

09.12.2022

Група 23

Фізика і астрономія

Урок 65-66

Тема уроку: Вимушені коливання. Поняття про автоколивання. Резонанс

Мета уроку: навчити особливостям вимушених коливань, фізичної суті резонансу, дати визначення поняттям «вимушені коливання», «автоколивання», роз'яснити учням різницю між вимушеними та автоколиваннями; сформулювати акцент на вивченні та використанні закону збереження енергії, застосувати набуті знання на практиці; виховувати інтерес до вивчення фізики та розкрити значущість набутих знань.

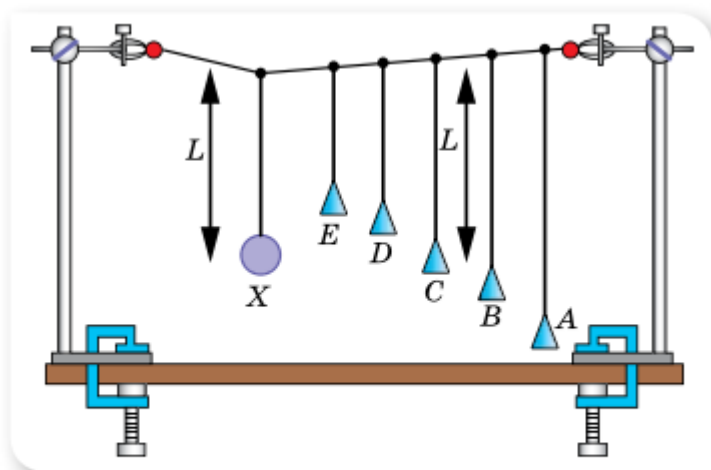
### Матеріали до уроку

Вимушені коливання <https://www.youtube.com/watch?v=x2yEq6p8Qtw>  
відео урок

**Вимушені коливання.** Як зазначалося, для того щоб коливання не загасали, енергія коливальної системи має поповнюватися. Наприклад, щоб гойдалка не зупинялась, її необхідно підштовхувати через інтервали часу, кратні періоду коливань гойдалки.

*Коливання, які здійснюються під дією як внутрішніх, так і зовнішніх періодичних сил, називають вимушеними.*

**Резонанс і його практичне використання.** Дослідимо деякі особливості вимушених коливань. Для цього проведемо такий дослід. Закріпимо між двох штативів трос і підвісимо до троса маятники різної довжини (мал. 100).



Мал. 100. Демонстрація резонансу

### Мал. 100. Демонстрація резонансу

Виведемо зі стану спокою, наприклад, маятник X, надамо йому можливість вільно коливатися (площина коливань маятника перпендикулярна до площини малюнка). Ці коливання спричинять коливання троса і змусять коливатися інші маятники. При цьому маятник C, що має таку саму довжину, а отже, і такий самий період, як і маятник X, коливатиметься найсильніше; маятники B і D, періоди коливань яких близькі до періоду коливань маятника X, коливатимуться дещо слабше, а маятники A та E майже не коливатимуться.

Отже, якщо період (частота) коливань діючої сили дорівнює власному періоду (частоті) коливань коливальної системи, амплітуда вимушених коливань системи буде найбільшою. Це явище називають резонансом.

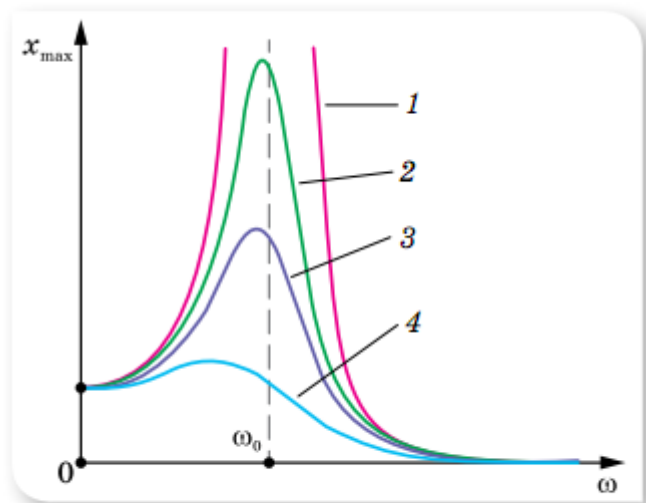
**Резонанс** — явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань, коли частота зовнішньої періодичної сили збігається із частотою власних коливань.

