

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

**Циклова комісія економіки, соціально-гуманітарних та  
фундаментальних дисциплін**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

**з навчальної дисципліни «Фізика»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**

**272Авіаційний транспорт  
Оператор безпілотних літальних апаратів**

**за темою - Механічні коливання і хвилі. Звук і ультразвук**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 22.02.2024 №2

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою  
Кременчуцького льотного  
коледжу Харківського  
національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 17.01.2024 №6

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з гуманітарних та соціально-  
економічних дисциплін  
Протокол від 22.02.2024 №2

Розглянуто на засіданні циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, протокол від 05.01.2024 №14

**Розробник:**

*Викладач циклової комісії економіки, соціально-гуманітарних та фундаментальних дисциплін, Пузир М.С.*

**Рецензенти:**

*1.Доцент кафедри автомобілів та тракторів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, кандидат технічних наук, доцент Черниш А.А.*

*2.Начальник відділу організації наукової роботи та гендерних питань КЛК ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Владов С.І.*

## План лекції

1. Механічні коливання
2. Математичний маятник. Період коливачь математичного маятника.

## Рекомендована література:

### Основна

1. Дмитрієва В. Ф. Фізика: навчальний посібник / В. Ф. Дмитрієва. – К.: Техніка, 2008. – 608 с.

### Додаткова

2. Курс фізики : навчальний посібник / [Зачек І. Р., Кравчук І. М., Романишин Б. М., Габа В. М., Гончар Ф. М.]. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
3. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.1: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Постійний струм. Електромагнетизм : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк : ДонНТУ, 2009. – 224 с.
4. Волков О. Ф. Курс фізики ; у 2-х т. – Т.2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра : навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / О. Ф. Волков, Т. П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. – 208 с.
5. Збірник задач з фізики : навчальний посібник / [Лопатинський І. Є., Зачек І. Р., Серeda В. М., Крушельницька Т. Д., Українець Н. А.]. – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 124с.

## Текст лекції

### 1. Механічні коливання

**Коливання** — це будь-який процес, під час якого стан тіла або фізичної системи тіл повторюється через певні інтервали часу.

**Механічні коливання** – рухи, які точно або приблизно повторюються через однакові проміжки часу.

Коливання — найпоширеніша форма руху в навколишньому світі та техніці. Коливаються дерева під дією вітру, поршні у двигуні автомобіля тощо. Ми можемо розмовляти і чути звуки завдяки коливанням голосових зв'язок, повітря і барабаних перетинок; коливається серце. Це все — приклади механічних коливань. Світло — це також коливання, але електромагнітні. За допомогою електромагнітних коливань, які поширюються в просторі, можна здійснювати радіозв'язок, радіолокацію, передавати телевізійні передачі, а також лікувати деякі хвороби. Перелічити всі види коливань неможливо.

Наведені приклади механічних і електромагнітних коливань з першого погляду мають мало спільного. Проте під час їх дослідження було виявлено цікаву закономірність: різні за фізичною природою коливання описуються однаковими математичними рівняннями, що значно полегшує їх вивчення.

Коливання бувають **періодичними і неперіодичними**. Найцікавішими є дослідження періодичних коливань.

Періодичним називають такий процес, за якого величина, що коливається взята у будь-який момент часу, через певний інтервал часу  $T$  матиме те саме значення.

**Вимушені коливання** – це коливання, які відбуваються під дією зовнішньої сили, що періодично змінюється.

**Вільні коливання** - це коливання, які відбуваються під дією внутрішніх сил системи й виникають у системі після того, як її було виведено з положення рівноваги та надано самій собі.

Систему тіл, у якій можуть виникати вільні коливання, називають **коливальною системою**.

Коливання — найпоширеніша форма руху в навколишньому світі.

Різні за фізичною природою коливання описуються однаковими математичними рівняннями, що значно полегшує їх вивчення

Математичне визначення періодичної функції таке: функцію  $f(t)$  називають періодичною з періодом  $T$ , якщо  $f(t+T) = f(t)$  за будь-яких значень змінної  $t$ .

Дослідження коливань у техніці — надзвичайно важлива справа. Деякі коливання можна виявити лише за допомогою спеціальних датчиків. Такими є, наприклад, коливання різних споруд, корпусів і деталей машин, літальних апаратів тощо. Датчики сприймають коливання, перетворюють їх переважно на електричні сигнали, які реєструються вимірювальними приладами, електронними осцилографами та іншими пристроями.

