

УДК [375.5.016:53]:001.895

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2021-2-8>

Юрій ОРИЩИН

доктор педагогічних наук, професор, вул. Дніпровська, 10/2, м. Львів, Україна, 79017

Валентин САВОШ

кандидат педагогічних наук, завідувач відділу фізико-математичних дисциплін, Волинський інститут післядипломної педагогічної освіти, вул. Винниченка, 31, м. Луцьк, Україна, 43006

ORCID: 0000-0001-9499-885X

Бібліографічний опис статті: Орищин, Ю., Савош, В. (2021) Інноваційний підхід до моделювання гармонічних коливань. *Фізика та освітні технології*, 2, 50–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-2-8>

ІННОВАЦІЙНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ГАРМОНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

У статті розглянуто феномен «інноватика» в контексті процесу творення, запровадження та поширення в освітній практиці нових ідей, засобів, педагогічних та управлінських технологій, у результаті яких підвищуються показники (рівні) досягнень структурних компонентів освіти, відбувається перехід системи до якісно іншого стану.

Проаналізовано традиційні підходи до навчання теми «Гармонічні коливання», зміст матеріалу якої пов'язаний з коливальними процесами, зокрема додання взаємно перпендикулярних коливань з однаковими частотами.

Запропоновано інноваційний підхід до викладання даної теми, в основі якого як коливальне тіло взято «електрон». Показано, що навчання побудоване на аналізі коливальних рухів електрона, має низку переваг:

– електрон, наближено – це матеріальна точка (його розміри порядку $1 \cdot 10^{-15}$ м);

– результат дії на нього електричних сил можна продемонструвати і таким чином підкреслювати на єдності цього типу коливань з електромагнетизмом;

– електрон – це одна з фундаментальних «цеглинок» Всесвіту;

– можливо акцентувати на аналогії між рухом тіла масою m у гравітаційному полі біля поверхні Землі та рухом електрона e в однорідному електричному полі створеному між плоскою паралельними горизонтально розташованими пластинами;

– є можливість продемонструвати, що додавання взаємно перпендикулярних коливань може бути спричинено дією на електрон двох взаємно перпендикулярних гармонічних електричних сил однакової частоти.

Щоб удосконалити процес навчання, потрібно зробити студента активним учасником даного процесу використавши віртуальний модельний експеримент.

У процесі дослідження студент (учень) має мати змогу задавати коливальні рухи та «бачити» на моніторі не тільки їх загальний вигляд та отримати конкретні числові залежності зміщення електрона x та у від t часу, але й наочний результат додавання, тобто траєкторію руху електрона.

Запропонована нами побудова змісту навчання теми «Гармонічні коливання» та його унаочнення у модельному комп'ютерному експерименті, сприяє засвоєнню навичок розуміння суті досліджуваних фізичних процесів.

Ключові слова: інноваційна педагогічна діяльність, процес навчання, гармонічні коливання, віртуальний експеримент, електрон.

Yurii ORUSHCHUN

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, 10/2 Dniprovsk St., Lviv, Ukraine, 79017

Valentyn SAVOSH

Candidate of Pedagogical Sciences, Head of Physico-Mathematical Sciences Department, Volyn Institute of Postgraduate Education, 31 Vynnychenko St., Lutsk, Ukraine, 43006

ORCID: 0000-0001-9499-885X

To cite this article: Orushchun, Y. & Savosh, V. (2021) Innovatsiynyi pidkhid do modeliuвання harmonichnykh kolyvan [Innovative approach to simulation of harmonic vibrations]. *Physics and educational technology*, 2, 50–56, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-2-8>

INNOVATIVE APPROACH TO SIMULATION OF HARMONIC VIBRATIONS

The article deals with the phenomenon of "Innovation theory" in the context of the creation, implementation and dissemination of new ideas, tools, pedagogical and management technologies in educational practice, as a result of which the indicators (levels) of achievements of the structural components of education are increasing, transition to a qualitatively different state is a result as well.

Traditional approaches to the teaching theme "harmonic oscillations" are analyzed, its content is associated with oscillatory processes, including the addition of perpendicular oscillations with the same frequency.

