі філаменти (нитки). Пучки філаментів при звалпінні формують емалеві призми. Новоутворений дентин і емаль поступово відокремлюють дентинобласти від енамелобластів, унаслідок чого дентино-

бласти розташовуються ближче до зубного сосочка, а енамелобласти – до поверхні коронки майбутнього зуба. Пульпа емалевого органу формує кутикулу емалі, а зовнішній шар емалевого органу редукується. Внутрішні клітини зубного мішечка дають зачаток цементу зуба, зовнішні клітини зубного мішечка служать джерелом розвитку періодонта. Слід пам'ятати, що цемент утворюється в постембріональному періоді безпосередньо перед прорізуванням зуба.

Хронічний апікальний періодонтит є найпоширенішим захворюванням серед осіб з патологією періодонту. Він виконує важливу захисну функцію, спрямовану на обмеження поширення мікроорганізмів з інфікованого кореневого каналу зуба в оточуючий кістковий простір. Продукти життєдіяльності мікроорганізмів викликають запальну реакцію, яка у свою чергу супроводжується виділенням великої кількості медіаторів запалення – цитокінів і хемокінів. Вони сприяють міграції поліморфноядерних лейкоцитів і моноцитів у вогнище запалення. Нормальний стан кісткової тканини визначається балансом остеобластів та остеокластів. Цитокіни під час запального процесу в періапікальній ділянці порушують цей баланс, стимулюють диференціацію та активацію остеокластів (трансформуються з моноцитів). Як згадувалось вище, важливим елементом неспецифічної захисної системи є поліморфноядерні лейкоцити. Вони проявляють виражену бактеріолітичну дію завдяки виробленню гідролітичних ферментів, які належать до групи матричних металопротеїназ (ММП) [2]. Однак ці ферменти здатні мати літичну дію не тільки на мікроорганізми, а й на сполучнотканинний каркас періодонту, епітеліальні структури, поверхневі структури тканин. Описані процеси, у свою чергу, викликають деструкцію періапікальних тканин, тканин кореня зуба. Апікальний періодонтит є унікальним у тому сенсі, що захисні сили організму господаря не можуть викоринити джерело інфекції, яке знаходиться всередині кореня і до якого вони не мають доступу, тому лише обмежують його. Також з часом цитокіни та фактори росту, запущені під час запального процесу, стимулюють проліферацію епітеліальних клітин з островків Меллесе, які в нормі знаходяться у «сплячому» стані в періодонтальній зв'язці. Епітеліальні клітини утворюють більш-менш безперервні нитки й мігрують у бік періапікальної патології. Ці епітеліальні тяжі стають у майбутньому основою епітеліальної устілки кісти.

Тому резорбція кістки в періапікальній ділянці зуба ураженого апікальним періодонтитом з часом стає тим неминучим побічним ефектом захисного процесу організму й одночасно основним діагностичним індикатором хронічного апікального періодонтиту. Як правило, це захворювання не викликає особливих суб'єктивних відчуттів, нерідко його виявляють випадково під час рентгенологічного обстеження зубів. Тому при хронічному апікальному періодонтиті рентгенографія є основним дослідженням, яке дає об'єктивну інформацію про стан періодонту [3].

Системні зміни в твердих і м'яких тканинах зуба можуть бути описані за допомогою термодинамічних законів. Взаємозв'язок між початком захворювання

і системними змінами твердих і м'яких тканин зуба є актуальним науковим направленням.

Багато разів в своєму житті ми звертали увагу на те, що ріки завжди звиваються, тільки окремі частини річок можуть бути відносно рівними. Місцевість може бути рівною, а потічок або річка буде звиватися подібно змії. При більш уважному огляді ми побачимо, що пряме направлення – найбільш нестійке, а тому й найменш вірогідне. Прямолінійне направлення можливо тільки при ідеальних умовах, які на практиці ніколи не існують. Причиною цього неоднорідність ґрунту, випадкова обставина, яка призводить до змін течії ріки, збільшення викривлення берегів (Я. И. Перельман).

Випадкові обставини, які визивають нерівність річки, практично неминучі, рівно, як і утворення закрутів, постійно зростаючих. Ці закрути отримали назву «меандрів» від річки Меандр (в західній частині Малої Азії). Інколи закрути утворюють петлі, змінюючи при цьому своє русло, утворюючи «старицю» або «староріччя», – стоячу воду в покинутій частині русла.

