

Фізика 10

Урок 42 Резонанс

Мета уроку:

Навчальна: Формувати знання учнів про характерні риси вимушених коливань системи, умову виникнення резонансу, залежність виду резонансних кривих від сили тертя в системі; вмінь і навичок розв'язувати задачі на визначення параметрів, які характеризують стан гармонічних коливань системи.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: урок засвоєння нових знань.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

1750 р. біля міста Анже (Франція) ланцюговим мостом завдовжки 102 м ішли в ногу солдати. У результаті розмах коливань мосту збільшився настільки, що ланцюги обірвалися і міст упав у річку.

У 1830 р. з аналогічної причини зруйнувався підвісний міст у м. Манчестер (Велика Британія).

У 1940 р. через пориви вітру зруйнувався Такомський міст у США.

Ці події – класичні приклади прояву резонансу в коливальних системах. Що ж таке резонанс? Коли його прояви корисні, а коли шкідливі?

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Резонанс

Якщо коливальну систему вивести з положення рівноваги, то в ній виникнуть вільні коливання, *частота яких не залежить від амплітуди.*

Частота вільних коливань – це власна частота коливань системи.

Через втрати енергії *вільні коливання є згасаючими.*

Проблемне питання

- Що необхідно зробити, щоб коливання не згасали?

Необхідно, щоб у систему періодично *надходила енергія ззовні.*

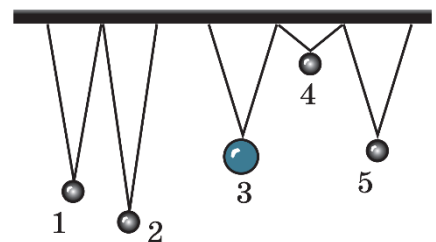
- Як потрібно розгойдувати гойдалку, щоб її амплітуда збільшувалася?

Потрібно діяти в *такт* із власними коливаннями гойдалки. Амплітуда коливань швидко збільшиться, якщо частота зовнішньої змінної сили збігатиметься з частотою вільних коливань гойдалки.

Резонанс – це явище різкого збільшення амплітуди вимушених коливань, якщо частота зовнішньої сили, що періодично змінюється, збігається з власною частотою коливань системи.

Проведемо дослід

Підвісимо на тонку рейку чотири легкі кульки й одну важку – отримаємо п'ять маятників. Виведемо важку кульку з положення рівноваги – вона почне коливатися. Коливання важкого маятника передадуться рейці, яка почне здійснювати вимушені коливання з тією самою частотою і діятиме на інші маятники з деякою силою, що періодично змінюється. У результаті вони теж розпочнуть коливальний рух. При цьому



найсильніше розгойдається маятник 5, довжина якого (а отже, і власна частота коливань) дорівнює довжині важкого маятника 3.

Проблемне питання

- Яка причина такої поведінки маятників?

Коли частота змінення зовнішньої сили не збігається з власною частотою коливань маятника ($\nu \neq \nu_0$) ($\nu \neq \nu_0$), зовнішня сила то «підштовхує» маятник (виконує додатну роботу), то заважає його рухові (виконує від'ємну роботу). У результаті робота зовнішньої сили є незначною, тому невеликою є й амплітуда усталених коливань.

Якщо частота змінення зовнішньої сили збігається з власною частотою коливань маятника ($\nu = \nu_0$) ($\nu = \nu_0$), то протягом усього часу коливань напрямок зовнішньої сили збігається з напрямком руху маятника, тому робота зовнішньої сили весь час додатна. Енергія системи швидко збільшується – швидко зростає й амплітуда коливань. Через тертя коливання з часом усталюються, і їх енергія припиняє зростати.