An innovative approach to the teaching of this subject is proposed that is based on the use of an "electron" as an oscillatory body. It is demonstrated that training is built on the analysis of the vibrational motions of electron that has a number of advantages:

- an electron, approximately - is a material point (its dimensions are of the order of 10^{-10} m);*
- the result of the electric forces acting on it can be demonstrated and thus emphasize the unity of this type of oscillations with electromagnetism;*
- an electron is one of the fundamental "bricks" of the Universe;*
- it is possible to emphasize the analogy between the motion of a body of mass m in a gravitational field near the Earth's surface and the motion of an electron e in a uniform electric field created between flat parallel horizontally arranged plates;*
- it is possible to demonstrate that the addition of mutually perpendicular vibrations can be caused by the action on the electron of two mutually perpendicular harmonic electric forces of the same frequency.*

To improve process of education you need to make the student an active participant in this process using a virtual model experiment.

In the process of research, the student (pupil) has the ability to set the oscillatory movements and "see" not only their general view on the monitor and get specific numerical dependences of the electron x and y bias from t time, but also the visual result of addition, that is the trajectory of the electron movement.

The proposed construction of the content of the training topic "Harmonic oscillations" and its illustrations in a model computer experiment, facilitates the assimilation of the skills of understanding the essence of the studied physical processes.

Key words: *innovative pedagogical activity, process of education, harmonic oscillations, virtual experiment, electron.*

Постановка проблеми. Продукування нових знань, створення нових технологій, способів та систем комунікацій, глобалізація соціальних зв'язків постійно оновлюють вимоги до процесу і результату взаємодії між вчителем і учнями (між викладачем і студентами), за яким останні оволодівають всіма компонентами змісту навчання, розвиваються і виховуються.

Оскільки «нове» в педагогічній теорії та практиці поняття відносне, то доцільно говорити про ознаки новизни у структурі і змісті. За В. В. Химинцем, це:

- нові освітні ідеї та дії, що раніше не були відомі (абсолютно нових оригінальних ідей надзвичайно мало);
- адаптивні, чи переоформлені новації під впливом нових ідей та дій, що набувають особливої популярності у відповідному середовищі (за відповідних умов) та у відповідний період часу;
- трансформовані педагогічні новації, що виникають у зв'язку з повторною постановкою мети за змінених умов (1. Химинець, 2007).

Фізика у середній і вищій школах загалом подана як система предметних знань. Однак фізика охоплює і процес здобування знань. Тому методологічні аспекти знань, до яких треба віднести узагальнені знання про методи

і структуру фізичної науки, основні закономірності її функціонування і розвитку фізичних знань, повинні бути всередині сучасного курсу фізики і розкриватися так само, як фактологічні (предметні). Отже, методологія науки, її виховні та освітні функції найбільш відповідають основним завданням навчання фізики у середній та вищій школі.

Серед методів фізичної науки особливе місце посідають експериментальний метод і метод моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз наукових джерел засвідчив, що проблема моделювання набула різноаспектного розгляду.

Значущість процесу моделювання пояснювалася з огляду на: перебіг мисленнєвих процесів («зрозуміти – це означає створити діючу модель, що відтворює всі суттєві риси поведінки об'єкта» (Є. Барбіна, 1998, с. 11); побудову, дослідження й реалізацію наукової моделі з метою отримання нової інформації про дослідований об'єкт (Штофф, 1960).

У наукових працях кінця ХХ століття та початку ХХІ століття розглянуто моделювання: фізичних процесів (О. Бугайов, В. Заболотний, О. Іваницький, Г. Кобель, В. Коваль, В. Муляр, М. Садовий, В. Сумський,

А. Федонюк та ін.); процесу розв'язування задач (С. Гончаренко, Є. Коршак та ін.), задачних ситуацій (О. Барінова); комп'ютерно-орієнтованих лабораторних робіт (О. Мартинюк, С. Семеріков, І. Теплицький та ін.), застосування навчальних моделей (П. Афанасьєв, Ю. Галатюк, Л. Калапуша, Ю. Коварський, Ю. Сауров, В. Фоменко, Д. Шодієв та ін.)

