

§ 21. РЕЗОНАНС



1750 р. біля міста Анже (Франція) ланцюговим мостом завдовжки 102 м ішли в ногу солдати. У результаті розмах коливаний 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?

1 Чому для підтримування коливаний потрібно постачати енергію

Якщо коливальну систему вивести з положення рівноваги, то в ній виникнуть вільні коливання, частота яких не залежить від амплітуди. *Частоту вільних коливаний називають власною частотою коливаний системи.* Через втрати енергії *вільні коливання є затухаючими.* Щоб коливання не затухали, необхідно, щоб у систему періодично надходила енергія ззовні.

Наведемо приклад. Напевно, всі ви гойдалися на гойдалці. Коли ви були маленькими, вас розгойдували дорослі, пізніше ви навчилися розгойдуватися самі. Розгойдуючись на гойдалці (а гойдалка — це фізичний маятник), ви за рахунок роботи м'язів періодично передаєте коливальній системі «гойдалка» енергію.

Якщо енергії, яка надходить у систему, недостатньо для того, щоб відновити втрати на тертя, то амплітуда коливаний гойдалки зменшуватиметься доти, доки коливання усталяться. *Під час усталених коливаний втрати енергії системи дорівнюють енергії, яка надходить у систему* (у даному випадку — в результаті роботи ваших м'язів). Якщо ж енергії надходить більше, ніж витрачається на тертя, то амплітуда коливаний буде збільшуватись. Однак зі збільшенням амплітуди будуть збільшуватись і втрати енергії, тому через деякий час коливання знов усталяться — гойдалка знову буде коливатися з незмінною амплітудою, тільки більшою, ніж раніше.

Ви можете розгойдувати гойдалку й так: стати на землю й рухати гойдалку вперед-назад із частотою, що не дорівнює власній частоті коливаний гойдалки. Гойдалка буде коливатися, здійснюючи *вимушені коливання, частота яких дорівнює частоті змінення змушувальної сили* (сили пружності з боку ваших рук), проте навряд чи вам вистачить зусиль, щоб домогтися досить великої амплітуди коливаний.

2 У чому причина виникнення резонансу

Розгойдувати гойдалку, рухаючи її вперед-назад із довільною частотою, ви будете хіба що заради фізичного експерименту, адже ваш життєвий досвід підказує: потрібно діяти *в такт* із власними коливаннями гойдалки. Амплітуда коливаний швидко збільшиться, якщо частота зовнішньої змінної сили збігатиметься з частотою вільних коливаний гойдалки.

Явище різкого збільшення амплітуди вимушених коливаний, якщо частота зовнішньої сили, що періодично змінюється, збігається з власною частотою коливаний системи, називають **резонансом**.

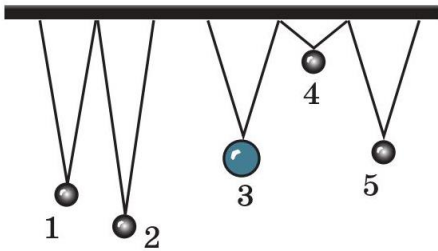


Рис. 21.1. Дослід із вивчення явища резонансу. Кулька 3 (найважча) і кулька 5 підвішені на нитках однакової довжини

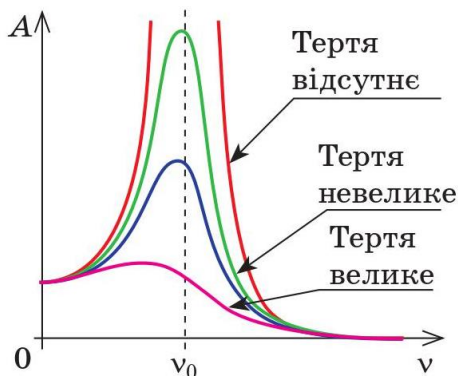


Рис. 21.2. Графіки залежності амплітуди A коливань від частоти ν зовнішньої змінної сили за різних сил тертя; ν_0 — власна частота коливань системи

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.

Графік залежності амплітуди вимушених коливань від частоти змінення зовнішньої сили називають **резонансною кривою**.

На рис. 21.2 подано резонансні криві за різних сил тертя. Аналізуючи графіки, можна дійти висновків: 1) найбільша амплітуда коливань досягається тоді, коли частота зовнішньої змінної сили збігається з власною частотою коливань системи ($\nu = \nu_0$); 2) чим більша в системі сила тертя, тим меншим є пік резонансної кривої, тобто тим слабше виражений резонанс.

3 Як боротися з проявами резонансу і де застосовують резонанс

Практично всі фізичні об'єкти здатні здійснювати вільні коливання. Зовнішні періодичні впливи на такі об'єкти можуть спричинити явище резонансу й призвести до руйнувань. На початку параграфа вже йшлося про випадки з руйнуванням мостів. Також відомі випадки руйнування літаків, коли амплітуда коливань крил літака різко збільшувалася через дію

Для спостереження явища резонансу проведемо дослід. Підвісимо на тонку рейку чотири легкі кульки й одну важку (рис. 21.1) — 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.

З'ясуємо причини такої поведінки маятників. Річ у тім, що, коли частота змінення зовнішньої сили не збігається з власною частотою коливань маятника ($\nu \neq \nu_0$), 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 ($\nu = \nu_0$), 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.

турбулентних потоків повітря. Під час руху потяга частота ударів коліс на стиках рейок іноді збігається з частотою вільних коливань вагона на ресорах, тоді вагон починає сильно розгойдуватись і виникає небезпека аварії.

Як запобігти шкідливим проявам резонансу? Проаналізувавши графіки на рис. 21.2, можна запропонувати збільшити силу тертя, однак це призведе до небажаних втрат енергії. Тому частіше застосовують інші способи — змінюють власну частоту коливань системи або частоту зовнішньої змінної сили. Так, 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, і т. д.

? Якщо нести відра з водою, то за деякої швидкості руху вода починає вихлюпуватися. Що потрібно зробити, щоб це припинити?

Явище резонансу може приносити й користь. Так, 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 тощо. Вивчаючи фізику, ви ще не раз зустрінетесь із застосуванням резонансу.



Підбиваємо підсумки

- Явище різкого збільшення амплітуди вимушених коливань, якщо частота зовнішньої сили, що періодично змінюється, збігається із власною частотою коливань системи, називають резонансом.
- Графік залежності амплітуди вимушених коливань від частоти зовнішньої змінної сили називають резонансною кривою. Чим більша в системі сила тертя, тим меншим є пік резонансної кривої, тобто тим слабше виражений резонанс.



Контрольні запитання

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?



Вправа № 21

1. Коли повз будинок проходить транспорт, шибки іноді дзеленчать. Чому?
2. До пружинного маятника масою 0,5 кг прикладено силу, що змінюється з частотою 10 Гц. Чи виникне резонанс, якщо жорсткість пружини 200 Н/м?
3. За якої мінімальної швидкості руху потяга виникне резонанс, якщо довжина залізничної рейки 25 м, а період власних коливань вагона — 1,25 с?
4. На рисунку подано резонансну криву пружинного маятника масою 1 кг. Визначте жорсткість пружини.
5. У вагоні потяга підвішено на нитці завдовжки 40 см невеликий тягарець. Якою є швидкість руху потяга в той момент, коли тягарець починає розгойдуватись особливо інтенсивно? Довжина залізничної рейки — 25 м.

