

Тема. Коливання та хвилі

Механічні коливання і хвилі

Б.11.4.1 Механічні коливання.

1. Важлива особливість коливальних рухів – їх періодичність, тобто точна або наближена повторюваність руху тіл через рівні інтервали часу.

2. Мінімальний інтервал часу, через який відбувається повторення руху тіла, тобто тіло здійснює повне коливання, називають періодом коливань T .

3. Кількість повних коливань, здійснених за одиницю часу називають частотою коливань ν .

Частота коливань – величина обернена до періоду:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

4. Циклічна частота визначає кількість повних коливань, які відбуваються за 2π секунд:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu = \frac{2 \cdot \pi}{T}.$$

5. Пристрої, в яких можуть здійснюватися коливання, називають коливальними системами.

Б.11.4.2 Вільні та вимушені коливання

1. У коливальній системі, виведеній з положення рівноваги і залишеній саму на себе, під дією внутрішніх сил, виникають вільні коливання.

2. Коливання під дією зовнішніх сил, які періодично змінюються, називають вимушеними коливаннями.

3. Умови виникнення вільних механічних коливань:

А) Сили, які діють на тіло, або хоча б одна з них, мають залежити від координат. В одному певному положенні тіла у просторі, яке називають положенням рівноваги, рівнодійна всіх сил, що діють на тіло, має дорівнювати нулю. Якщо тіло вивести з положення рівноваги, то рівнодійна всіх сил не повинна дорівнювати нулю і бути напрямленою до положення рівноваги.

Б) Сили тертя в коливальній системі мають бути мізерно малими.

Б.11.4.3 Гармонічні коливання

1. Періодичні зміни фізичної величини залежно від часу, які відбуваються за законом синуса або косинуса, називають гармонічними коливаннями.

2. Важливою характеристикою коливального руху є амплітуда.

Амплітудою гармонічних коливань називають модуль найбільшого зміщення

тіла (коливальної системи) від положення рівноваги.

3. У гармонічних коливаннях координати коливного тіла, його швидкість і прискорення змінюються гармонічно:

$$x = x_0 \cdot \sin \omega \cdot t \quad v = v_0 \cdot \cos \omega \cdot t \quad \text{або} \quad v = \omega \cdot x_0 \cdot \cos \omega \cdot t$$

$$a = -a_0 \cdot \sin \omega \cdot t \quad \text{або} \quad a = -\omega^2 \cdot x_0 \cdot \sin \omega \cdot t.$$

4. ω – це число коливань тіла за 2π секунд. Її називають циклічною (або круговою) частотою.

Частоту вільних коливань називають власною частотою коливальної системи.

5. Для побудови графіків коливань на горизонтальній осі в обраному масштабі відкладають час або пропорційне до нього значення ωt , виражене в радіанах, а на вертикальній осі – значення зміщення, координати, швидкості, прискорення тощо.

Б.11.4.4 Фаза коливань

1. Аргумент, що стоїть під знаком синуса чи косинуса, називають фазою коливань, які описуються цими функціями:

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

2. Відношення $\frac{t}{T}$ показує, яка частина періоду минула з моменту початку коливань. Будь-якому значенню часу, вираженому в частках періоду, відповідає значення фази, виражене в радіанах.

3. Для визначення різниці фаз двох коливань обидва ці коливання слід виразити через одну й ту саму тригонометричну функцію.

4. Гармонічне коливання з довільною фазою описується рівняннями:

$$x = x_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad x = x_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

де $(\omega t + \varphi_0)$ – фаза коливання, а φ_0 – початкова фаза, яка характеризує стан коливальної системи в початковий момент часу (якщо $t = 0$).

Б.11.4.5 Математичний маятник

1. Математичний маятник являє собою матеріальну точку, підвішену на не розтяжній невагомій нитці.

2. Рівняння руху матеріальної точки математичного маятника:

$$a = -\frac{g}{l} \cdot S,$$

де l – довжина нитки маятника, S – відхилення від положення рівноваги.

