



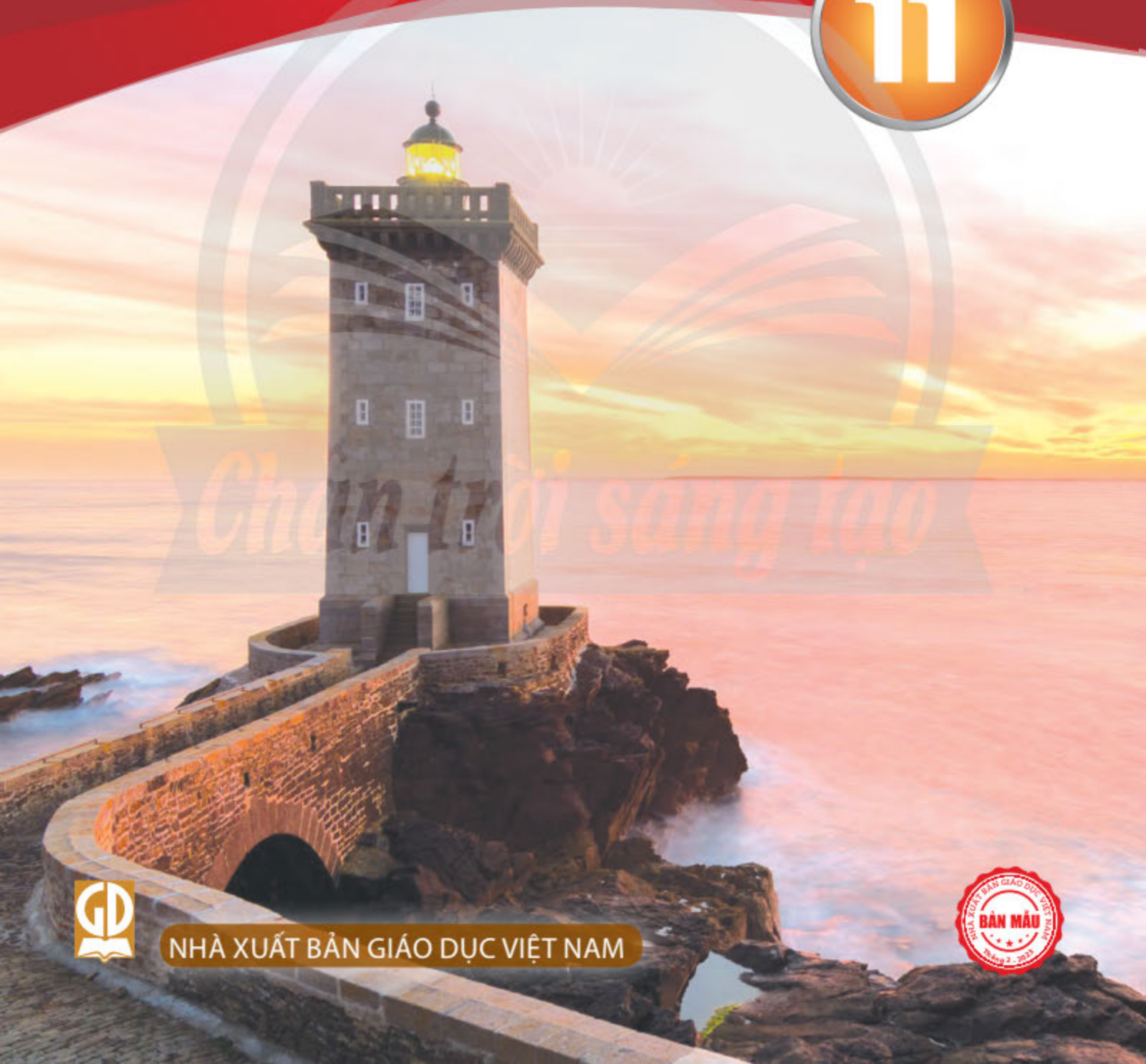
PHẠM NGUYỄN THÀNH VINH (Chủ biên)

TRẦN NGUYỄN NAM BÌNH – ĐOÀN HỒNG HÀ – BÙI QUANG HÂN – ĐỖ XUÂN HỘI

NGUYỄN NHƯ HUY – TRƯƠNG ĐẶNG HOÀI THU – TRẦN THỊ MỸ TRINH

# VẬT LÝ

11



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM



# HỘI ĐỒNG QUỐC GIA THẨM ĐỊNH SÁCH GIÁO KHOA

Môn: Vật lí – Lớp 11

| Họ và tên              | Chức vụ Hội đồng   |
|------------------------|--------------------|
| Bà ĐỖ HƯƠNG TRÀ        | Chủ tịch           |
| Ông NGUYỄN ANH THUẤN   | Phó Chủ tịch       |
| Ông NGUYỄN VĂN NGHIỆP  | Ủy viên,<br>Thư kí |
| Ông NGUYỄN QUANG LINH  | Ủy viên            |
| Ông MAI HOÀNG PHƯƠNG   | Ủy viên            |
| Ông PHÙNG VIỆT HẢI     | Ủy viên            |
| Bà NGÔ THỊ QUYÊN       | Ủy viên            |
| Ông PHẠM ĐÌNH MẶN      | Ủy viên            |
| Bà NGUYỄN VŨ ANH TUYẾT | Ủy viên            |

