

## КОЛО ЗМІННОГО СТРУМУ ЯК ДЖЕРЕЛО КОГЕРЕНТНИХ КОЛИВАНЬ ТА ЕЛЕМЕНТ У СТРУКТУРІ ІНТЕГРАТИВНОГО ПОДАННЯ ЗНАННЯ

У статті насамперед вказано на окремі проблеми, пов'язані з реалізацією в навчальному процесі курсу загальної фізики принципу "єдності фізики" та зроблено спробу об'єднати в інтегративну систему знань навчальний матеріал, який стосується фізики коливальних, але висвітлюється в різних розділах курсу фізики.

Запропоновано прості когерентні джерела гармонічних електричних коливальних як основи для демонстрації і дослідження інтерференційних явищ.

**Ключові слова:** коло змінного струму, гармонічні коливання, фаза коливальних, хвильова оптика.

### 1. Окремі навчальні проблеми та шляхи їх розв'язання

У процесі навчання фізики ми вживаємо поняття "єдність фізики". Але чи достатньо саме єдність фізики, як похідна загальної властивості матерії, відображається в змісті наших підручників і посібників, унаочнюється в навчальних лабораторних дослідженнях тощо? Іншими словами, потрібно з'ясувати чи належним чином ми висвітлюємо та використовуємо науковий та навчальний потенціал, закладений у цьому понятті. Зауважимо, що актуальність з'ясування цього – незаперечна. Бо насамперед, врахування вимог принципу єдності фізики дасть змогу перейти до реалізації принципу фундаменталізації та інтеграції освіти, принципу, що є засадничим чинником переходу до сучасної гуманістичної парадигми освіти [1].

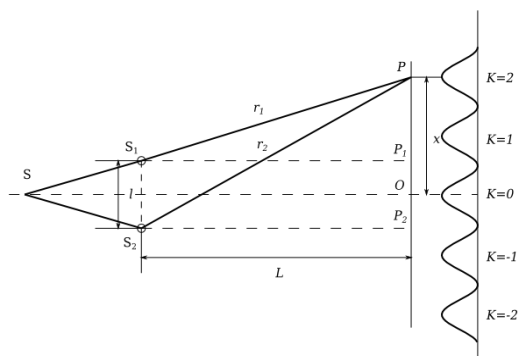
Але, яким чином подане враховується в навчальному процесі курсу загальної фізики? Чи достатньо чітко проблеми пов'язані з принципом фундаменталізації фізики висвітлюються в науково-методичних публікаціях?

Поки що прогрес у розв'язанні цього завдання не спостерігається. І надалі в науково-методичних працях присвячених методиці навчання фізики бракує розробок, які б сприяли переходу від фрагментарного висвітлення змісту її розділів, до подання його як інтегративної системи знань.

Причиною такого стану, як вважають у праці [2] є те "...що досі не описані ефективні процедури відбору фундаментальних фрагментів знання", хоча "...теоретичні основи дидактичної інтеграції вважаються достатньо розробленими". На нашу думку такий вислів дещо некоректний для методики навчання фізики. Бо чи взагалі піддаються опису всі " ефективні процедури відбору фундаментальних фрагментів знання", вся можлива їх гама?

Ми вважаємо, що процес вдосконалення пов'язаний з ломкою усталених навчальних підходів, відповідним переписуванням підручників тощо. Без реалізації цього навряд чи можливий перехід освіти на засади гуманістичної парадигми З огляду на це потреба впровадження нового має стати нагальним завданням викладачів фізики. Бо без розуміння навчальних проблем, що виникають у процесі навчання фізики, важко знаходити шляхи їх розв'язання.

