



DAO ĐỘNG CƯỜNG BỨC CỘNG HƯỞNG

Xét một vật thuộc một hệ có thể thực hiện dao động tắt dần, ví dụ vật nặng khối lượng m trong con lắc lò xo độ cứng k , đặt trong một môi trường có ma sát nhỏ.

Giả thiết ban đầu vật nặng ở vị trí cân bằng, nếu ta kích thích dao động (bằng cách đưa vật ra khỏi vị trí cân bằng rồi thả ra, chẳng hạn) rồi để cho vật dao động tự do thì dao động của vật sẽ tắt dần. Có thể coi gần đúng là vật dao động với tần số góc $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ gọi là tần số góc riêng của hệ.

1. Dao động cưỡng bức

Bây giờ vật nặng đứng yên ở vị trí cân bằng, ta tác dụng lên vật một ngoại lực F biến đổi điều hoà theo thời gian :

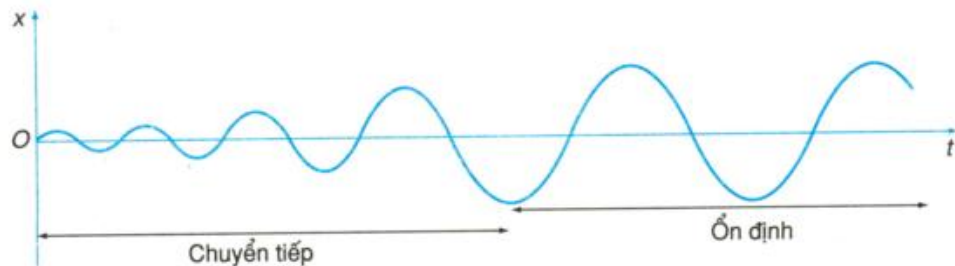
$$F = F_0 \cos \Omega t$$

và xét xem vật chuyển động như thế nào.

Người ta chứng minh được rằng, chuyển động của vật dưới tác dụng của ngoại lực nói trên bao gồm hai giai đoạn :

Giai đoạn chuyển tiếp trong đó dao động của hệ chưa ổn định, giá trị cực đại của li độ (biên độ) cứ tăng dần, cực đại sau lớn hơn cực đại trước. Sau đó, giá trị cực đại của li độ không thay đổi, đó là *giai đoạn ổn định*.

Giai đoạn ổn định kéo dài cho đến khi ngoại lực điều hoà thôi tác dụng. Xem đồ thị dao động trên Hình 11.1.



Hình 11.1

Dao động của vật trong giai đoạn ổn định gọi là *dao động cưỡng bức*. Lí thuyết và thí nghiệm chứng tỏ rằng :

- Dao động cưỡng bức là điều hoà (có dạng sin).
- Tần số góc của dao động cưỡng bức bằng tần số góc Ω của ngoại lực.
- Biên độ của dao động cưỡng bức tỉ lệ thuận với biên độ F_0 của ngoại lực và phụ thuộc vào tần số góc Ω của ngoại lực.

2. Cộng hưởng

Với một biên độ F_0 của ngoại lực đã cho, biên độ A của dao động cưỡng bức phụ thuộc vào tần số góc Ω của ngoại lực. Sự phụ thuộc đó được biểu diễn bởi một đường cong trên đồ thị của Hình 11.2.

Theo dõi đường biểu diễn, ta thấy rằng : *Giá trị cực đại của biên độ A của dao động cưỡng bức đạt được khi tần số góc của ngoại lực (gần đúng) bằng tần số góc riêng ω_0 của hệ dao động tắt dần.*

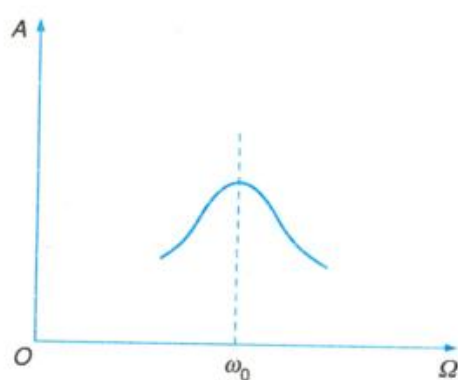
Khi biên độ A của dao động cưỡng bức đạt giá trị cực đại, người ta nói rằng có *hiện tượng cộng hưởng*.

Điều kiện để xảy ra cộng hưởng là $\Omega = \omega_0$ (gần đúng).

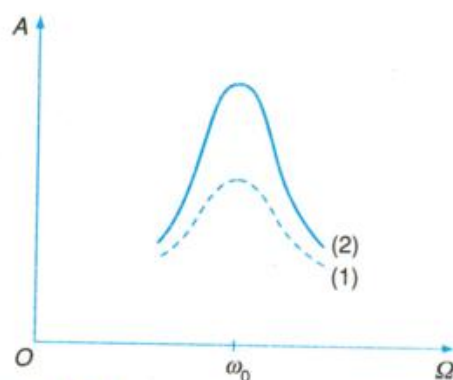
3. Ảnh hưởng của ma sát

Nếu ta vẽ lại đường biểu diễn sự phụ thuộc của biên độ A của dao động cưỡng bức trong trường hợp hệ dao động và ngoại lực giống như trên, chỉ khác là vật dao động trong một môi trường có lực cản (ma sát nhớt) nhỏ hơn thì sẽ được đường biểu diễn (2) vẽ ở Hình 11.3. Để so sánh ta vẽ lại đường (1) ở Hình 11.2 ứng với ma sát lớn hơn bằng đường chấm chấm.