Метою статті є розгляд освітньої інноватики в контексті діяльності вчителя (викладача) фізики.

Виклад основного матеріалу. Процес творення, запровадження та поширення в освітній практиці нових ідей, засобів, педагогічних та управлінських технологій, у результаті яких підвищуються показники (рівні) досягнень структурних компонентів освіти, відбувається перехід системи до якісно іншого стану, тлумачимо як інноватику в освіті.

Результати наших попередніх досліджень дали змогу теоретично обґрунтувати та втілювати засади вдосконалення курсу загальної фізики (Оришин, 2006; Оришин, 2007).

У них, зокрема, наголошують на тому, що навчальний експеримент має стати невіддільним компонентом інноваційних комплексних тем, які повинні охоплювати ключові поняття, закони, теорії фізики і взаємозв'язки між ними та є результатом системного врахування вимог дидактики і діалектики.

Під час навчання реальність зазвичай задається через моделі, у тому числі за допомогою навчального експерименту. У навчально-методичній літературі, доступній студентам та школярам, часто бракує достатньо повного, чіткого і зрозумілого опису наукового дослідження, його результатів та ролі в розвитку науки і техніки, хоча здавалось, що аналіз важливих наукових фізичних досліджень у навчанні фізики в вищій та середній школі мав би здійснюватися бездоганно. Як приклад, що це далеко не так, у праці (Оришин, Савош, 2011) ми обговорювали проблему у поданні в навчальному процесі дослідження Штерна, одночасно як простому так і світоглядному, роль якого у формуванні фізичного мислення і світогляду – непересічна. На нашу думку, в його інтерпретації забувають наголошувати:

– на ролі моделювання як заміни вивчення фізичного об'єкта чи явища експериментальним дослідженням його моделі;

– що у фізиці основними видами діяльностями є моделювання та експеримент. Якщо експеримент розглядати як діяльність з реальними об'єктами, так і з поняттями (в цілому знаннями), то звідси випливає єдність цих діяльностей.

Моделювання в освітньому процесі з фізики має ту специфічну особливість, що воно одночасно виступає методом наукового пізнання, є частиною змісту навчального матеріалу з фізики та ефективним засобом її вивчення (Калапуша, 1982). Стає очевидним, що вдосконалення курсу загальної фізики навряд чи можливе без активної праці над його модернізацією та оновленням, в т. ч. над пошуком нових способів та методів подання фізичних явищ та процесів, що в свою чергу пов'язане розробкою і виготовленням засобів для їх реалізації як реальних, так і віртуальних.

У цій статті ми спочатку зупинимось на окремих усталених підходах до вивчення теми, зміст матеріалу якої пов'язаний з коливальними процесами, зокрема додання взаємно перпендикулярних коливань з однаковими частотами (Яворський та ін, 1970; Кучерук та ін, 1999).

Нижче опишемо як наші теоретичні міркування щодо засад удосконалення курсу загальної фізики можна враховувати під час модернізації навчання теми, яка пов'язана з додаванням коливань.

Традиційно, тему «Додавання взаємно перпендикулярних гармонічних коливань», у посібниках і підручниках курсу загальної фізики, починають описувати з наступного виразу: «Нехай матеріальна точка C одночасно бере участь у двох гармонічних коливаннях з однаковими періодами T у двох взаємно перпендикулярних напрямках...» (Яворський та ін, 1970), або «Розглянемо випадок, коли тіло одночасно бере участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях...» (Кучерук та ін, 1999).

Далі, отримують математичну модель досліджуваного явища та застосовують її для аналізу окремих простих випадків коливальних рухів. А у лабораторному практикумі, достовірність отриманих результатів унаочнюють отримуючи «фігури Ліссажу».

Виникають запитання: «Чи не занадто абстрактним та й консервативним є навчання, побудоване на дослідженні поведінки «матеріальної точки»?

Все ж таки у більшості пересічних студентів та школярів старших класів пере-

важаючим є предметне мислення, а не абстрактне. А навчальний матеріал, потрібно формувати так, щоб у ньому демонструвався взаємозв'язок між поняттями різних розділів курсу фізики. Тільки такий підхід стане запорукою застосування принципу фундаменталізації та інтеграції знань, без реалізації якого неможливий перехід на засади сучасної гуманістичної парадигми.