У контексті поданого наше дослідження покликане дещо заповнити цю прогалину. Воно стосується висвітлення змісту окремих фізичних явищ, в основі яких лежать коливальні процеси, які вивчають у різних розділах курсу загальної фізики. На нашу думку, недостатньо акцентують на взаємозв'язках між ними. Крім того, інколи їм властива деяка відірваність від реальних процесів. Це не



Мал. 1. Модель експериментальної установки досліду Юнга

сприяє їх осмисленому засвоєнню як інтегративної системи знань взагалі. Наприклад, з одного боку, розглядаючи рівномірний рух точки по колу та вказуючи на те, що проекція її радіус-вектора описує гармонічне коливання, не наводять реальних прикладів проявлення взаємозв'язку обертового руху з коливальним; з іншого – виглядає ніби так, що подання коливання радіус-вектором, що обертається по колу, є ніби тільки для того щоб, в подальшому, вміти додавати знову ж таки, якісь абстрактні гармонічні коливання одного напрямку.

Отже, залишається нез'ясованим, чи можна наочно продемонструвати додавання когерентних коливальних у реальному навчальному дослідженні?

Водночас, через значний проміжок часу після вивчення змінного струму, починаючи вивчати

хвильову оптику намагатися вербально переконати, що два пучки світла отримані розділенням одного, є когерентними і завдяки цьому можуть інтерферувати (мал. 1).

(Пучок світла падає на екран  $E_1$  з малим отвором  $S$ . Внаслідок дифракції світло досягає двох отворів  $S_1$  і  $S_2$  екрана  $E_2$ , симетрично розміщених відносно  $S$ . Отвори в екранах  $E_1$  і  $E_2$  згідно з принципом Гюйгенса, відіграють роль вторинних джерел світла. Оскільки хвилі, що поширюються від  $S_1$  і  $S_2$  одержані шляхом поділу хвильового фронту, який поширюється від  $S$  то вони когерентні. На екрані,  $E_3$ , розміщеному в полі інтерференції, спостерігатиметься інтерференційна картина).

Результат інтерференції залежить від різниці ходу, яка набігає протягом їх руху до зустрічі між собою. Якщо різниця ходу променів дорівнює парному числу півхвиль, то спостерігається максимум інтенсивності:

$$\Delta r = r_2 - r_1 = \pm k\lambda = \pm 2k \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

а якщо непарному, то буде мінімум:

$$\Delta r = r_2 - r_1 = \pm(2k+1) \frac{\lambda}{2}, \quad (2)$$

де  $k = 0, 1, 2, \dots$ . Для проміжних значень різниць ходу променів результуюча амплітуда матиме проміжне значення.

Після чого вказують, що підтвердженням цього є інтерференція на тонких плівках, кільця Ньютона тощо.

Але, хіба лише таким чином можна отримати когерентні джерела коливань, хвилі від яких, зустрівшись зможуть інтерферувати між собою?

Чому б не скористатися тим фактом, що змінний електричний струм – це вимушені електричні гармонічні коливання? Очевидно, за певних умов, вони можуть стати засобом, що дасть змогу наочно досліджувати закономірності інтерференції когерентних коливань.

Водночас, зауважимо, що до цих пір в курсі загальної фізики (див. напр. посібник [3] у підпункті "Змінний електричний струм" розділу "Електромагнетизм" з одного боку, основний акцент роблять лише на дослідженні кола з послідовно з'єднаними індуктивністю  $L$ , ємністю  $C$ , резистором  $R$  та наголошують на тому, що на окремих елементах кола зміни струму та напруги не збігаються за фазою (на індуктивності напруга випереджує на  $\pi/2$ , на ємності відстає на  $\pi/2$ ) та описують взаємозв'язки між напругами та струмом законом Ома для кола змінного струму. З іншого – мало приділяють уваги (або не приділяють зовсім) дослідженню кола з паралельно з'єднаними індуктивністю  $L$  та ємністю  $C$ .

Ми вважаємо, що дослідження цього з'єднання важливе як з точки зору вивчення закономірностей змінного електричного струму, так і для дослідження інтерференційних явищ, які вивчатимуться в оптиці.