3. Період коливань математичного маятника обчислюється за формулою:

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

Він залежить лише від прискорення сили тяжіння в даному місці Землі та від довжини маятника.

Період коливань математичного маятника не залежить від амплітуди коливань і маси матеріальної точки.

4. Математичний маятник – це модель маятника. Підвішена на довгій тонкій нитці маленька куля поводить себе практично так само, як і математичний маятник.

Б.11.4.6 Перетворення енергії у гармонічних коливаннях

1. Для того щоб коливальна система здійснювала коливання їй слід надати певної енергії.

2. В крайніх положеннях коливальна система має максимальну потенціальну енергію, а її кінетична енергія дорівнює нулю. В момент проходження положення рівноваги максимальне значення має кінетична енергія, а потенціальна енергія дорівнює нулю.

3. І потенціальна і кінетична енергії періодично змінюються у часі. Однак повна механічна енергія замкнутої коливальної системи, в якій відсутні сили опору, залишається згідно з законом збереження енергії незмінною.

4. Повна механічна енергія під час коливань тіла на пружині дорівнює:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x_0^2.$$

Отже повна механічна енергія в коливальному русі прямо пропорційна квадрату амплітуди коливань.

5. Реальні вільні коливання внаслідок дії сил тертя є затухаючими. Механічна енергія перетворюється у внутрішню енергію.

Б.11.4.7 Вимушені коливання

1. Для того, щоб коливання були незатухаючими при наявності сил тертя слід втрати механічної енергії поповнювати від зовнішнього джерела.

Одним з видів таких незатухаючих коливань є вимушені коливання, що здійснюються під дією зовнішньої сили, яка періодично змінюється з часом.

2. Якщо на систему, здатну здійснювати вільні коливання, діє зовнішня сила $F = F_0 \cdot \sin \omega t$, то через короткий час рух системи стає гармонічним з частотою, яка дорівнює частоті змущуючої сили: $x = x_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$.

3. Амплітуда зміщення x_0 залежить від ω і F_0 , а фазовий зсув φ – від ω .

Б.11.4.8 Резонанс

1. Максимальна амплітуда вимушених коливань буде при частоті, яка збігається

з власною частотою коливальної системи.

Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань у випадку, коли частота зміни зовнішньої сили, яка діє на систему, збігається з частотою вільних коливань, називається резонансом, а відповідна частота – резонансною частотою.

2. Резонанс спостерігається в коливальній системі, в якій можуть виникати вільні коливання.

3. Під час резонансу зовнішня сила співпадає за напрямом із швидкістю. Внаслідок цього зовнішня сила весь час сприяє внутрішній повертаючій силі, що виникає в системі, у поверненні системи до положення рівноваги. Зовнішня сила виконує лише додатну роботу.

4. Амплітуда вимушених коливань під час резонансу залежить не лише від значення зовнішньої змушуючої сили, а й від тертя в коливальній системі.

Чим менше тертя в коливальній системі, тим більшою буде амплітуда вимушених коливань для однієї і тієї самої зовнішньої сили.

Б.11.4.10 Механічні хвилі

1. Процес поширення коливань у просторі з часом називають хвилею.

Механічні хвилі – це хвилі, які поширюються лише в речовині.

2. Хвиля – це коливання, які під час свого поширення не переносять з собою речовини.

3. Джерелом поширення хвильового імпульсу є збудження, а його поширення зумовлене силами взаємодії між сусідніми частинами середовища.

4. Якщо джерело рухається синусоїдально, здійснюючи гармонічні коливання, то й хвиля, у випадку пружного середовища, матиме форму синусоїди як у просторі, так і в часі.

5. Відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду коливань частинок середовища, називається довжиною хвилі.

6. Синусоїдальні хвилі характеризуються частотою хвилі, під якою розуміють частоту коливань частинок середовища.

7. Швидкістю хвилі називають швидкість, з якою поширюються коливання в середовищі:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu,$$

де λ – довжина хвилі.

8. Хвилі, в яких частини середовища коливаються в напрямі перпендикулярному до руху самої хвилі, називаються поперечними.

Вони спостерігаються в твердих тілах і на поверхні рідини.