Крім того, результати наших досліджень свідчать, що якісного навчання теми легше досягнути застосовуючи можливості нових інформаційних технологій, звичних для сучасного студента та школяра старших класів.

У контексті поданого, пропонуємо розпочати вивчення теми «Додавання взаємно перпендикулярних гармонічних коливань» не з аналізу уявних рухів матеріальної точки а розглянувши в ролі коливального тіла «електрон». На нашу думку навчання побудоване на аналізі коливальних рухів електрона, матиме низку переваг. Це впливає з наступного:

– по-перше, електрон наближено можна вважати матеріальною точкою (його розміри порядку $1 \cdot 10^{-15} \text{ м}$);

– по-друге, є реальна можливість продемонструвати результат дії на нього електричних сил і таким чином підкреслити на єдності цього типу коливань з електромагнетизмом;

– по-третє, електрон – це одна з фундаментальних «цеглинок» Всесвіту;

– по-четверте, дає змогу акцентувати на аналогії між рухом тіла масою m у гравітаційному полі біля поверхні Землі та рухом електрона e в однорідному електричному полі створеному між плоско паралельними горизонтально розташованими пластинами (рис. 1);

– по-п'яте, дає змогу продемонструвати, що додавання взаємно перпендикулярних коливань може бути спричинено дією на електрон двох взаємно перпендикулярних гармонічних електричних сил однакової частоти.

Зважаючи на подане, вивчення змісту теми доцільно почати з висвітлення руху електрона у змінному електричному полі.

Уявіть собі, що електрон зі швидкістю швидкість v влітає паралельно осі симетрії системи вертикально та горизонтально відхиляючими пластинами двох плоских конденсаторів (рис. 2,б) (Зауважимо, що ця вісь є перпендикулярною до площини рисунка).

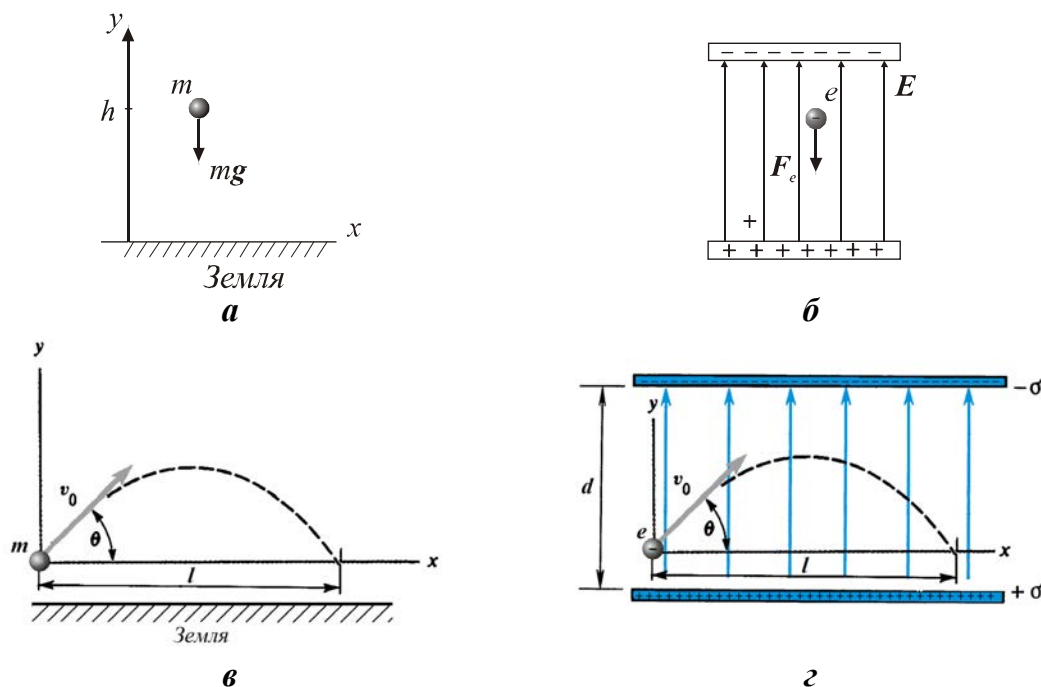


Рис. 1. Аналогія рухів у силових полях:

(а) Тіло масою m вільно падає у гравітаційному полі Землі.