Найпростішими є гармонічні коливання.

Найпростішими механічними коливаннями є так звані гармонічні коливання. **Гармонічними вважають коливання**, за яких зміни фізичних величин з часом відбуваються за законами змін синуса або косинуса. Їх вивчення дає змогу досліджувати й складніші коливання, оскільки останні в багатьох випадках можна вважати такими, що складаються з певної кількості простих гармонічних коливань.

**Зміщення  $x$**  – це фізична величина, що дорівнює відстані, на яку тіло в ході коливання відхилилося від положення рівноваги в даний момент часу.

**Амплітуда коливань  $A$**  - це фізична величина, яка дорівнює максимальному зміщенню:  $A = x_{\max}$ . Одиниця зміщення тіл – метр.

**Період коливань  $T$**  – це фізична величина, що дорівнює мінімальному проміжку часу, за який тіло повертається в початкове положення (здійснює одне

повне коливання):  $T = \frac{t}{N}$ .  $[T] = [с]$

**Частота коливань  $\nu$**  - це фізична величина, яка дорівнює кількості  $N$  повних коливань, здійснюваних тілом за одиницю часу:

$$\nu = \frac{N}{t}$$

$$[\nu] = [\Gamma\mathcal{U}]$$

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{або} \quad T = \frac{1}{\nu}$$

**Циклічна частота  $\omega$**  - це фізична величина, яка дорівнює кількості повних коливань, здійснюваних тілом за  $2\pi$  секунд:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} \quad [\omega] = \left[ \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right] = [\text{с}^{-1}]$$

Координата  $x$  тіла під час рівномірного руху тіла по колу змінюється за законом  $x = r \cos \varphi$ , де  $r$  – радіус кола, що його описує коло;  $\varphi$  - кут повороту радіус вектора.

Рівняння координати  $x$  тіла кульки можна записати в такому вигляді:

$$x = r \cos \frac{2\pi}{T} t$$

Оскільки  $r = A$ ,  $\frac{2\pi}{T} = \omega$ , маємо рівняння коливань:

$$x = A \cos \omega t$$

**!!** Коливання, під час яких координата тіла, що коливається, змінюється з часом за законом косинуса (або синуса), називають **гармонічними коливаннями**.

**Фаза коливань  $\varphi$**  - це фізична величина, яка характеризує стан коливальної системи в довільний момент часу.

$$\varphi = \omega t = \frac{2\pi}{T} t$$

$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ , де  $\omega t + \varphi_0$  - фаза коливань;  $\varphi_0$  - початкова фаза коливань – фаза коливань у момент початку відліку часу  $t=0 \Rightarrow (\varphi = \omega t + \varphi_0 = \varphi_0)$

$$x = A \sin \omega t$$

Графік залежності координати тіла, що коливається, від часу називають графіком коливань.



Мал. 2.3. Графік гармонічних коливань

## 2. Математичний маятник. Період коливань математичного маятника.

Пружинний маятник та період його коливань. Перетворення енергії під час коливань математичної пружинної маятників. Вимушені коливання. Резонанс. Енергія коливального руху. (Автоколивання.)

Математичним маятником називається ідеальна коливальна система без тертя, яка складається з невагомої та нерозтяжної ниті, на якій підвішена матеріальна точка.

Період коливань математичного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Період коливань вантажу на пружині:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Період математичного маятника не залежить від маси вантажу, а період коливань як математичного, так і пружинного маятника не залежить від амплітуди. Це важлива загальна властивість гармонічних коливань. Вона використовується, наприклад, в механічних часах.

Під час коливань маятника його механічна енергія є сумою потенціальної і кінетичної енергій кульки. Потенціальна енергія визначається висотою піднімання кульки над найнижчим рівнем, який відповідає положенню рівноваги.

Повна механічна енергія під час коливань математичного маятника дорівнює сумі кінетичної і потенціальної енергій. І кінетична, і потенціальна енергії періодично змінюються в часі, причому в ті моменти, коли кінетична енергія максимальна, потенціальна енергія перетворюється на нуль, і навпаки. Однак повна механічна енергія замкнутої коливальної системи, в якій відсутні сили опору, залишається згідно з законом збереження енергії незмінною.

