

Методичні вказівки щодо проведення  
уроку фізики № 48 у 11 класі

**Тема уроку.** Гармонічні електромагнітні коливання. Рівняння електромагнітних гармонічних коливань.

**Мета уроку:** удосконалити знання про електромагнітні коливання, отримати рівняння коливань, аналітично дослідити аналогії рівнянь механічних та електромагнітних коливань.

**Тип уроку:** комбінований.

**Обладнання та методична підтримка:** звуковий генератор, осцилограф, пружний маятник, анімаційне зображення коливань у коливальному контурі, слайди графіків гармонічних коливань.

**План - схема уроку**

Етап уроку	Час	Форми і види діяльності учителя та учнів
<b>Вступна частина</b>		
1. Аналіз домашнього завдання	5 хв.	Вибіркова перевірка якості виконання ДЗ у формі фронтальної бесіди учителя та учнів. Коригуються навички розв'язування задач на тему «Механічні коливання».
2. Закріплення опорних знань теорії механічних коливань	4 хв.	У формі опитування досліджується якість теоретичних знань у об'ємі визначень, формулювань та виразів щодо рівняння вільних коливань, їх амплітуди, фази, енергії коливань, періоду, векторної діаграми, кінематики та динаміки.
<b>Мотивація щодо вивчення електромагнітних коливань</b>		
3. Демонстрація коливальних процесів	5 хв.	Спостереження за процесами, що відбуваються у коливальних системах. Знайомство з осцилографом. Порівняння форми графічного відображення вільних коливань. Ставиться проблема: чи є споріднені риси у коливаннях різної природи?
4. Демонстрація слайдів	2 хв.	Визначення фізичних величин, що гармонічно змінюються у механічному та електромагнітному коливальному процесі.
<b>Вивчення нового матеріалу</b>		
5. Аналітичне визначення рівняння електромагнітних коливань	5 хв.	Аналітичне представлення учителем рівняння електромагнітних коливань.
6. Встановлення відповідності фізичних величин та аналогій коливальних процесів	5 хв.	Самостійне порівняння виразів механічних та електромагнітних коливань, та визначення учнями відповідних аналогій щодо фізичних величин для механічних та електромагнітних коливань. Самостійне оцінювання своїх спостережень.
7. Затухання коливань	3 хв.	Пояснення учителем умов затухання вільних коливань у коливальному контурі.
<b>Закріплення нового матеріалу</b>		
8. Закріплення теоретичних знань	7 хв.	Перехресне опитування учнів учнями щодо вивченого матеріалу. Вправа «мікрофон».
9. Отримання практичних навичок	7 хв.	Приклади розв'язування задач учителем та учнями (за бажанням).
10. Висновки та отримання ДЗ	2 хв.	Учитель оприлюднює оцінки учнів за роботу на уроці та задає ДЗ.

Методичні вказівки щодо ведення уроку.

1. Попередній урок фізики № 47 на тему «Коливальний рух. Виникнення коливань у коливальному контурі» [1] надає учням уяву про природу виникнення вільних електромагнітних коливань у контурі. Тому у ДЗ до уроку № 47 потрібно включити, окрім вивчення нового матеріалу, повторення теоретичного матеріалу уроку № 61 відповідно до тематичного плану з Фізики за 10 клас [1] на тему «Механічні коливання». Для самостійного розв'язування у ДЗ до попереднього уроку бажано включити задачі № 16.3, 16.20 [2], та задачі № 25.24, 25.54, 25.48 [3].

2. Обов'язковою умовою вказаного етапу уроку є закріплення учнями визначень основних фізичних величин коливального процесу механічної системи: амплітуди  $A$ , координати  $X(t)$ , частоти коливань  $\nu$ , періоду  $T$ , циклічної частоти  $\omega$ , фази коливань  $\phi$ . Слід згадати рівняння періоду коливань маятників:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\kappa}}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1),$$

де  $m$  – маса вантажу,  $\kappa$  – жорсткість пружини,  $l$  – довжина нитки математичного маятника.