Хвилі, в яких частини середовища коливаються в тому самому напрямі, в

якому поширюється хвиля, називаються повздовжніми.

Вони спостерігаються в будь-якому пружному середовищі.

9. Поширення коливань супроводжується передаванням енергії коливань від однієї точки середовища до іншої.

Б.11.4.11 Звукові хвилі

1. Звукові хвилі в середовищі створюються тілом, частота коливань якого лежить в межах від 16 – 20 до 20000Гц. Ця хвиля сприймається органами слуху людини.

Пружні хвилі з частотою, нижчою за 16Гц, називають інфразвуком.

Звукові хвилі з частотами, що перевищують 20000Гц, називають ультразвуком.

2. Обов'язковою умовою для виникнення і поширення звукових хвиль є наявність пружного середовища.

3. Звукові хвилі поширюються із скінченною швидкістю, яка є неоднаковою в різних середовищах і для різних умов.

4. Звукові коливання, які відбуваються за гармонічним законом, сприймаються людиною як певний музикальний тон. Коливання високої частоти сприймаються як звуки високого тону, низької частоти – як звуки низького тону.

5. Голосність звуку залежить від його інтенсивності, тобто визначається амплітудою коливань у звуковій хвилі.

6. Музикальні звуки з одним і тим самим основним тоном відрізняються тембром, який визначається наявністю обертонів – їх частотами й амплітудами.

7. Якщо частота власних коливань тіла збігається з частотою звукової хвилі, то умови для передавання енергії від звукової хвилі до тіла виявляються найкращими – тіло стає акустичним резонатором. Амплітуда вимушених коливань при цьому досягає максимального значення – спостерігається акустичний резонанс.

Електромагнітні коливання

Б.11.5.1 Вільні електромагнітні коливання в контурі

1. Одночасні періодичні зміни пов'язаних між собою електричного і магнітного полів мають назву електромагнітних коливань.

2. Найпростіше коло для утворення електромагнітних коливань має складатися з конденсатора та котушки. Таке коло називають коливальним контуром.

3. Якщо конденсатору коливального контуру надати заряд і тим вивести систему зі стану рівноваги, то в коливальному контурі виникнуть вільні коливання.

4. Частоту вільних коливань називають власною частотою коливального контуру.

5. Вільні коливання є затухаючими: амплітуда їх з часом зменшується. Причиною затухання є те, що енергія струму перетворюється у внутрішню енергію проводів і йде на випромінювання електромагнітних хвиль.

6. Під час електромагнітних коливань у коливальному контурі відбувається

перетворення енергії електричного поля в енергію магнітного поля і навпаки.

Якщо зарядити конденсатор до різниці потенціалів U_m то при відсутності струму в колі, енергія електричного поля, що зосереджене між обкладками конденсатора, дорівнює

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_m^2.$$

Під час розрядки конденсатора в колі виникає струм і енергія електричного поля поступово перетворюється в енергію магнітного поля котушки.

В момент, коли заряд конденсатора стає рівним нулю, струм у колі максимальний і енергія магнітного поля котушки стає рівною

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_m^2.$$

Після цього, внаслідок явища самоіндукції, струм продовжує йти у тому самому напрямі, конденсатор перезаряджається. Енергія магнітного поля поступово перетворюється в енергію електричного поля конденсатора.

В момент, коли струм в полі припиняється, енергія електричного поля стає знову рівною

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U_m^2.$$

Після цього процес відбувається в зворотному напрямі.

Б.11.5.2 Рівняння гармонічних коливань у контурі

1. В коливальному контурі, опір якого дорівнює нулю, відбуваються гармонічні електромагнітні коливання.

2. Під час гармонічних електромагнітних коливань заряд конденсатора змінюється за законом:

$$Q = Q_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi),$$

де Q_m – амплітуда коливань заряду конденсатора з циклічною частотою, що визначається за формулою:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}.$$

3. Усі величини і закономірності, встановлені для гармонічних коливань у механіці, зберігають свій зміст і в електромагнітних коливаннях. Зокрема, період коливань пов'язаний з циклічною частотою залежністю:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}.$$

Ця формула для періоду вільних електромагнітних коливань в ідеальному коливальному контурі названа формулою Томсона.