C1 Hãy nêu tất cả các lực tác dụng lên vật trong dao động cưỡng bức.

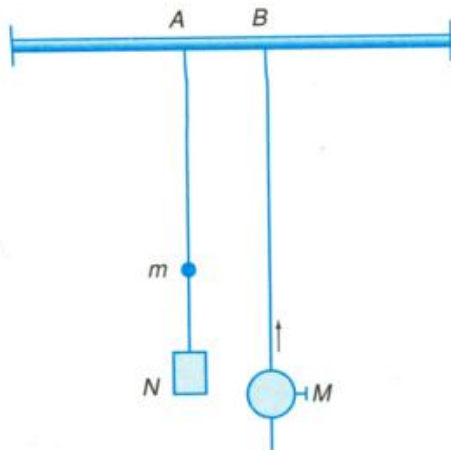


Hình 11.2 Đường biểu diễn A theo Ω .



Hình 11.3 Đường biểu diễn A theo Ω .

Đường (2) ứng với ma sát nhỏ hơn so với đường (1).



Hình 11.4 Thí nghiệm về dao động cưỡng bức.

Thí nghiệm về cộng hưởng

Có thể làm một thí nghiệm để kiểm tra những kết quả nêu ở trên (Hình 11.4). A là con lắc gồm một quả nặng khối lượng m gắn cố định vào một thanh kim loại mảnh. N là một tấm mỏng và nhẹ bằng nhựa có thể tháo lắp được. Tần số góc ω_0 của con lắc A khi chưa lắp N được xác định qua chu kỳ T_0 , trong đó $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$.

T_0 đo bằng đồng hồ bấm giây. B là một con lắc khác gồm một quả nặng có khối lượng $M \gg m$ di động được trên một thanh kim loại mỏng có chia độ. Dùng đồng hồ bấm giây xác định chu kỳ và suy ra tần số góc của con lắc B ứng với mỗi vị trí của M trên thanh kim loại.

Chúng ta treo hai con lắc A (chưa lắp N) và B ở hai điểm gần nhau bằng cách gắn hai thanh kim loại vào một sợi dây cao su dẹt, to bản, căng ngang, mặt

Từ sự so sánh, có thể rút ra kết luận : với cùng một ngoại lực tuần hoàn tác dụng, nếu ma sát giảm thì giá trị cực đại của biên độ tăng. Hiện tượng cộng hưởng rõ nét hơn.

4. Phân biệt dao động cưỡng bức với dao động duy trì

Dao động cưỡng bức là dao động xảy ra dưới tác dụng của ngoại lực tuần hoàn có tần số góc Ω bất kì. Sau giai đoạn chuyển tiếp thì *dao động cưỡng bức có tần số góc bằng tần số góc của ngoại lực*.

Dao động duy trì cũng xảy ra dưới tác dụng của ngoại lực, nhưng ở đây *ngoại lực được điều khiển để có tần số góc ω bằng tần số góc ω_0 của dao động tự do của hệ*.

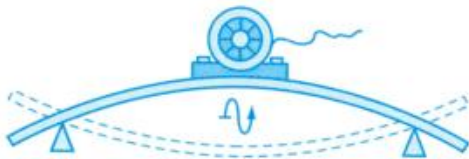
Dao động cưỡng bức khi cộng hưởng có điểm giống với dao động duy trì : cả hai đều có tần số góc gần đúng bằng tần số góc riêng ω_0 của hệ dao động. Tuy vậy, vẫn có sự khác nhau : dao động cưỡng bức xảy ra trong hệ dưới tác dụng của ngoại lực độc lập đối với hệ, còn dao động duy trì là dao động riêng của hệ được bù thêm năng lượng do một lực được điều khiển bởi chính dao động ấy qua một cơ cấu nào đó.

5. Ứng dụng hiện tượng cộng hưởng

Hiện tượng cộng hưởng có rất nhiều ứng dụng trong thực tế, ví dụ : chế tạo tần số kế, lên dây đàn...

Trong một số trường hợp, hiện tượng cộng hưởng có thể dẫn tới kết quả làm gãy, vỡ các vật bị dao động cưỡng bức. Một lực nhỏ, nhưng biến đổi tuần hoàn có thể làm gãy những máy móc thiết bị lớn rất chắc chắn. Khi chế tạo các máy móc, phải cố làm sao cho tần số riêng của mỗi bộ phận trong máy khác nhiều so với tần số biến đổi của các lực có thể tác dụng lên bộ phận ấy, hoặc làm cho dao động riêng tắt rất nhanh. Khi lắp đặt

máy cũng phải tránh để cho tần số rung do máy tạo nên trùng với tần số riêng của các vật gắn máy. Ví dụ : nếu một động cơ điện lắp trên một tấm ván, mà tần số quay của động cơ gần bằng tần số riêng của tấm ván thì ván có thể rung rất mạnh (Hình 11.5).