Аналізуючи фісури зубів, бачимо, як вони схожі на фрагменти закрутів потічків та річок. Як би поверхні зубів були б абсолютно рівними, рано чи пізно під впливом жувально-фізико-хімічних факторів на них з'явилися би нерівності, тобто фісури і бугри. Вже на другому році життя бачимо зміни де від незначного м'язового навантаження, гілка нижньої щелепи відхилена більш оципітально, ніж при прорізуванні зубів. По мірі прорізування, як молочних, так і постійних зубів кут зменшується при зміні навантажень. Бугри для зуба це як склепіння готичних будівель, де завдяки розподілу тиску на піки бугрів йде його розподіл на, як і пародонтальну тканину. З літературних джерел відомо, що карієс в зубах частіше всього утворюється в області фісур, які описані для жувальних зубів (моляри, малі корінні зуби – пре моляри) кликів та різців. Кристали фосфату кальцію (гідроксіапатити) є найменшими структурними одиницями зубної емалі, що дозволяє порівнювати природні кристали із зубом [4; 5]. Гідроксіапатити щільно розташовані разом у вигляді емалевих призм, більш складних утворень. Згідно досліджень І. Пригожина взаємодія між молекулами на відстані приблизно діаметру атомів і молекул (10^{-8}) робить стійкою структуру кристалів і надає їм макроскопічних властивостей. З іншого боку розміри кристалу не є внутрішніми властивостями структури. Вони залежать від того, яка кількість рідини знаходиться в кристалічній фазі при рівновазі і при перенавантаженні зуба (кристала) – виникають ускладнення в м'яких та твердих тканинах зубів, пародонті, що призводить до запальних процесів зубів та навколишніх тканин.

Мета дослідження. За допомогою термодинамічних законів, проаналізувати причини виникнення карієсу та його ускладнень.

Постановка проблеми. Ознаки запалення, які свого часу ввів до медичної практики відомий римський лікар Цельс (Celsus'a), це *Calor, Rubor, Tumor, Dolor, Functio laesa* це системні фізичні поняття, тобто фізичні зміни показників стану системи; температури, об'єму, тиску, зміни функції, інакше кажучи зміна параметрів.

Якщо припустити, що зуб це термодинамічна система, то йому притаманні всі функції й параметри даної системи. Зрозуміло, проблема, що до виникнення карієсу та його ускладнень, на сам перед лишається досить складною, але є сподівання на спробу її рішення. Тим не менш, при такому підході умови законів фізики протистоять спробам пояснити причини стоматологічного захворювання. Навпаки, спробуємо ті самі умови, та в тих самих умовах, за допомогою термодинамічних законів проаналізувати причини стоматологічних захворювань.

Відомо, що при підвищення температури тіла людини може виникати пульпіт, ускладнений маргінальним періодонтитом. При таких умовах, де стан захворювання це закон збереження енергії, а нам необхідно вийти за його рамки для того, щоб спробувати проаналізувати і пояснити причину виникнення карієсу та його ускладнень. Вийти за рамки цього закону можна завдяки новій функції, яку ввів Клаузіус, під назвою «ентропія» і позначається буквою *S* і яка може збільшуватись тільки в результаті незворотних реакцій. А як, що припустити, що карієс зуба виникає при зміні ентропії, де чіткість ентропійного фактору у виникненні карієсу підтверджують періодонтити – смерть тканини, її переродження в путридний розпад з подальшим продовженням запального процесу і можливим видаленням зуба, – незворотні процеси призводять, свого, роду до односторонності часу: позитивний напрямок часу корелює зростанням ентропії. Карієс та його ускладнення – це незворотні процеси [5].

В замкнутій системі, проявом якої є граничні умови такі, що її температура *T* підтримується постійною за рахунок теплообміну з навколишнім середовищем, рівновага відповідає не максимуму ентропії, а мінімуму аналогічної функції, що отримала назву вільної енергії $F = E - TS$, де *E* – енергія системи, *T* – її температура по так званій шкалі Кельвіна (точка замерзання води відповідає 273 К, точка кипіння 373К). Співвідношення $F = E - TS$, означає, що рівновага є результат конкуренції між енергією та ентропією, а температура виступає в ролі множини, знаходячи відносну вагу цих двох факторів. При низьких температурах перевага на стороні енергії, і ми спостерігаємо утворення таких упорядкованих (з малою ентропією) і низько енергетичних структур, як кристали. Кожна молекула в середині таких структур взаємодіє із своїми сусідами, і їх кінетична енергія мала порівняно з потенціальною енергією, обумовленою взаємодією між сусідніми молекулами. Кожна молекула, як би схована із взаємодією зі своїми сусідами. При високих температурах домінує ентропія і в системі встановлюється молекулярний хаос. Важливість відносного руху зростає, і регулярність в структурі кристалу порушується; по мірі збільшення температури рідина переходить спочатку в рідкий, а потім в газоподібний стан, так запалення пульпи (пульпіти) одне з найчастіших ускладнень каріозного процесу [6; 8]. За даними київських стоматологічних поліклінік і приватних кабінетів, із загальної кількості осіб з хворобами зубів і порожнини рота, які звертаються по стоматологічну допомогу, 10-15% становлять хворі на пульпіт. Роботи вітчизняних авто-