4. Аргумент косинуса в формулі, що відображає закон зміни заряду конденсатора, називається фазою.

Знання фази дає можливість обчислювати миттєве значення заряду конденсатора і визначає стан коливального процесу.

5. Під час гармонічних електромагнітних коливань в коливальному контурі сила струму та напруга на конденсаторі змінюються за законами:

$$i = I_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi + \frac{1}{2}\pi), \text{ де } I_m = \omega \cdot Q_m ;$$

$$u = U_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi), \text{ де } U_m = \frac{Q_m}{C}.$$

Коливання сили струму випереджають за фазою коливання заряду і напруги на $\frac{1}{2}\pi$, тобто коли сила струму досягає максимального значення I_m , заряд Q і напруга U перетворюються на нуль і навпаки.

Електромагнітні хвилі

Б.11.6.2 Електромагнітні хвилі

1. Поширення у просторі електромагнітного поля, в якому напруженість електричного та індукція магнітного полів змінюються періодично, називається електромагнітною хвилею.

2. Вектори напруженості $\vec{E}$ і магнітної індукції $\vec{B}$ в електромагнітній хвилі в будь-якій точці простору завжди взаємно перпендикулярні. Крім того, вони перпендикулярні й до напрямку поширення хвиль. Електромагнітні хвилі поперечні.

3. Вектори $\vec{E}$ і $\vec{B}$ коливаються в однаковій фазі.

4. Швидкість поширення електромагнітних хвиль дорівнює швидкості поширення світла у вакуумі.

Б.11.6.3 Утворення електромагнітних хвиль і їх властивості

1. Необхідною умовою утворення інтенсивних електромагнітних хвиль є висока частота електромагнітних коливань у провіднику.

2. Для збільшення інтенсивності випромінювання енергії коливальним контуром у простір слід зробити цей контур відкритим, забезпечивши його антеною і заземленням.

3. Щоб дістати інтенсивні електромагнітні хвилі, необхідно мати генератор незатухаючих коливань і випромінювач хвиль. Випромінювач має бути якимось чином зв'язаний з генератором, щоб електричні коливання від генератора передавалися до нього.

4. Приймання електромагнітних хвиль здійснюється за допомогою таких самих відкритих коливальних контурів, подібних до випромінювального контуру.

Для доброго приймання необхідно, щоб приймальний коливальний контур був настроєний у резонанс з передавальним контуром.

5. До властивостей електромагнітних хвиль відносяться: хвилі відбиваються провідником; кут відбивання електромагнітних хвиль дорівнює куту падіння; хвилі зазнають заломлення на межі діелектрика; хвилі поперечні.

Б.11.6.5 Принципи радіотелефонного зв'язку

1. Для здійснення радіотелефонної передачі на передавальній станції високочастотні коливання модулюють коливаннями низької частоти, а на приймальній станції з цих складних коливань виділяють коливання низької частоти.

2. При амплітудній модуляції амплітуду коливань електромагнітної хвилі змінюють за законом того звукового процесу, який передається разом з електромагнітною хвилею.

3. У місці приймання сигналів під впливом електромагнітної хвилі передавача в антені приймача збуджуються модульовані струми високої частоти, тотожні струмам в антені передавача, але слабші.

4. Для виділення з модульованих коливань низькочастотних звукових коливань їх пропускають через демодулятор.

5. Найпростіший демодулятор складається з діода і увімкненого до нього паралельного з'єднання конденсатора й телефону. За допомогою діода модульовані коливання випрямляються. Струми високої частоти проходять переважно через конденсатор, а низької – через телефон.

6. Найпростіший детекторний радіоприймач є демодулятором коливань з під'єднаним до нього паралельно коливальним контуром.

Електромагнітні хвилі створюють у коливальному контурі високочастотні модульовані коливання, які за допомогою телефону, зашунтованого конденсатором, розділяються на коливання низької і високої частоти.