На нашу думку під час вивчення змінного струму треба не обмежуватись констатацією того, що за фазою зміни струму на ємності випереджують напругу на  $\pi/2$ , а на індуктивності відстають на  $\pi/2$ . Потрібно використати цей факт у відповідно розроблених навчальних лабораторних дослідженнях для створення когерентних джерел коливань.

Зважаючи на подане ми пропонуємо навчальний матеріал, що стосується коливальних процесів виділити у підпункти, в яких починаючи з розгляду взаємозв'язку обертального руху з коливальним та представленням його за допомогою обертових векторів, що дає змогу за певних умов додавати коливання аналогічно до того, як додаються вектори.

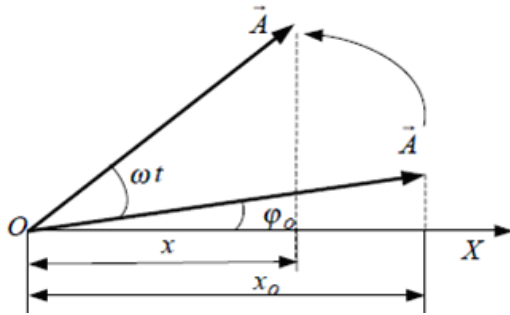
Після того, перейти до висвітлення прояву цього взаємозв'язку у реально технічному пристрої – моделі генератора змінного струму та показати, що його можна використати як джерело когерентних коливань і наочно демонструвати додавання коливань одного напрямку.

## **II. Фрагмент змісту теми "Колівальні рухи"**

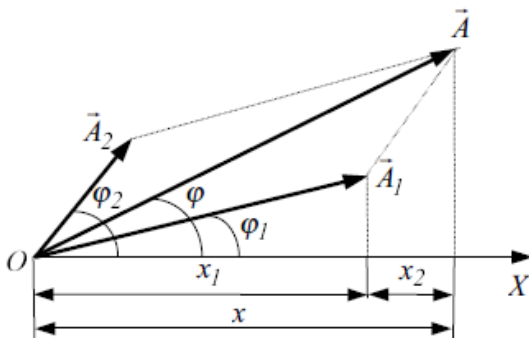
### **2.1. Взаємозв'язок обертального руху з коливальним.**

Перейдемо до висвітлення взаємозв'язку рівномірного руху точки по колу з гармонічними коливаннями. Ще у попередніх наших працях [4,5] ми пропонували, зробивши певні корективи в навчальних програмах курсу фізики вищої та середньої школи: ліквідувати рознесеність в часі вивчення матеріалу, усвідомлення якого полегшує розуміння фізики коливань і сприяє формуванню асоціативних зв'язків між різними поняттями фізики. Доповнити підрозділ "Кінематика", в якому зазвичай розглядають прямолінійний та обертальний рухи параграфом "Простий гармонічний рух", під яким розуміють зміни, що відбуваються за законом косинуса або синуса.

Поняття "гармонічні коливання" ввести, демонструючи взаємозв'язок рівномірного руху точки по колу з коливальними рухами проекції її радіус-вектора вздовж осі, яка проходить через центр кола (мал. 2).



Мал. 2. Проекція  $x$  радіус-вектора  $A$  точки  $M$



Мал. 3. Додавання двох когерентних коливань

З мал. 2 видно: якщо в момент часу  $t=0$  радіус-вектор  $A$  точки  $M$  на ободі кола, напрямлений під кутом  $\varphi_0$  до осі  $x$  то його проекція  $x$  на цю вісь дорівнює:  $x = A \cos \varphi_0$ , (3) де  $A = |\mathbf{A}|$  – амплітуда. У разі, якщо точка  $M$  почне обертатися проти руху годинникової стрілки з кутовою швидкістю  $\omega$ , то за час  $t$  проекція  $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$  (4).

### 2.2. Додавання гармонічних коливань

Якщо за допомогою обертових векторів можна додавати гармонічні коливання, то очевидно, що у разі одночасного здійснення точкою двох коливальних рухів однакової частоти та однакового напрямку, то результуюче коливання можна отримати, додаючи їх обертові вектори.