Спробуємо це довести. Для зручності розглянемо коливальну систему — горизонтальний пружинний маятник. Уздовж осі  $X$  на коливне тіло діє сила пружності  $F_{\text{пр}} = -kx$  і змінна зовнішня сила  $F = F_{\text{max}} \cos \omega t$ . Застосовуючи другий закон Ньютона до опису коливань тіла, отримуємо рівняння:  $ma_x = -kx + F_{\text{max}} \cos \omega t$ . Урахуємо, що  $a_x = -\omega^2 x_{\text{max}} \cos \omega t$ ,  $x = x_{\text{max}} \cos \omega t$ ,  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ , тобто  $k = \omega_0^2 m$ , та отримуємо рівняння другого закону Ньютона у вигляді  $-m\omega^2 x_{\text{max}} \cos \omega t = -\omega_0^2 m x_{\text{max}} \cos \omega t + F_{\text{max}} \cos \omega t$ .

Скоротимо рівняння на  $\cos \omega t$  і запишемо з нього вираз для амплітуди вимушених коливань,  $x_{\text{max}} = \left| \frac{F_{\text{max}}}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \right|$ .

Проаналізуємо отриману залежність і побудуємо її графік. Зі зміною частоти  $\omega$  зовнішньої сили змінюється амплітуда вимушених коливань. Якщо ця частота наближається до частоти вільних коливань системи  $\omega_0$ , то знаменник дробу наближується до нуля. У цьому разі амплітуда різко збільшується, прямує до нескінченності (мал. 101; крива 1), за умови

$$\omega = \omega_0.$$



Мал. 101. Резонансні криві

### Мал. 101. Резонансні криві

Сили опору перешкоджають збільшенню амплітуди коливань. Зі збільшенням сил опору значення резонансної амплітуди зменшуватиметься (кривій 4 на мал. 101 відповідає максимальне значення сил опору).

Резонанс відіграє важливу роль у природі й техніці, як позитивну, так і негативну. Позитивними виявами є резонатори — підсилювачі звуку, настроювання коливальних контурів у радіозв'язку; негативними — руйнування фундаментів і конструкцій унаслідок коливань. Відомі випадки, коли руйнувалися мости під час переходу по них колони військових, які крокували «в ногу» і до того ж частота кроків збігалася із власною частотою коливань моста. У 1850 р. зруйнувався Анжерський підвісний міст над Луарою, по якому крокували французькі

піхотинці. Тоді загинуло 226 осіб. У 1906 р. зруйнувався ланцюговий Єгипетський міст через річку Фонтанку в Петербурзі. У 1940 р., через кілька місяців після введення в дію, зруйнувався Такомський підвісний міст (США, штат Вашингтон), у якому виникли резонансні коливання під дією вітру (мал. 102).



Мал. 102. Руйнування  
Такомського моста

### Мал. 102. Руйнування Такомського моста

Конструюючи заводи, вокзали, мости, літаки та інші споруди, фахівці мають враховувати явище резонансу, не допускаючи, щоб їхній власний період коливань збігався з періодом коливань механізмів, які можуть викликати вимушені коливання цих конструкцій.

Демонстрації:

<https://www.youtube.com/watch?v=ux27Dovb9Fs> – Відеодослід. Резонанс маятників.