PHẠM NGUYỄN THÀNH VINH (Chủ biên)

TRẦN NGUYỄN NAM BÌNH – ĐOÀN HỒNG HÀ – BÙI QUANG HÂN – ĐỖ XUÂN HỘI

NGUYỄN NHƯ HUY – TRƯƠNG ĐẶNG HOÀI THU – TRẦN THỊ MỸ TRINH



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

# Hướng dẫn sử dụng sách

Trong mỗi bài học gồm các nội dung sau:

## MỞ ĐẦU



Khởi động, đặt vấn đề, gợi mở và tạo hứng thú vào bài học

## HÌNH THÀNH KIẾN THỨC MỚI



Hoạt động hình thành kiến thức mới qua việc quan sát hình ảnh, thí nghiệm hoặc trải nghiệm thực tế



Thảo luận để hình thành kiến thức mới



Tóm tắt kiến thức trọng tâm

## LUYỆN TẬP



Củng cố kiến thức và rèn luyện kỹ năng đã học

## VẬN DỤNG



Vận dụng kiến thức và kỹ năng đã học vào thực tiễn cuộc sống

## MỞ RỘNG



Giới thiệu thêm kiến thức và ứng dụng liên quan đến bài học, giúp các em tự học ở nhà

---

*Hãy bảo quản, giữ gìn sách giáo khoa để dành tặng các em học sinh lớp sau!*

---



# LỜI NÓI ĐẦU

Các em học sinh, quý thầy, cô giáo và phụ huynh thân mến!

Sách giáo khoa Vật lí 10 đã giúp các em trang bị những kiến thức nền tảng về động học, động lực học, năng lượng và công, động lượng, chuyển động tròn, sự biến dạng của vật rắn, là những đối tượng chính của Cơ học – một trong những nhánh nghiên cứu được xuất hiện sớm nhất trong lịch sử phát triển của vật lí. Đồng thời, các em cũng tìm hiểu về đối tượng, mục tiêu, phương pháp nghiên cứu và những ảnh hưởng sâu rộng của vật lí đến mọi lĩnh vực trong đời sống và kĩ thuật.

Sách giáo khoa **Vật lí 11** gồm 4 chương mang đến cho các em những hiểu biết về dao động, sự lan truyền của dao động để tạo ra sóng, điện tích – điện trường và dòng điện không đổi.

Mỗi chương được chia thành một số bài học, mỗi bài học gồm một chuỗi các hoạt động nhằm hình thành năng lực cho học sinh bao gồm: khởi động, khám phá, luyện tập, vận dụng, mở rộng và cuối mỗi bài học sẽ có hệ thống bài tập giúp học sinh rèn luyện và tự đánh giá kết quả học tập của mình. Học sinh có thể tra cứu nhanh các thuật ngữ khoa học liên quan đến bài học dựa vào bảng Giải thích thuật ngữ cuối sách.

Sách giáo khoa **Vật lí 11** thuộc bộ sách giáo khoa **Chân trời sáng tạo** của Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam được biên soạn dựa trên định hướng phát triển phẩm chất và năng lực người học và theo quan điểm chú trọng bản chất, ý nghĩa vật lí của các đối tượng, để cao tính thực tiễn; tạo điều kiện để học sinh phát triển tư duy khoa học dưới góc độ vật lí, khơi gợi sự ham thích trong học tập bộ môn và tăng cường khả năng vận dụng kiến thức, kĩ năng vật lí trong thực tiễn dưới sự giúp đỡ của giáo viên.

Rất mong nhận được sự góp ý của quý thầy, cô giáo, phụ huynh và các em học sinh để sách ngày càng hoàn thiện hơn.