Нехай точка одночасно здійснює два гармонічні коливання однакового періоду, напрямлені вздовж однієї прямої, які визначаються рівняннями:  $x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ ;  $x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$  (5)

Відкладемо з точки  $O$  на осі  $x$  (мал. 3) під кутами  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  вектори амплітуди  $A_1$  і  $A_2$  відповідно.

Обидва вектори обертаються проти стрілки годинника з однаковою кутовою швидкістю  $\omega$ , тому кут  $\varphi_2 - \varphi_1$  між ними весь час залишається незмінним. Результуюче коливання можна подати вектором амплітуди  $A$ , що дорівнює сумі векторів  $A_1$  і  $A_2$

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_1 + \mathbf{A}_2. \quad (6)$$

Він обертається навколо точки  $O$  з тією самою кутовою швидкістю  $\omega$ , що й вектори  $A_1$  і  $A_2$ .

Результуюче коливання описується рівнянням виду  $x = A \cos(\omega t + \varphi)$  (7), де  $A = |\mathbf{A}|$  – амплітуда результуючих коливань, а  $\varphi$  – їх початкова фаза.

З мал. 3 видно, що квадрат амплітуди результуючих коливань  $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$  (8)

а початкова фаза  $\varphi$  визначається із співвідношення:  $\text{tg } \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$  (9)

З (8) випливає, що амплітуда  $A$  результуючих коливань залежить від різниці початкових фаз  $\varphi_2 - \varphi_1$  коливань, що додаються. Оскільки різниця  $\varphi_2 - \varphi_1$  з бігом часу не змінюється (такі синхронні коливання називаються когерентними), то за формулою (8) можна визначити певне значення амплітуди  $A$ .

Косинус будь-якого кута не може бути більший від  $+1$  і менший від  $-1$ . Отже, можливі значення  $A$  лежать у межах:  $A_1 + A_2 \geq A \geq |A_2 - A_1|$  (10).

Виникає запитання: "Чи достатньо повно ми акцентуємо на отриманих співвідношеннях в процесі навчання курсу загальної фізики"? Іншими словами, в яких фізичних явищах та процесах ми зустрічаємося з гармонічними коливаннями як проявленням взаємозв'язку з обертальним рухом? Насамперед це – генератор змінного струму.

### III. Генератор змінного струму – джерело гармонічних коливань

У генераторі змінного струму обертальний рух з циклічною частотою  $\omega$  провідної рамки, площа якої  $S$ , в магнітному полі  $B$  (або навпаки), спричиняє гармонічні зміни магнітного потоку  $\Phi$ , що її пронизує:  $\Phi = BS \cos \omega t$  (11)

Згідно закону Фарадея призводить до виникнення ЕРС індукції та напруги  $V$ , на елементах кола приєднаного до рамки, які змінюються за гармонічним законом:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}; \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \cos \omega t; \quad V = V_0 \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (12)$$

Отже, генератор змінного струму є джерелом вимушених гармонічних електричних коливань. Залишається скористатись цим фактом і вияснити, яким чином вони можуть стати основою для отримання джерел когерентних коливань.