Динамічними рівняннями незатухаючих вільних коливань маятників є закони Ньютона:

$$-\kappa x(t) = ma(t); \quad -g \frac{x(t)}{l} = a(t) \quad (2).$$

Кінематичні рівняння коливань фізичних величин механічної коливальної системи було отримано після розгляду проекцій (рис.1) на вісь  $OX$  радіус – вектору  $R$ , вектору швидкості  $v$  та вектору прискорення точки  $a$ , що рівномірно рухається по колу радіусом  $R$  з кутовою швидкістю  $\omega$ :

$$\begin{aligned} X(t) &= A \cos \omega t; \quad v(t) = A\omega \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}); \\ a(t) &= A\omega^2 \cos(\omega t + \pi) = -A\omega^2 \cos \omega t \end{aligned} \quad (3),$$

де  $A$  – максимальне значення координати  $X(t)$ , при цьому  $|A| = |R|$ .

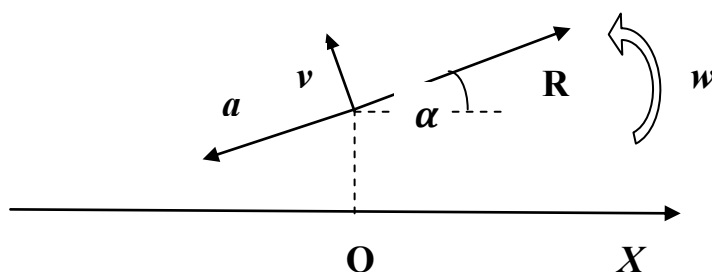


Рис.1. Векторна діаграма для пояснення кінематичних рівнянь.

З системи динамічних (2) та кінематичних (3) рівнянь коливань маємо:

$$a(t) = -\omega^2 X(t); \quad \omega^2 = \frac{\kappa}{m}; \quad \omega^2 = \frac{g}{l} \quad (4).$$

З системи рівнянь (4) маємо диференціальне рівняння вільних незатухаючих коливань механічної системи:

$$\ddot{X}(t) + \omega^2 X(t) = 0 \quad (5).$$

Таке рівняння задовольняє вираз  $X(t)$  у вигляді, що вказаний у системі рівнянь (3).

3. При демонстрації електромагнітних коливань на екрані осцилографу учні спостерігають синусоїду, що схожа на графік гармонічних коливань механічних фізичних величин. За допомогою динаміку, що підключений до генератора, учитель дає можливість упевнитись

учням у тому, що генератор створює електромагнітні коливання звукової частоти, які перетворюються у механічні коливання дифузора динаміку. Осцилограма є одночасним відображенням коливань різної природи з однаковою частотою.

4. Слайди графіків гармонічних коливань електричних та механічних фізичних величин надають учням змогу упевнитись у можливості спорідненого способу графічного відображення коливальних процесів різної природи.

5. Учителю бажано довести учням діалектичну сутність єдності природних явищ та універсальності математичного апарату, яким користуються діячі науки. А саме, показати тривіальність перетворення знань теорії механічних коливань у знання теорії електромагнітних коливань, визначити принципову спорідненість аналітичного відображення коливальних процесів різної природи. У результаті пояснень учителя учні повинні самостійно дійти таких висновків. При цьому бажано спиратись на знання учнів, якими вони володіють на момент проведення представленого уроку.

Деякі автори методичних посібників[4] та підручників[5] викладають інформацію про електромагнітні коливання, спираючись на аналогію представлення електричних фізичних величин і величин теорії механічних коливань, не доводячи свої твердження аналітично. Наприклад, заряд  $q(t)$  ставиться у відповідність до координати  $X(t)$ , індуктивність  $L$  – у відповідність до маси  $m$  без доведення такої відповідності. Більш ґрунтовно інформація про електромагнітні коливання може бути викладена, спираючись на закон збереження енергії вільних коливань у коливальному контурі [6, стор.35]. А саме, на відоме твердження, що у ідеальному коливальному контурі ( $R=0$ ) відбувається взаємне перетворення енергії електричного та магнітного полів без втрат:

$$W = \frac{LI(t)^2}{2} + \frac{q(t)^2}{2C} = \text{const} \quad (6),$$

де  $C$  – ємність конденсатора коливального контуру,  $I(t)$  електричний струм.