рів – М. М. Чемофанова, Г. В. Ясвоїна, Є. М. Гофунга, А. Є. Євдокимова, І. О. Новика, Д. А. Ентїна внесли значний вклад в розроблення проблеми пульпіту. Сьогодні лікарі – стоматологи користуються різноманітними методами лікування пульпітів, які є клінічно обґрунтовані. Але сучасне теоретичне пояснення причин виникнення пульпітів, є не зовсім повним, не має відповіді на запитання – чи буде процес гострий або хронічний і яке лікування запровадити на тій чи іншій стадії процесу, як прогнозувати розвиток запалення пульпи, вибір якого залежить від клінічного протікання запалення пульпи, класифікованого, як гострий або хронічний процесу основою вибору методу лікування пульпіту є суто клінічні показники. Для відповіді на це запитання пропонуємо розглянути зуб і його хвороби, як енергетичну систему, де проходять фізичні і хімічні реакції з енергетичними функціями. Зубу як анатомічному органу біологічно активної системи притаманні фізичні і хімічні реакції й їх величини. Спробуємо пояснити нормальну роботу зуба і причини захворювання за допомогою фізичних параметрів. Припустимо, що зуб це термодинамічна система, якій властива енергетична функція стану системи, тобто функція, що залежить від значень параметрів (тиску, об'єму, температури), які однозначно враховують стан системи. «Анатомо-фізіологічна структура пульпи надає деяких характерних рис розвитку запального процесу в ній. Явища альтерації, розладу кровообігу з ексудацією та еміграцією, а також проліферацією тканини протікають в особливих анатомо-топографічних умовах, пов'язаних з топографією пульпи, розміщенням її в несприятливій коробці пульпарної камери і кореневих каналів, вузькими апікальними отворами, своєрідними умовами васкуляризації. Пульпіт починається з запальної гіперемії пульпи.» Н. І. Агапов (1953) вважає гіперемію пульпи не захворюванням, а тільки станом її подразнення, який швидко або повільно переходить у запалення. На мою думку це ні що інше, як дисипативна структура, де є поняття теорії біфуркацій. Поблизу точок біфуркації в системах спостерігаємо значні флуктуації. Такі системи нібито «коливаються» перед вибором одного з декількох шляхів еволюції, і знаменитий закон великих чисел, якщо розуміти його як завжди, перестає діяти [7]. Невелика флуктуація може служити початком еволюції в абсолютно новому напрямку, яке різко змінить всю поведінку макроскопічної системи При запальній гіперемії пульпи відбувається розширення судин – артерій і капілярів, збільшується об'єм капілярного русла, проходить підсилений прилив крові до тканин. Підвищується кров'яний тиск, при цьому течія крові прискорюється. Якість артеріальної гіперемії залежить від характеру впливу. У тому випадку, коли причина або діючий агент не усуваються, до наростаючої гіперемії приєднується ексудація і процес переходить, захо-

плюючи всю або частину пульпи в стадію серозного запалення. Звичайно гіперемія являє собою тимчасовий стан, який на думку А. І. Абрикосова (1949), не залишає особливих наслідків. З просуванням процесу запалення збільшується ексудат. Процес може спочатку обмежитися ділянкою коронкової пульпи; з наростанням запальної реакції він може охопити всю пульпу.

Діагноз гіперемії пульпи, на думку одних авторів, встановити не можливо. Інші автори, посилаючись на гістопатологічні дані, не виділяють гіперемію пульпи в самостійну клінічну форму, а розглядають її, як початок запалення (E. Lorinczy – Landgraf, 1956).