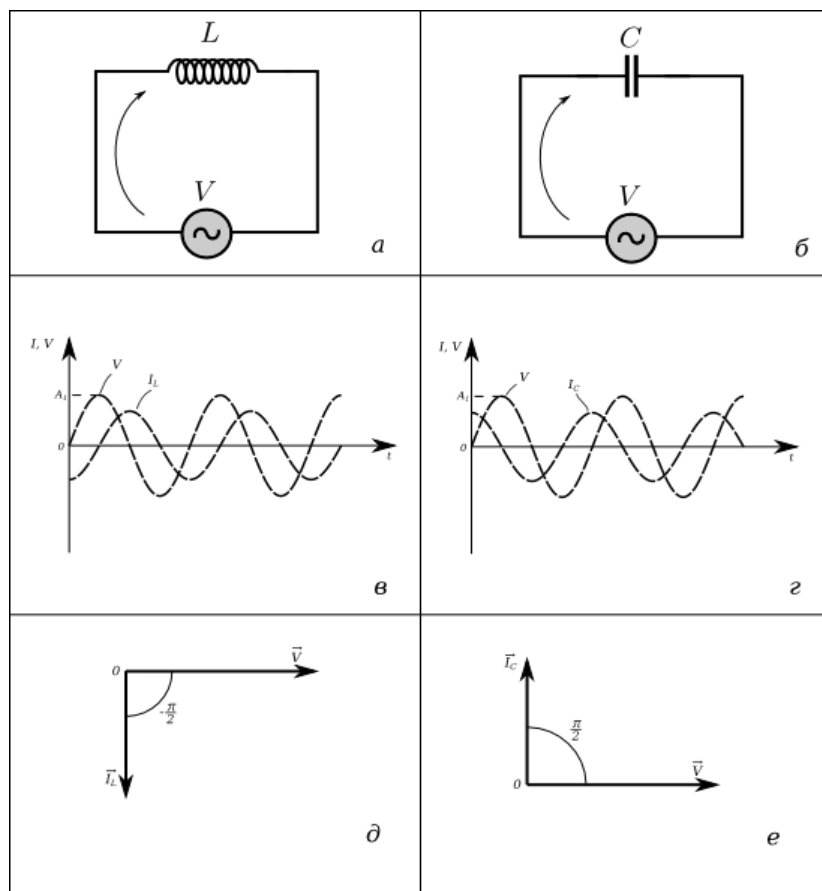
3.1. Електричне коло з індуктивністю

Нехай до генератора змінного струму приєднано спочатку лише індуктивність (мал. 4а). Відомо, що в такому колі, миттєве значення напруги  $V_L$  на індуктивності  $L$ , випереджує зміни струму  $I$  за фазою на  $\pi/2$ . Якщо напруга змінюється за законом:  $V = V_0 \sin \omega t$  (13), тоді  $I = I_0 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$  (14).

Отже, струм відстає від напруги по фазі на кут  $\pi/2$ .

3.2. Електричне коло з ємністю

На відміну від попереднього випадку, у колі з ємністю, приєднаною до генератора змінного струму (мал. 4 б) миттєве значення напруги  $V_C$  на ємності  $C$  відстає від змін струму  $I$  за фазою на  $\pi/2$ :  $I = I_0 \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right)$  (15).



Мал. 4. Генератор змінного струму приєднано до індуктивності (а) та ємності (б).

Графіки струму і напруги в індуктивності (в) та ємності (г).

Векторне подання коливань струму та напруги індуктивності (д) та ємності (е)