У результаті диференціювання такого рівняння за часом отримаємо диференціальне рівняння відносно зміни заряду на конденсаторі:

$$LII + \frac{q\dot{q}}{C} = 0 \quad (7).$$

Враховуючи  $\dot{q} = I$  за визначенням, отримаємо рівняння вільних електромагнітних коливань:

$$\ddot{q} + \frac{1}{LC}q = 0 \quad (8).$$

6. Саме після порівняння диференціальних рівнянь (8) та (5), із урахуванням (1) та (2), маємо робити висновок щодо аналогій у аналітичному представленні коливань різної природи та відповідності механічних фізичних величин до величин, що змінюються при електромагнітних коливаннях [4,5]. Право зробити висновки щодо таких аналогій потрібно залишити за учнями. Результатом такого порівняння є вираз У.Томсона для розрахунку періоду коливань у коливальному контурі, а також рівняння коливань заряду та сили струму у контурі:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}; q(t) = q_{\max} \cos \omega t; I(t) = q_{\max} \omega \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (9).$$

7. Умовою затухання коливань маятника є втрата механічної енергії під час коливань. Причиною може бути наявність сили тертя, що не є консервативною силою. Умовою затухання коливань у контурі є втрата енергії коливального контуру за рахунок перетворення її частини у тепло при проходженні електричного струму по дротах, що з'єднують котушку та конденсатор, та по дроту самої котушки, які мають загальний активний опір  $R$ . За законом Джоуля-Ленца втрати енергії за період коливань мають розраховуватись за рівнянням:

$$Q = I^2 R T \quad (10).$$

Незатухаючі коливання можна отримати у коливальному контурі, що відповідає умові:

$$Q \ll \frac{LI^2}{2} \quad (11).$$

З урахуванням (9) вираз (11) перетворюється у нерівність :

$$R \ll \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (12).$$

При невиконанні такої умови рівняння затухаючих коливань у контурі відповідає закону Ома для замкнутого кола із урахуванням ЕРС самоіндукції, напруги на конденсаторі та падіння напруги на активному опорі контуру:

$$\ddot{q} + \frac{R}{L} \dot{q} + \frac{q}{LC} = 0 \quad (13).$$

До конспекту учнів бажано занести рівняння (1) – (13).

8. Учніма надається можливість висловитись за результатами розгляду нового матеріалу та сформулювати питання один одному із метою закріплення отриманих теоретичних знань. Іншою формою проведення цієї частини уроку може стати вправа «Знайди продовження фрази...», де учні обирають другу частину фрази із запропонованої учителем таблиці (див. нижче). Перевірка отриманих результатів проводиться учнями і оцінюється кількістю балів згідно до таблиці вірних результатів.

Номер строки	Початок фрази	Закінчення фрази	Номери строк відповідності
1	Замість жорсткості пружини К у рівнянні (1) ставиться ... у рівнянні (9)	q(t)	1-6
2	$\Delta\varphi/2\pi =$	$LI^2/2$	2-8
3	Розмірність v	$q(t) = 0$	3-4
4	Замість амплітуди А у рівнянні механічних коливань (3) ставиться ... у рівнянні (9) електромагнітних коливань	$c^{-1}$	4-10
5	У коливальному контурі різниця фаз $\pi/2$ між I(t) та...	R	11-9
6	Циклічна частота коливань у контурі має вираз для розрахунку...	1/C	5-1
7	У коливальному контурі значення заряду $q_{\max}$ на конденсаторі зменшується у два рази за час $t=$	$2/\sqrt{LC}$	8-2
8	Енергія магнітного поля котушки	$\Delta t/T$	6-12
9	За максимального значення струму у контурі значення заряду на конденсаторі...	F	7-11
10	Циклічна частота перетворень енергії у контурі складає...	$q_{\max}$	9-3
11	Напрузі на конденсаторі U у механічних коливаннях відповідає...у електромагнітних	T/6	10-7
12	У ідеальному контурі нулю дорівнює значення...	$1/\sqrt{LC}$	12-5