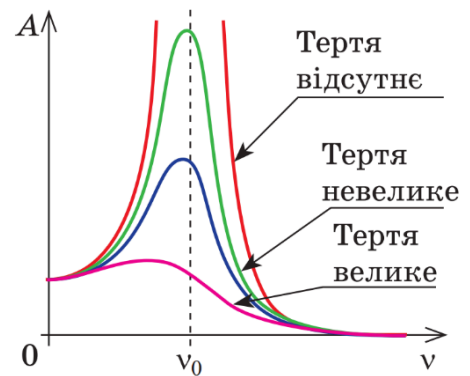
Явище резонансу зручно описувати за допомогою графіків

Резонансна крива – це графік залежності амплітуди вимушених коливань від частоти змінення зовнішньої сили.

Аналізуючи графіки, можна дійти висновків:

1) найбільша амплітуда коливань досягається тоді, коли частота зовнішньої змінної сили збігається з власною частотою коливань системи ($\nu = \nu_0$) ($\nu = \nu_0$);

2) чим більша в системі сила тертя, тим меншим є пік резонансної кривої, тобто тим слабше виражений резонанс.



2. Застосування резонансу

Проблемне питання

- Як боротися з проявами резонансу?

Зовнішні періодичні впливи на різні об'єкти можуть спричинити явище резонансу й призвести до руйнувань.

Способи боротьби з резонансом:

1) Можна збільшити силу тертя, однак це призведе до небажаних втрат енергії.
2) Змінити власну частоту коливань системи або частоту зовнішньої змінної сили. (Щоб вирішити зазначену проблему з літаками, просто зробили важчими їх крила: частота власних коливань крил змінилась і припинила збігатися з частотою коливань зовнішньої сили. Для потягів розраховують небажану швидкість руху; по мостах забороняють ходити стройовим кроком; споруджуючи будинки, враховують частоту коливань земної кори в разі землетрусу)

Проблемне питання

- Де застосовують резонанс?

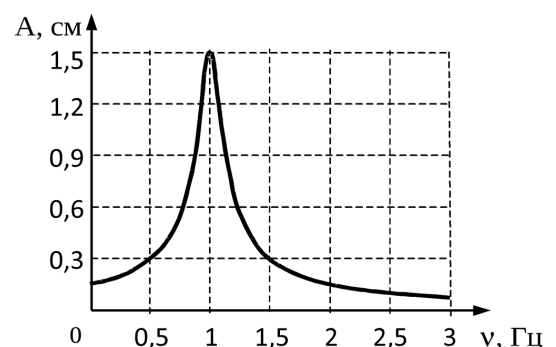
Завдяки резонансу легко розгойдати гойдалку або виштовхнути застряглий автомобіль.

Резонанс використовують у роботі вібротомашин у гірничодобувній промисловості, застосовують в акустиці, медицині, для приймання та передавання радіосигналів.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. На рисунку зображено залежність амплітуди вимушених коливань маятника від частоти зовнішньої сили (резонансна крива). Визначте резонансну частоту і амплітуду коливань цього маятника при резонансі.

Резонансна частота: $\nu_{\text{рез}} = 1 \text{ Гц}$ $\nu_{\text{рез}} = 1 \text{ Гц}$



Амплітуда коливань: $A = 1,5 \text{ см}$ $A = 1,5 \text{ см}$

2. На кінець пружини горизонтального маятника, вантаж якого має масу 1 кг, діє змінна сила, частота коливань якої дорівнює 16 Гц. Чи буде при цьому спостерігатися резонанс, якщо жорсткість пружини 400 Н/м.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$\nu = 16 \text{ Гц}$$

$$k = 400 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$\nu_0 = ?$$

Розв'язання

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \nu_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$[\nu_0] = \sqrt{\frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}}{\text{кг} \cdot \text{м}}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц}$$

$$\nu_0 = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{400}{1}} \approx 3,18 \text{ (Гц)}$$

Так як частота зовнішньої сили не дорівнює власній частоті системи ($\nu \neq \nu_0$) ($\nu \neq \nu_0$), явище резонансу спостерігатися не буде.

Відповідь: явище резонансу спостерігатися не буде.