Більшість авторів розглядає гіперемію пульпи як один із ступенів початку запалення де на перший план виступають зміни в судинах і клітинах. Гіперемія пульпи це стан системи при якому починає зростати ентропія, що може призвести до виникнення інших гострих, а також і хронічних пульпітів, але і в той самий час гіперемія пульпи це стан системи, яка коливається, або стоїть перед вибором свого розвитку. Процеси, виникаючи в системах, далеких від рівноваги, можуть трансформуватися у часові і просторові структури. Система стає чутливою до своїх власних флуктуацій (випадковим відхиленням від середнього значення), які можуть перетворитися в фактор, направляючий глобальну еволюцію системи (порядок через флуктуації).

Пародонтит є первинним по відношенню виникнення карієсу тому, що можливе збудження (запуску) системи пригнічує карієс, де вектор часу запалення направлений в пародонтальну тканину. Клінічним проявом цього є зменшення кісткової тканини, яке стимулює підсилення зубної, твердої тканини. Підтвердженням цього є теорія біфуркацій, коли каріозного процесу твердих тканин зубів, а рівно, як і ускладнень ми можемо і не діагностувати. Дисипація породжує порядок в часі і просторі, підвищення температури при запаленнях це інша робота системи при виділенні тепла [9].

Використовуючи термодинамічні умовні фактори для пояснень та аналізу захворювань, можемо зробити попередній висновок, про те, що можуть виникати нові діагностичні стани з відображенням взаємодії з навколишнім середовищем (дисипативні структури). Виникає порядок нового, раніше невідомого типу за участю механізмів перед біологічної адаптації.

Висновки. В поясненні причин виникнення карієсу твердих тканин зубів та його ускладнень важливу роль відіграє ентропія.

Діагноз гострого, хронічного запалення пульпи залежить від ентропійного фактору.

Вибір вектора часу запалення захворювання вказує на точку початку захворювання в системі, яка коливається, а специфічні механізми впливу перед початку захворювання і подальше протікання його залежать від стану системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борисенко А.В. Терапевтична стоматологія: Методи обстеження хворих, карієс, пульпіт, періодонтит, стоматологічні вогнищезовумовлені захворювання. *Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Медицина»*. 2010. № 2. С. 408.
2. Борисенко А.В. Терапевтична стоматологія: Захворювання пародонта. *Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Медицина»*. 2008. № 3. С. 616.

-
3. Авдеев С. Г. Лекції з фізики (квантова механіка, статистична фізика, фізика твердого тіла). С. Г. Авдеев, Т.І. Бабюк НБУВ. 2005. № 1. С. 157.
 4. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Техніка. 2006. № 1 С. 532.
 5. Чолпан П. П. Фізика: Підручник. П.П. Чолпан Вища школа. – 2004. № 1 С. 567.
 6. Фрїтьоф К.І. Книга Дао фізики. Дослідження паралелей між сучасною фізикою і східною філософією. КМ-Букс. 2023. № 1. С. 384.

REFERENCES

1. Borysenko, A.V. (2010). Terapevtychna stomatologia: Metody obstezhennia khvorykh, karies, pulpa, periodont, stomatolohichni vohnyshchezumovleni zakhvoriuvannia [Therapeutic dentistry: Methods of examination of patients, caries, pulpitis, periodontitis, dental foci-induced diseases]. *Vseukrainske spetsializovane vydavnytstvo «Medytsyny»*. 2, 408 [in Ukrainian].
2. Borysenko, A.V. (2008). Terapevtychna stomatologia: Zakhvoriuvannia paradonta [Therapeutic dentistry: Periodontal disease]. *Vseukrainske spetsializovane vydavnytstvo «Medytsyny»*. 3, 616 [in Ukrainian].
3. Avdieiev, S.H. (2005). Lektzii z fizyky (kvantova mekhanika, statystychna fizyka, fizyka tverdoho tila) [Lectures on physics (quantum mechanics, statistical physics, solid state physics)]. NBUV – NBUV, 1, 157 [in Ukrainian].
4. Kucheruk, I.M. (2006). Zahalnyi kurs fizyky [General physics]. Technika. Machinery, 1, 532 [in Ukrainian].
5. Cholpan, P.P. (2004). Fizyka: Pidruchnyk [Physics: Textbook]. Vyshcha shkola – Higher school, 1, 567 [in Ukrainian].
6. Fritof, K.I. (2023). Knyha Dao fizyky. Doslidzhennia paralelei mizh suchasnoiu fizykoiu I skhidnoiu filosofiieiu [The Tao of Physics book. Study of parallels between modern physics and Eastern philosophy]. KМ-Buks – KМ-Buk, 1, 384 [in Ukrainian].