(б) Рух електрона e в однорідному електричному полі; (в) Траєкторія тіла кинутого під кутом до горизонту; (г) Траєкторія руху електрона, який з вилетів з швидкістю v_0 під кутом θ з позитивно зарядженої обкладки конденсатора

У разі прикладання напруги до пластин конденсатора, (рис. 2) електрон почне рухатися в горизонтальному та вертикальному напрямках. З цими напрямками можна пов'язати прямокутну систему координат xOy , розташувавши початок координат в центрі симетрії системи відхилення.

Нехай, в момент часу $t = 0$ електрон попадає в центр симетрії цієї системи пластин, а напруга на них змінюється за гармонічним законом:

$$U_x = U_{0x} \sin \omega t \quad (1); \quad U_y = U_{0y} \sin(\omega t + \phi_0) \quad (2)$$

де U_{0x} , U_{0y} – амплітуда коливань напруги на пластині, t – час, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – циклічна частота, T – період коливань, $\phi_0 = \frac{2\pi}{T} t_0$ – початкова фаза, t_0 – час, що задає початкову фазу.

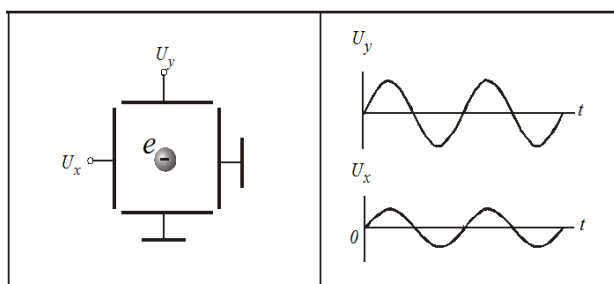


Рис. 2. (а) Електрон, який з постійною швидкістю рухається вздовж осі симетрії системи двох взаємно перпендикулярних пластин, в момент часу в центрі її симетрії; (б) на пластині подається синусоїдальна напруга

У такому разі між пластинами виникне електричне поле, напруженість якого $E = \frac{U}{d}$, де d – відстань між пластинами, пов'язана з силами F_x і F_y , які, діятимуть на електрон, співвідношеннями:

$$F_x = \frac{eU_{0x}}{d} \sin \omega t \quad (3); \quad F_y = \frac{eU_{0y}}{d} \sin(\omega t + \phi_0) \quad (4),$$

прискорення електронна відповідно:

$$a_x = \frac{eU_{0x}}{md} \sin \omega t \quad (5), \quad a_y = \frac{eU_{0y}}{md} \sin(\omega t + \phi_0) \quad (6)$$

Враховуючи, що прискорення a з переміщенням x пов'язує вираз $a = \frac{d^2x}{dt^2}$, після інтегрування, отримаємо залежність зміщення $x = f(t)$; $y = f(t)$:

$$x = -\frac{eU_{0x}}{md} \omega^2 \sin \omega t \quad \text{або} \quad x = A_1 \sin \omega t \quad (7);$$

$$y = \frac{eU_{0y}}{md} \omega^2 \sin(\omega t + \phi_0) \quad \text{або} \quad y = A_2 \sin(\omega t + \phi_0)$$

(8), де $A_1 = \frac{eU_{0x}}{md} \omega^2$, $A_2 = \frac{eU_{0y}}{md} \omega^2$ – амплітуда коливань.

Отже, з поданого випливає:

– по-перше – якщо електрон одночасно бере участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях з однаковими періодами T , а зміщення вздовж осей Ox і Oy дорівнює відповідно x і y , то щоб знайти положення електрона в будь-який момент часу t , треба для цього моменту часу знайти його зміщення x та y і побудувати на них прямокутник. Кінець діагоналі прямокутника визначить положення електрона в момент часу t , а відрізок OC – результуюче зміщення;

– по-друге – зважаючи на періодичність коливань, зрозуміло, що змінюючи час t від 0 до T , отримаємо ряд точок, та з'єднавши їх лінією, отримаємо траєкторію руху електрона, яка в залежності від початкової фази ϕ_0 ($\phi_0 = \frac{2\pi}{T} t_0$, де t_0 – час, що задає початкову фазу), описуватиме певні геометричні фігури. У певних випадках це може бути пряма, коло та еліпс.