3. Маленька кулька підвішена на нитці довжиною 1 м до стелі вагона. При якій швидкості вагона кулька буде особливою сильно коливатися під дією ударів коліс об стики рейок? Довжина рейки 12,5 м.

Дано:

$$l_n = 1 \text{ м}$$

$$l_p = 12,5 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$v = ?$$

Розв'язання

Кулька здійснює вимушені коливання з частотою ν , яка рівна частоті ударів коліс об стики рейок:

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{l_p} = \frac{v}{l_p}$$

Якщо розміри кульки малі в порівнянні з довжиною нитки, то систему можна вважати математичним маятником, власна частота коливань якого:

$$\nu_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l_n}}$$

Амплітуда вимушених незатухаючих коливань максимальна в разі резонансу, тобто коли $\nu = \nu_0$

$$\frac{v}{l_p} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l_n}}$$

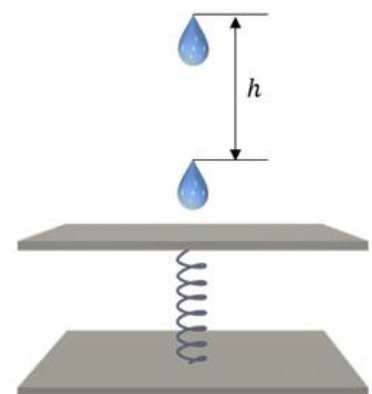
$$v = \frac{l_p}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l_n}} \quad [v] = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{м}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = \frac{12,5}{2 \cdot 3,14} \cdot \sqrt{\frac{10}{1}} \approx 6,3 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Відповідь: швидкість вагона, при якій коливання кульки будуть максимальні, дорівнює $v \approx 6,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

4. Краплі води падають через однакові проміжки часу з деякої висоти на пластину, закріплену на пружині. Частота власних коливань пластини дорівнює 6,9 Гц. Відомо, що амплітуда коливань пластини при цьому виявляється максимальною. Знайдіть відстань між краплею, яка відривається та найближчою до неї падаючою краплею.

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$



Дано: $v_0 = 6,9 \text{ Гц}$ $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	Розв'язання Амплітуда вимушених незатухаючих коливань максимальна в разі резонансу, тобто коли $\nu = \nu_0$
$h - ?$	$t = T_0 = \frac{1}{\nu_0} \quad t = T_0 = \frac{1}{\nu_0}$ Час, через який падають краплі: $h = \frac{gt^2}{2} = \frac{g}{2} \left(\frac{1}{\nu_0} \right)^2 = \frac{g}{2\nu_0^2}$ $[h] = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{Гц}^2} = \frac{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\frac{1}{\text{с}^2}} = \text{м} \quad h = \frac{9,8}{2 \cdot (6,9)^2} \approx 0,1 \text{ (м)}$ Відповідь: $h \approx 10 \text{ см}$

5. Вагон масою 80 т має чотири ресори, жорсткістю 200 кН/м кожна. Через якийсь проміжок часу повинні повторюватися поштовхи від стиків рейок, щоб вагон почало сильно розгойдувати?

Дано: $m = 80 \text{ т} = 8 \cdot 10^4 \text{ кг}$ $k_1 = 200 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$ $= 2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ $n = 4$	Розв'язання $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ Жорсткість n пружин з'єднаних паралельно кожна з яких має жорсткість k_1 : $k = nk_1$
$T - ?$	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{nk_1}} \quad [T] = \sqrt{\frac{\text{кг}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = \text{с}$ $T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 10^4}{4 \cdot 2 \cdot 10^5}} \approx 2 \text{ (с)}$ Відповідь: $T \approx 2 \text{ с}$

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Дайте означення резонансу. Наведіть приклади його прояву.
2. Що таке резонансна крива? Які висновки можна зробити внаслідок її аналізу?
3. Як боротися з небажаними проявами резонансу? Де застосовують резонанс?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 21, Вправа № 21 (1, 2)