9. На розгляд учнів потрібно представити задачу на отримання рівняння електромагнітних коливань за відомих параметрів коливального контуру, наприклад:

написати рівняння вільних коливань струму та напруги у контурі з конденсатором ємністю 20 мкФ та котушкою, що має індуктивність 3 мГн, якщо на конденсатор подається початкова напруга 2В. Яку частину енергії буде втрачати контур за період коливань, якщо активний опір у контурі складає 1 мОм?

Розв'язування задачі виконується фронтально. Результати розрахунків заносяться учнями до конспекту уроку.

Частота власних коливань контуру складе :  $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 20,56 \text{ КГц}$ .

Період коливань:  $T = 48,6 \text{ мкс}$ .

Циклічна частота складе:  $\omega = 130\,000 \frac{1}{\text{с}}$

Заряд на конденсаторі на початку коливань:  $q_{\max} = UC = 40 \text{ мкКл}$ .

Рівняння коливань заряду на конденсаторі:  $q(t) = 40 \cdot 10^{-6} \cos 130000t$ .

Максимальне значення сили струму:  $I_{\max} = q_{\max}\omega = 5,2 \text{ А}$

Рівняння коливань сили струму :  $I(t) = 5,2 \cos(130000t + \frac{\pi}{2})$ .

Рівняння коливань напруги на конденсаторі:  $U(t) = 2 \cos 130000t$ .

Запас енергії коливань у контурі:  $W = \frac{q_{\max}^2}{2C} = 40 \text{ мкДж}$ .

Діюче значення сили струму  $I_{\text{д}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 3,68 \text{ А}$ .

Втрата енергії за період коливань:  $Q = I_{\text{д}}^2 RT = 0,66 \text{ мкДж}$ .

Таким чином, за період коливань у контурі втрачається частина енергії. За перший період коливань втрати становлять 1,65% запасу енергії коливань.

Підводячи підсумки уроку, учителю бажано підкреслити спільність у аналітичному сприйнятті механічних та електромагнітних коливань, ще раз зосередивши увагу учнів на рівняннях (3)-(5),(8),(9). На завершення уроку учитель виставляє оцінки учням за участь у творчому процесі та якість отриманих знань.

10. У домашньому завданні учням необхідно дослідити §§ 22,23 [5]. Спробувати уявно відтворити хід представленого уроку.

Для удосконалення навичок розв'язування задач учням бажано запропонувати самостійно розглянути задачі розділу 16 збірника [2], виходячи із того рівня засвоєння нового матеріалу, який, на думку учителя, відповідає результату проведеного уроку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Календарно-тематичне планування з фізики та астрономії / Костюк А. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2015. – 49 с.
2. Карпукіна О.О. Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: збірник задач / Ф.Я.Божінова, О.О. Карпукіна, Т.А. Сарій. – 2-ге вид., перероб. та доп. – Х.: «Ранок», 2011. – 224 с.
3. Карпукіна О.О. Фізика. 10 клас. Академічний рівень : збірник задач / О.О. Карпукіна, Ф.Я.Божінова, В.В. Хардіков. – 3-тє вид., – Х.: «Ранок», 2013. – 288с.
4. Кирик Л.А. Уроки фізики. 11 клас: Календарно – тематическое планирование, плани – конспекты уроков, методические рекомендации, тематические контрольные работы / Х.: «Ранок-НТ», 2004. – 416 с.
5. Гончаренко С.У. Фізика: Підруч. Для 11 кл. серед. загальноосвіт. шк. – К. : «Освіта», 2006. – 320 с.
6. Глазунов А.Т. Методика преподавания физики в средней школе: Электродинамика нестационарных явлений. Квантовая физика: пособие для учителя / А.Т. Глазунов, И.И. Нурминский, А.А. Пинский ; под ред. А.А. Пинского. - М.: «Просвещение». 1989. – 272 с.