Вочевидь, описаний вище спосіб отримання результату додавання коливань не є надто рутинним та складним.

Відомо, що традиційно, спочатку отримують математичну модель досліджуваного явища та обговорюють кілька простих випадків, які описують пряму, коло та еліпс, осі якого збігаються з осями координат

До цього моменту роль студента в навчанні цієї теми обмежується пасивним спогляданням за інформацією, яку подає викладач, або самостійним читанням матеріалів, що стосуються теми у підручниках і посібниках.

Ми пропонуємо активізувати процес навчання, зробити студента активним учасником цього процесу. Вважаємо, що для реалізації цього потрібно математичний формалізм унаочнити у віртуальному модельному числовому експерименті. Студент має мати змогу задавати коливальні рухи та «бачити» на моніторі не тільки їх загальний вигляд, отримати конкретні числові залежності зміщення електрона x та y від часу t , але наочний результат додавання, тобто траєкторію руху електрона.

Для цього було розроблено навчальну комп'ютерну програму: «Гармонічні коливання».

Вона дає змогу реалізувати два завдання, одне з яких стосується додавання взаємно

перпендикулярних коливань. Студенти виконують завдання на віртуальних модельних установках, в основі яких лежить числовий експеримент. Про окремі елементи навчальної програми, зокрема, протікання експерименту, можна судити по скріншоту екрану, який подано на рис.3. Розглянемо її окремі елементи.

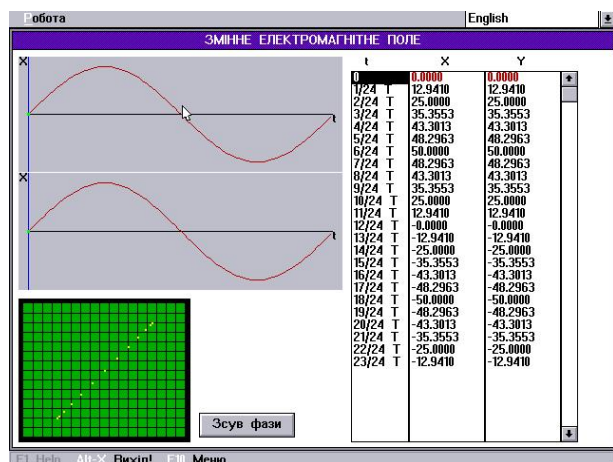


Рис. 3. Скріншот екрану навчальної комп'ютерної програми «Додавання взаємно перпендикулярних коливань»

Нехай потік електронів рухається вздовж осі симетрії.

Перше. У лівому нижньому кутку заставки подано екран електронно-променевої трубки (ЕПТ). Електрони вирвані з катоду прискорюються та фокусуються і рухаються вздовж її осі симетрії z до екрану. Перш ніж потрапити на екран вони проходять через систему взаємно перпендикулярних пластин. У разі відсутності напруги на пластинах, електрони потраплятимуть у центр екрану ЕПТ.

Отже світла точка в центрі екрану на рис. 3, це місце потрапляння електронів у разі відсутності напруги між пластинами. Нехай вона є центром декартової системи координат xOy , розташованої у площині екрану. Зауважимо, що на рис.3 вона не показана.

Друге. У верхньому лівому кутку рис. 3 подано графіки коливань напруги прикладеної до обох пар пластин: $U_x = U_{0x} \sin \omega t$ (9); $U_y = U_{0y} \sin(\omega t + \phi_0)$ (10). У разі, якщо початкова фаза $\phi_0 = 0$.