Hình 11.5 Động cơ điện lắp trên tấm ván.



a) Sơ đồ cấu tạo



b) Hình dạng bên ngoài

Hình 11.6 Tần số kế.

phẳng của dây thẳng đứng. Cho con lắc B dao động trong mặt phẳng vuông góc với hình vẽ. Dây cao su truyền cho con lắc A lực cưỡng bức do con lắc B tác dụng với tần số góc ω . Lực đó bắt A phải dao động và sau thời gian chuyển tiếp, A dao động cưỡng bức với tần số góc ω (chứ không phải với tần số góc riêng ω_0 của con lắc A).

Thay đổi vị trí của M dọc theo thanh kim loại có chia độ để thay đổi tần số góc ω của con lắc B , tức là của ngoại lực tác dụng lên con lắc A , ta có thể vẽ được đường biểu diễn có dạng như đường (2) ở Hình 11.3 và ta nghiệm lại rằng biên độ lớn nhất của A ứng với giá trị $\omega \approx \omega_0$ lúc ấy độ dài của hai con lắc xấp xỉ bằng nhau.

Bây giờ nếu lắp tấm N vào con lắc A để tăng ma sát của không khí và lặp lại thí nghiệm như trên thì sẽ thấy rằng với cùng một giá trị của ω , biên độ dao động của con lắc A nhỏ hơn so với lúc chưa lắp N (lúc ấy ma sát nhỏ hơn). Nếu vẽ đường biểu diễn biên độ A theo ω thì sẽ được một đường có dạng như đường (1) ở Hình 11.3.

Tần số kế

Tần số kế là một máy để đo tần số dòng điện xoay chiều. Tần số kế gồm có một loạt lá đàn hồi bằng thép có tần số dao động riêng khác nhau và đã biết, các lá này cùng gắn vào một thanh kim loại T (Hình 11.6). Dòng điện xoay chiều có tần số f mà ta muốn đo chạy qua một nam châm điện, nam châm điện tác dụng lực hút có tần số $2f$ lên các lá thép, làm cho các lá này dao động cưỡng bức. Lá nào có tần số riêng trùng với tần số $2f$ của lực thì sẽ có biên độ dao động lớn nhất. Dựa vào đó, ta biết được tần số của dòng điện.

CÂU HỎI

1. Thế nào là sự cộng hưởng ? Sự cộng hưởng có lợi hay có hại ?
2. Việc tạo nên dao động cưỡng bức khác với việc tạo nên dao động duy trì như thế nào ?

BÀI TẬP

1. Biên độ của dao động cưỡng bức không phụ thuộc
 - A. pha ban đầu của ngoại lực tuần hoàn tác dụng lên vật.
 - B. biên độ ngoại lực tuần hoàn tác dụng lên vật.
 - C. tần số ngoại lực tuần hoàn tác dụng lên vật.
 - D. hệ số lực cản (của ma sát nhớt) tác dụng lên vật dao động.
2. Một xe ô tô chạy trên đường, cứ cách 8 m lại có một cái mô nhỏ. Chu kì dao động tự do của khung xe trên các lò xo là 1,5 s. Xe chạy với vận tốc nào thì bị rung mạnh nhất ?

Em có biết ?

Một cây cầu bắc ngang sông Phô-tan-ka ở Xanh Pê-téc-bua (Nga) được thiết kế và xây dựng đủ vững chắc cho 300 người đồng thời đứng trên cầu. Năm 1906, có một trung đội bộ binh (36 người) đi đều bước qua cầu, cầu gãy !

Một cây cầu khác được xây dựng năm 1940 qua eo biển Ta-kô-ma (Mĩ) chịu được tải trọng của nhiều xe ô tô nặng đi qua. Sau bốn tháng, một cơn gió mạnh tạo nên áp lực biến đổi tuần hoàn theo thời gian trên mặt cầu. Biên độ của áp lực nhỏ hơn nhiều lần tải trọng mà cầu chịu được. Cầu đứng đưa và gãy !

Trong hai sự cố trên đã xảy ra hiện tượng cộng hưởng. Những lực biến đổi tuần hoàn có biên độ nhỏ nhưng có tần số bằng tần số dao động riêng của cầu đã gây nên hiệu quả lớn làm gãy cầu.

Sau sự cố thứ nhất, trong điều lệnh của quân đội Nga có đưa thêm vào nội dung "Bộ đội không đi đều bước khi qua cầu". Sau sự cố thứ hai, một số cầu treo ở Mĩ có cấu trúc giống cầu qua Ta-kô-ma được sửa chữa theo hướng thay đổi tần số dao động riêng để tránh xa tần số dao động mà gió bão có thể tạo ra trên cầu.