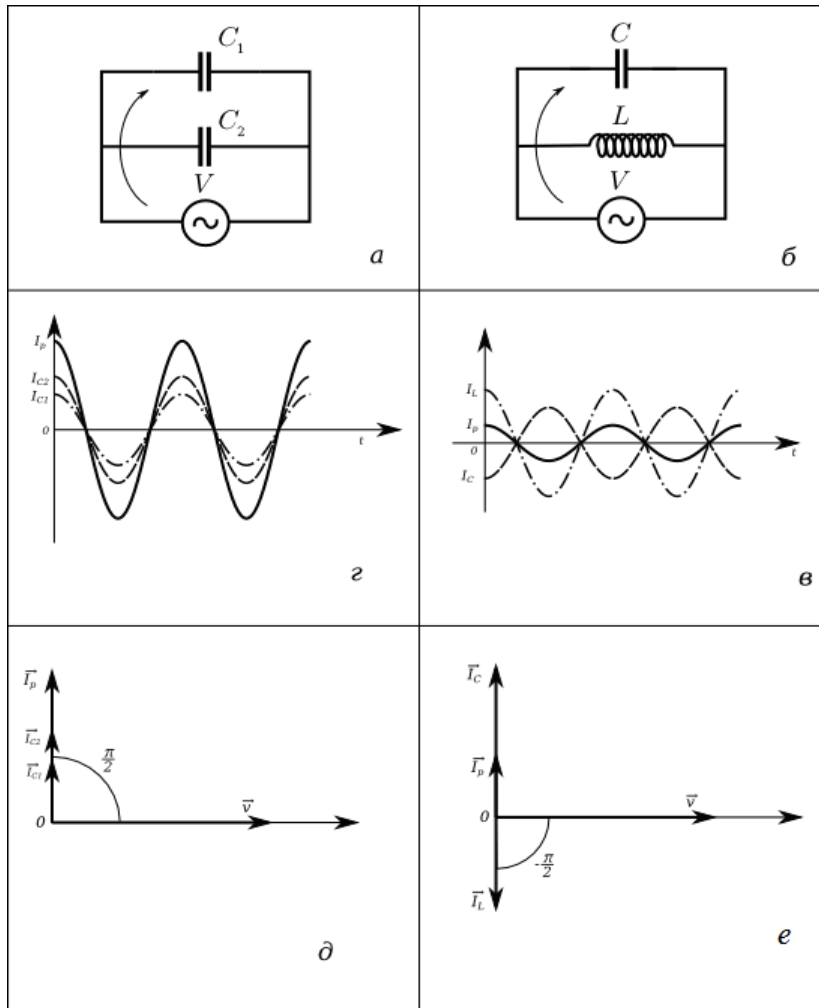
Після поданого потрібно з'ясувати як будуть співвідноситися напруга і струми у вітках кола з паралельно з'єднаними індуктивностями (ємностями) (мал. 5а), індуктивністю та ємністю (мал. 5б).

3.3. Електричне коло з паралельно з'єднаними ємностями

Зрозуміло, що у разі паралельного з'єднання напруга на кожному з елементів кола буде змінюватися синхронно і буде однаковою як за амплітудою, так і за фазою.

Якщо, різниця фаз коливань струму  $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 0$  (16), тоді  $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$ . З рівняння (8) випливає, що  $I_{рез} = I_{C_2} + I_{C_1}$  (17)

Зауважимо, що аналогічно додаватимуться струми у колі з паралельно з'єднаними індуктивністю. Отже, у разі паралельного з'єднання двох ємностей (або індуктивностей) сума струмів у вітках дорівнюватиме струму в нерозгалуженій ділянці кола.



**Мал. 5. Генератор змінного струму приєднано до паралельно з'єднаних конденсаторів (а) та індуктивності з ємністю (б).**

Графіки залежності струму від часу для доданих і результуючого коливань у разі з двома ємностями (г) та індуктивності з ємністю відповідно (б).

Графіки залежності струму від часу для доданих і результуючого коливань у разі з двома ємностями (д) та індуктивності з ємністю відповідно (е)

Струм в ємності випереджує струм в індуктивності по фазі на кут  $\pi$ .

### 3.3. Електричне коло з паралельно з'єднаними ємністю та індуктивністю

У разі паралельного з'єднання ємності та індуктивності через те, що струм на індуктивності випереджуватиме напругу за фазою на  $\pi/2$ , водночас на ємності відставатиме за фазою на таку ж саму величину. Отже, різниця фаз:  $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \pm\pi$  (18)

Тобто обидва коливання знаходяться в протифазі. Амплітуда результуючого коливання струму  $I_{рез}$  згідно (8) дорівнюватиме:  $I_{рез} = |I_L| - |I_C|$  (19)

Якщо  $|I_C| = |I_L|$  струм  $I_{LC} = 0$ . Отже, в такому колі струм взагалі не протікатиме.

Відповідні графіки залежності струму від часу для доданих і результуючого коливань подано на мал. 4, 5 пунктирними і суцільною лініями.

#### IV. Від кіл змінного струму до хвильової оптики

По-перше, з поданого у пункті 2 випливає, що:

1. Генератор змінного струму генерує вимушені гармонічні електричні коливання.