Третє. У вікні, у центрі рис.3, задають зсув фаз кратним $\phi_0 = \frac{T}{24} k$, де k – стала. Вона задає почат-

кову фазу коливань, і може приймати одне із 24 значень: $(k=0,1,2,3,\dots,24)$. $U = U_2 \sin \frac{2\pi}{T}(t + \frac{T}{24} k)$ (11)

Четверте. На правій стороні заставки (рис. 3) у таблиці, подано графіки зміщення електрона за один період вздовж горизонтальної осі x та вертикальної – y : $x = f(t)$ та $y = f(t)$, які викликані напругами (9), (10) прикладеними до пластин. Зміщення взято за проміжки часу $t = \frac{T}{24} n$, де $n = 0,1,2,3,\dots,24$. Амплітуда коливань взята рівною 1. У такому разі зміщення x та y , які описуються рівняннями (7) та (8) матимуть вигляд:

$$x = A_1 \sin \frac{2\pi}{T} \frac{T}{24} n \quad (12); \quad y = A_2 \sin \frac{2\pi}{T} (\frac{T}{24} n + \frac{k}{24}) \quad (13).$$

Отже, результуюче коливання електрона залежатиме від зсуву фаз між ними.

Порядок виконання експерименту включає два пункти:

1. Клікнути мишкою по вікні «зсув фаз» .
2. Ввести «зсув фаз», надавши k одне з цілих значень діапазону $|0; 24|$.
3. Перемалювати у зошит отриману на екрані криву.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Слід зазначити, що недоліком традиційних методик навчання є те, що зроблено завеликий акцент на ідеальні фізичні моделі. Навчання, що базується на фізичних теоріях, в основі яких лежать ідеальні фізичні моделі, має істотні мінуси, що може призвести до втрати розуміння багатогранності і складності реальних фізичних процесів. Згодом це приведе до абстрагування знань та утруднень у використанні їх на практиці, в неусвідомленні аналогій з іншими спорідненими явищами (Орищин, 2006).

Запропонована нами побудова змісту навчання теми та його унаочнення у модельному комп'ютерному експерименті, сприяє засвоєнню навичок розуміння суті досліджуванних фізичних процесів.

У цьому аспекті слід виділити два чинники: з одного боку, через те, що запропонований нами числовий віртуальний експеримент організовується з допомогою математичних моделей процесу додавання коливань, тому він дає змогу прогнозувати характер їх протікання за тих або інших початкових умов. З іншого – важливо й те, що керування модельною установкою з клавіатури комп'ютера під час проведення модельного комп'ютерного експерименту, створює відчуття реальності.

Перспективи подальших розвідок вбачаємо у використанні полімодельності під час вивчення електромагнітних коливань.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Химинець В.В. Інноваційна освітня діяльність. Ужгород : Інформаційно-видавничий центр ЗІППО, 2007. 364 с.
2. Барбина Е.С. Формирование педагогического мастерства учителя в системе непрерывного педагогического образования. К. : Высш. шк., 1998. С. 8–19.
3. Штофф В.А. Моделирование и философия.-М. : Наука, 1966. 301 с.
4. Орищин Ю.М. Інновації в методиці навчання курсу загальної фізики як засадничий чинник її вдосконалення. *Зб. наук. праць Кам'янець-Поділ. держ. ун-ту. Сер. педагогічна. Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника в контексті сучасної освітньої парадигми.* Вип. 12. 2006. С. 150–152.
5. Орищин Ю.М. До питання про особливості розв'язання окремих проблем освіти з погляду сучасної гуманістичної парадигми. *Зб. наук. праць Кам'янець-Поділ. держ. ун-ту. Сер. педагогічна.* Вип. 13. 2007. С. 96–99.
6. Орищин Ю.М., Савош В.О. Дослід Штерна в навчальному процесі. Проболеми інтерпретації та їх розв'язання. *Вісн. Чернігів. держ. пед. ун-ту. Серія: Педагогічні науки.* Вип. 89. 2011. С. 469–474.
7. Калапуша Л.Р. Моделирование у вивченні фізики. К. : Рад. шк., 1982. 160 с.
8. Яворський Б.М., Детлаф А.А., Милковська Л.Б., Сергеев Б.П. Курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка : навчальний посібник. Київ : Вища школа. 1970. С. 149–151.
9. Кучерук І.М., Грбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка : навчальний посібник для студентів вищих техн. і пед. закладів освіти. К : Техніка, 1999. С. 217–219.
10. Орищин Ю.М. Теорія і практика вдосконалення курсу загальної фізики засобами сучасного навчального експерименту: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.02 / Націон. пед. ун-т. К., 2006. 40 с.