Як нам відомо, вільні коливання затухають за певний час. Але найбільш важливе значення мають незатухаючі коливання, — ті, які можуть тривати необмежено довго. Найпростіший спосіб збудження незатухаючих коливань полягає в тому, що на систему впливають зовнішніми періодичними силами. Такі коливання називаються **вимушеними**.

Робота зовнішньої сили над системою забезпечує приплив енергії до системи ззовні. Приплив енергії не дає коливань згаснути, незважаючи на дію сил тертя. Особливий інтерес представляють вимушені коливання в системі, здатної здійснювати майже вільні коливання. З цим випадком знайомі всі, кому доводилося розгойдувати дитину на гойдалках. Гойдалка — це маятник, тобто коливальна система з певною власною частотою. Відхилити гойдалку на більший кут від положення рівноваги з допомогою постійної в часі невеликої сили неможливо. Не вдається розгойдати гойдалку і в тому випадку, якщо її безладно підштовхувати в різні сторони. Однак, якщо почати в правильному ритмі підштовхувати гойдалку вперед кожен раз, коли вони вирівняється з нами, то можна і без великої напруги розкачати їх дуже сильно. Правда, для цього буде потрібно якийсь час. Кожен поштовх сам по собі може бути незначним. Після першого поштовху гойдалка буде здійснювати лише дуже малі коливання. Але якщо темп цих коливань і зовнішніх поштовхів один і той же, то другий поштовх буде своєчасним і підсилить дію першого. Третій посилить коливання ще більше і т. д. Відбудеться накопичення результатів дії окремих поштовхів, і амплітуда

коливань гойдалок стане великою. Між тим якщо окремі поштовхи сліднують один за одним невід, то дія буде знищуватися дією наступного, і помітного ефекту не буде. Ось ця можливість значного збільшення амплітуди коливань системи, здатної здійснювати майже вільні коливання, при співпаданні частоти зовнішньої періодичної сили з власною частотою коливальної системи і представляє особливий інтерес.

**Різке зростання амплітуди вимушених коливань при співпаданні частоти зміни зовнішньої сили, яка діє на систему, з частотою її вільних коливань, називається резонансом** (від латинського слова *resonans* — дає відгомін).

Чому виникає резонанс? Пояснити це явище можна з енергетичних позицій. При резонансі амплітуда вимушених коливань максимальна через те, що створюються найбільш сприятливі умови для передачі енергії від зовнішнього джерела періодичної сили до системи. Зовнішня сила при резонансі діє в такт з вільними коливаннями. Протягом усього періоду її напрямок співпадає з напрямком швидкості коливного тіла. Тому протягом всього періоду ця сила робить тільки додатну роботу. При усталених коливаннях додатна робота зовнішньої сили дорівнює за модулем від'ємній роботі сили опору. Якщо частота зовнішньої сили не дорівнює власній частоті коливань системи, то зовнішня сила лише протягом частини періоду робить додатну роботу. Протягом іншої частини періоду напрям сили протилежно напрямку швидкості, і робота зовнішньої сили буде від'ємною. В цілому робота зовнішньої сили за період невелика і відповідно невелика і амплітуда сталих коливань. Істотний вплив на резонанс надає тертя в системі. При резонансі додатна робота зовнішньої сили цілком йде на покриття витрат енергії за рахунок від'ємної роботи сили опору. Тому чим менше коефіцієнт тертя, тим більше амплітуда сталих коливань.

Зміна амплітуди вимушених коливань в залежності від частоти при різних коефіцієнтах тертя та однієї і тієї ж амплітуди зовнішньої сили зображено на рисунку 3.14. Кривій 1 відповідає мінімальне тертя, а кривій 3 — максимальне. На цьому малюнку добре видно, що зростання амплітуди вимушених коливань при резонансі виражено тим виразніше, чим менше тертя в системі. При малому терті резонанс «гострий», а при великому «тупий». Якщо частота коливань далека від резонансної, то амплітуда коливань мала і майже не залежить від сили опору в системі. В системі з малим тертям амплітуда коливань при резонансі може бути дуже великою навіть у тому випадку, коли зовнішня сила мала. Але більша амплітуда встановлюється тільки через тривалий час після початку дії зовнішньої сили. В відповідності з законом збереження енергії викликати в системі коливання з великою амплітудою, а отже, надати системі велику енергію невеликою зовнішньою силою можна тільки за тривалий час. Якщо тертя велике, то амплітуда коливань буде невеликою, і для встановлення коливань не буде потрібно багато часу.