2. У колі з паралельно з'єднаними індуктивностями (або ємностями) він створює у його вітках когерентні коливання струму, фази якого співпадають:  $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ .

3. Якщо в одній з віток кола знаходиться ємність, а в іншій – індуктивність, фази зсунуті одна відносно одної на  $\pi$ .

Крім того очевидно, що приєднання резистора до будь-якої з віток кола, з паралельно з'єднаними індуктивністю та ємністю, або двома індуктивностями (ємностями) дає змогу змінювати фазові співвідношення між коливаннями струму у цих вітках.

Ми вважаємо, що якісного засвоєння поданого лише одних теоретичних міркувань недостатньо. Потрібно наочно переконуватись у справедливості отриманих висновків як у навчальному демонстраційному, так і лабораторному практикумі. Для цього ми створили і описали у праці [6] відповідну просту установку. Ми пропонували застосувати її для демонстрації фазових співвідношень між струмами та напругами в колах змінного струму з паралельно з'єднаними індуктивностями та ємностями.

По-друге, зважати на те, що різноманітні коливальні процеси чи то механічні, чи електричні, чи оптичні підпорядковуються законам, які описуються однаковими математичними рівняннями. Це дає змогу, результати при дослідженні із змінним електричним струмом (гармонічними електричними коливаннями) застосувати на дослідження інтерференційних процесів, які, описує, наприклад, хвильова оптика.

Зокрема, у оптиці умови (16) набудуть вигляду:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi n, \quad \Delta r = r_2 - r_1 = \pm k\lambda = \pm 2k \frac{\lambda}{2} \quad \text{де } n=0,1,2,3,\dots \quad (20)$$

тобто, різниця фаз таких коливань дорівнює нулю або цілому числу  $2\pi$ , а вираз (18) матиме вигляд:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \pi(2n+1); \quad \Delta r = r_2 - r_1 = \pm(2k+1) \frac{\lambda}{2}; \quad \text{де } n=0,1,2,3,\dots \quad (21)$$

Тобто, різниця фаз таких коливань дорівнює непарному числу  $\pi$ .

Отже, можна говорити про певну аналогію між дослідом Юнга і колами з паралельно з'єднаними індуктивністю та ємністю чи двома ємностями або індуктивностями. Фактично – це прості, наочні джерела когерентних коливань. Тому дослідження таких кіл важливе не лише для засвоєння електродинаміки, а й не менш важливі вони для підготовки студентів та школярів до навчання як хвильової оптики, та атомної фізики, зокрема у її вступі до квантової механіки.

Актуальність поданого для навчального процесу курсу загальної фізики – незаперечна.

Наприкінці зауважимо, що запропонована нами спроба побудови змісту навчання – це рух у напрямку формування інтегративних систем знань, пріоритетність, яких у змісті фізики значною мірою пов'язана з певними властивостями інтегрованих інформаційних систем. Зокрема, з тим, що "...інтегративна система інформації у вигляді відповідних методів, адекватних пізнавальному об'єкту, своєчасно засвоєна людиною, стає основою її теоретичного мислення, що дає змогу творчо освоювати досліджувану галузь" [6]

Така побудова мала б враховувати те, що згідно з теорією відображення: системна організованість та структурованість властива не тільки матеріальним об'єктам, процесам, явищам, які складають основу предмету "фізика", а й формам відображення матеріальних об'єктів, процесів та явищ, також притаманні властивості системної організації і структурованості.