REFERENCES:

1. Khymynets, V.V. (2007) *Innovatsiina osvitiia diialnist [Innovative educational activities]*. Uzhhorod: Informatsiino-vydavnychiy tsentr ZIPPO [Information and publishing center ZIPPE] [in Ukrainian].
2. Barbina, E.S. (1998) *Formirovanie pedagogicheskogo masterstva uchitelya v sisteme nepreryvnogo pedagogicheskogo obrazovaniya [Formation of teacher pedagogical skills in the system of continuous pedagogical education]*. K.: Vyssh. Shk [K.: Higher school] [in Russian].
3. Shtoff, V.A. (1966) *Modelirovanie i filosofiya [Modeling and philosophy]*. M.: Nauka [M.: Science] [in Russian].
4. Oryshchyn, Yu.M. (2006) *Innovatsii v metodytsi navchannia kursu zahalnoi fizyky yak zasadnychi chynnyk yii vdoskonalennia [Innovations in the methodology of teaching general physics as a fundamental factor in its improvement]*. *Zb. nauk. prats Kamianets-Podil. derzh. un-tu. Ser. pedahohichna. Problemy dydaktyky fizyky ta shkilnoho pidruchnyka v konteksti suchasnoi osvitnoi paradyhmy [Collection of Science works of Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University. Pedagogical Chapter]*. 12, 150–152 [in Ukrainian].
5. Oryshchyn, Yu.M. (2007) *Do pytannia pro osoblyvosti rozviazannia okremykh problem osvity z pohliadu suchasnoi humanistychnoi paradyhmy [On the question of the peculiarities of solving certain problems of education from the point of view of the modern humanistic paradigm]*. *Zb. nauk. prats Kamianets-Podil. derzh. un-tu. Ser. pedahohichna [Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University. Series: Pedagogical sciences]*. 13, 96–99 [in Ukrainian].
6. Oryshchyn, Yu.M., Savosh, V.O. (2011) *Doslid Shterna v navchalnomu protsesi. Probolemy interpretatsii ta yikh rozviazannia [Stern's experiment in the educational process. Problems of interpretation and their solution]*. *Visn. Chernihiv. derzh. ped. un-tu. Serii: Pedahohichni nauky [Chernihiv National University. Series: Pedagogical sciences]*. 89, 469–474 [in Ukrainian].
7. Kalapusha, L.R. (1982) *Modeliuvannia u vyvchenni fizyky [Modeling in the study of physics]*. K.: Rad. Shk [K.: Sov. School] [in Ukrainian].
8. Yavorskyi, B.M., Detlaf, A.A., Mylkovska, L.B., Serheiev, B.P. (1970) *Kurs fizyky. Mekhanika. Molekuliarna fizyka i termodinamika. Navchalnyi posibnyk [Physics course. Mechanics. Molecular physics and thermodynamics. Tutorial]*. Kyiv: Vyshcha shkola [Kyiv: Higher school] [in Ukrainian].
9. Kucheruk, I.M., Hrbachuk, I.T., Lutsyk, P.P. (1999) *Zahalnyi kurs fizyky. Mekhanika. Molekuliarna fizyka i termodinamika. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv vyshchykh tekhn. i ped. zakladiv osvity [General course of physics. Mechanics. Molecular physics and thermodynamics. A textbook for students of higher technology and pedagogical educational institutions]*. K : Tekhnika [K: Technology] [in Ukrainian].
10. Oryshchyn, Yu.M. (2006) *Teoriia i praktyka vdoskonalennia kursu zahalnoi fizyky zasobamy suchasnoho navchalnoho eksperymentu: avtoref. dys. ... d-ra ped. nauk: 13.00.02 / Natsion. ped. un-t. [Theory and practice of improving the course of general physics by means of modern educational experiment: author's ref. dis. ... Dr. Ped. Sciences: 13.00.02 / National pedagogical university]* [in Ukrainian].