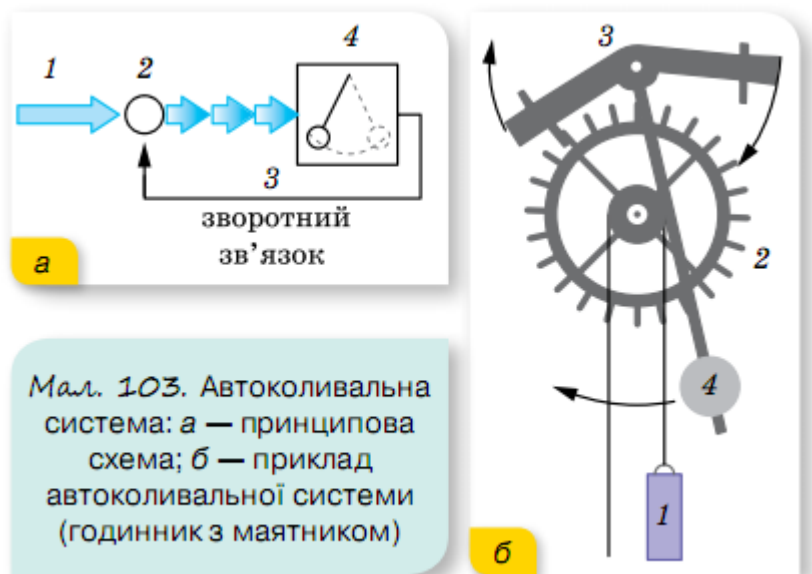
**Автоколивальні системи.** Отже, не загасаючі вимушені коливання можна отримати, діючи на тіло, здатне коливатись, періодичною зовнішньою силою. Проте можна зробити так, щоб коливальна система сама керувала зовнішнім впливом, забезпечуючи узгодженість дії сили зі своїм рухом. Така система називається автоколивальною, а її не загасаючі коливання — автоколиваннями.

*Автоколивання* — не загасаючі коливання, спричинені сталим зовнішнім впливом на систему, яка сама регулює їх частоту.

На відмінну від вимушених коливань, частота й амплітуда автоколивань визначаються властивостями самої коливальної системи. Від вільних коливань автоколивання відрізняються тим, що вони з часом не загасають, а також тим, що їхня амплітуда не залежить від початкового короткочасного впливу, який збуджує коливання.

У будь-якій автоколивальній системі виокремлюють три основні елементи (мал. 103, а): 1 — джерело енергії, 2 — передавальний пристрій зі зворотним зв'язком 3, який регулює надходження енергії із джерела в коливальну систему 4.

Прикладом автоколивальної системи є годинник з маятником (мал. 103, б). Джерелом енергії такої системи є гиря 1, передавальним пристроєм — храпове колесо 2 та анкер 3, коливальною системою — маятник 4.



Мал. 103. Автоколивальна система: а — принципова схема; б — приклад автоколивальної системи (годинник з маятником)

**Мал. 103. Автоколивальна система: а — принципова схема; б — приклад автоколивальної системи (годинник з маятником)**

Піднята над землею гиря, опускаючись, обертає храпове колесо. Оскільки гиря вільно опускається, то її рух є рівноприскореним. Для рівномірного обертання храпового колеса слугує маятник, який з'єднано із храповим колесом через анкер. За одну секунду маятник здійснює одне повне коливання. Призначення анкера полягає в тому, щоб храпове колесо, до якого кріпляться стрілки, повернулося лише на один зубець.

Маятниковий механізм нині ще використовується в годинниках на вежах або в настінних годинниках. Згодом маятниковий механізм годинників змінили на пружинний, електронний, кварцовий.

У техніці застосовуються електромеханічні автоколивальні системи, в яких коливання здійснює механічна система, а надходження енергії регулюється спеціальним електричним пристроєм.

Демонстрації:

<https://www.youtube.com/watch?v=wPzjHuYMPrI> - Відеоурок. Автоколивання.

**Домашнє завдання:**

**Дати письмово відповіді на запитання**

1. Які коливання називають вимушеними? Наведіть приклади вимушених коливань.
2. Від чого залежить амплітуда вимушених коливань?
3. Що називають резонансом? За яких умов він виникає?
4. Наведіть приклади позитивного та негативного резонансних проявів.
5. Які коливання називаються автоколиваннями?
6. Які елементи входять до складу автоколивальної системи? Наведіть приклади автоколивальних систем.

**Розв'язати задачі**

**Задача.** Як запобігти гойдання хмарочосів під час сильного вітру?

**Задача.** Чому солдатам заборонено йти стройовим кроком по мосту?

**Зворотній зв'язок**

**E-mail** [vitasergiivna1992@gmail.com](mailto:vitasergiivna1992@gmail.com)

**!!! у повідомленні з д/з не забуваєм вказувати прізвище, групу і дату уроку.**