#### Використані джерела

1. Орищин Ю. М. До питання про особливості розв'язання окремих проблем освіти з погляду сучасної гуманістичної парадигми / Ю. М. Орищин // Зб. наук. праць Кам'янець-Поділ. держ. ун-ту. Сер. педагогічна. – 2007. – Вип. 13. – С. 96–99.
2. Лазарев М. Системний підхід до розробки інтегрованих технологій вивчення інженерних дисциплін / М. Лазарев // Неперервна професійна освіта: теорія і практика. – 2003. – № 1. – С. 69–78.
3. Кучерук І.М. Загальний курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка Навчальний посібник для студентів вищих техн.і пед. закладів освіти / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик ; За ред. І.М. Кучерука. – К. : Техніка, 1999. – С 22, 324.
4. Орищин Ю.М. Теорія і практика вдосконалення курсу загальної фізики (сучасний навчальний експеримент) / Ю. М. Орищин / Монографія. – Львів : Видавничий дім "Панорама", 2003. – 264 с.
5. Орищин Ю.М. Методика навчання кінематичних динамічних та енергетичних закономірностей коливальних рухів маятника / Ю. М. Орищин // Наукові записки. – Вип. 55. – Серія: Педагогічні науки. – Кіровоград : КДПУ ім. В. Винниченка, 2004. – С. 82–89.
6. Орищин Ю. М. Тема "Змінний електричний струм" в курсі загальної фізики. Недоліки та засади вдосконалення / Ю. М. Орищин, В. О. Савош, М. Д. Голуб // Зб. наук. праць Кам'янець-Поділ. держ. ун-ту. Серія педагогічна. – 2013. – Вип. 19. – С. 170–174.

Oryshchyn Yu., Savosh V.

**ALTERNATING CURRENT CIRCLE  
AS A COHERENT OSCILLATION SOURCE AND AN ELEMENT  
IN THE STRUCTURE OF INTEGRATIVE REPRESENTATION OF KNOWLEDGE**

*This paper points at certain problems linked with the implementation of the "unity of physics" principle in the learning process of general physics course. It attempts to merge the subjects related to oscillation physics, given in various parts of the physics course, into an integrated knowledge system.*

*It proposes simple coherent sources of harmonic electric oscillations that can be used for demonstration and research of interference phenomena.*

*First of all in the article it points to some problems associated with the implementation at school course of general physics the principle of "unity of physics" and attempts to combine integrative system of knowledge in educational material concerning the physics of oscillations, but highlights in different chapters of physics. In particular, it is used the fact that the alternating electric current is forced electric harmonic vibrations, which under certain conditions can become a way that will allow visually explore patterns of interference of coherent oscillations.*

*An educational material concerning oscillatory processes identifies in subparagraphs, where starting with the consideration of the relationship of the rotational motion of oscillating and presenting it with a rotating vectors allowing under certain conditions, adds some fluctuations just as added vectors. After that go to highlight the display of this relationship in the real maintenance devices – models AC generator and show that it can be used as a source of coherent oscillations and vibrations clearly demonstrate adding one direction.*

*It is shown that: 1) Alternator generates forced harmonic electrical signals;*

*2) In a circle with parallel connected inductors (or containers) it creates in its branches coherent oscillations of the current, which phases are matched:  $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$*

*3) If in one of the branch of the circle is the container, and in the another one is the inductor, their phases are shifted relatively to each other on  $\pi$ .*

*It is pointed to the accession of the resistor to any of the branches of the circle with parallel connected inductors and containers or two inductors (containers) which can change the phase relationship between current fluctuations in these branches.*

*Attention is paid to the fact that various oscillatory processes such as mechanical, electrical or optical are obeyed by the laws that are described by the same mathematical equations. This allows the results of the research of alternating electric current (harmonic electrical signals) to apply to the research of interference processes that are described, for example, by the wave optics.*

*The accent is made on the analogy between the experiment of Jung and the circles with the parallel connected inductors and or two inductors or containers. In fact those are simple, visual sources of coherent oscillations. Therefore, the research such circles are important not only for learning electrodynamics, but they are no less important than to prepare students and schoolchildren for learning both to wave optics and atomic physics, in particular in its introduction to quantum mechanics.*

**Key words:** *alternating current circle, harmonic oscillations, phase of oscillations, wave optics.*

*Стаття надійшла до редакції 18.05.2015*