Các tác giả

|   |            |
|---|------------|
| Hướng dẫn sử dụng sách .....  | 2          |
| Lời nói đầu .....   | 3          |
| Mục lục .....   | 4          |
| <b>Chương 1: DAO ĐỘNG</b> .....   | <b>5</b>   |
| Bài 1. Mô tả dao động .....   | 5          |
| Bài 2. Phương trình dao động điều hoà .....                               | 14         |
| Bài 3. Năng lượng trong dao động điều hoà .....                           | 22         |
| Bài 4. Dao động tắt dần và hiện tượng cộng hưởng .....                    | 26         |
| <b>Chương 2: SÓNG</b> .....   | <b>34</b>  |
| Bài 5. Sóng và sự truyền sóng .....                                       | 34         |
| Bài 6. Các đặc trưng vật lí của sóng .....                                | 39         |
| Bài 7. Sóng điện từ .....   | 46         |
| Bài 8. Giao thoa sóng .....   | 49         |
| Bài 9. Sóng dừng .....  | 56         |
| Bài 10. Thực hành đo tần số của sóng âm và tốc độ truyền âm .....         | 62         |
| <b>Chương 3: ĐIỆN TRƯỜNG</b> .....  | <b>68</b>  |
| Bài 11. Định luật Coulomb về tương tác tĩnh điện .....                    | 68         |
| Bài 12. Điện trường .....   | 73         |
| Bài 13. Điện thế và thế năng điện .....                                   | 80         |
| Bài 14. Tụ điện .....   | 87         |
| Bài 15. Năng lượng và ứng dụng của tụ điện .....                          | 93         |
| <b>Chương 4: DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI</b> .....                                | <b>98</b>  |
| Bài 16. Dòng điện. Cường độ dòng điện .....                               | 98         |
| Bài 17. Điện trở. Định luật Ohm .....                                     | 103        |
| Bài 18. Nguồn điện .....  | 108        |
| Bài 19. Năng lượng điện. Công suất điện .....                             | 113        |
| Bài 20. Thực hành xác định suất điện động và điện trở trong của pin ..... | 117        |
| <b>Giải thích thuật ngữ</b> .....   | <b>123</b> |



# DAO ĐỘNG

## Chương 1

### Bài 1

## MÔ TẢ DAO ĐỘNG

- Thí nghiệm đơn giản về dao động, một số ví dụ đơn giản về dao động tự do.
- Định nghĩa biên độ, chu kì, tần số, tần số góc, độ lệch pha.
- Mô tả dao động điều hoà.

**🔌** Sự dao động của các vật diễn ra phổ biến trong cuộc sống hằng ngày như: dao động của quả lắc đồng hồ (Hình 1.1a), dao động của cánh chim ruồi<sup>(\*)</sup> để giữ cho cơ thể bay tại chỗ trong không trung khi hút mật (Hình 1.1b). Vậy dao động có đặc điểm gì và được mô tả như thế nào?



a)



b)

▲ **Hình 1.1.** a) Đồng hồ quả lắc;  
b) Chim ruồi đang hút mật

## 1 KHÁI NIỆM DAO ĐỘNG TỰ DO

### ➡ Khái niệm dao động

Chuyển động của những vật trong Hình 1.1 (quả lắc, cánh chim) có điểm chung là sự chuyển động có tính lặp lại và có giới hạn trong không gian. Những chuyển động như vậy được gọi là **dao động cơ học**. Một số vật thực hiện dao động cơ học quanh một vị trí đặc biệt được gọi là **vị trí cân bằng**.



Dao động cơ học là sự chuyển động có giới hạn trong không gian của một vật quanh một vị trí xác định. Vị trí đó gọi là vị trí cân bằng.

Dao động rất phổ biến trong tự nhiên và khoa học kĩ thuật. Trong điện và từ học cũng có hiện tượng dao động. Dòng điện được sử dụng trong sinh hoạt hằng ngày là dao động điện từ.



1. Từ một số dụng cụ đơn giản như: lò xo nhẹ, dây nhẹ không dẫn, vật nặng và giá đỡ.

a) Em hãy thực hiện hai thí nghiệm sau:

- Cố định một đầu của lò xo, gắn vật nặng vào đầu còn lại của lò xo như Hình 1.2a. Kéo vật nặng xuống một đoạn theo phương thẳng đứng và buông nhẹ.

- Cố định một đầu của dây nhẹ không dẫn, gắn vật nặng vào đầu còn lại của dây. Kéo vật nặng để dây treo lệch một góc xác định và buông nhẹ.

b) Quan sát và mô tả chuyển động của các vật, nêu điểm giống nhau về chuyển động của chúng.

<sup>(\*)</sup> Chim ruồi là loài chim có thân hình bé nhỏ, có khả năng bay cố định một chỗ trong không trung hoặc bay giết lùi.

Dao động mà trạng thái chuyển động của vật (vị trí và vận tốc) được lặp lại như cũ sau những khoảng thời gian bằng nhau được gọi là **dao động tuần hoàn**, ví dụ: dao động của quả lắc đồng hồ (Hình 1.1a).

### Dao động tự do

Xét các hệ thực hiện dao động: con lắc lò xo gồm vật nặng được gắn vào một đầu của lò xo (Hình 1.2a), con lắc đơn gồm vật nặng được gắn vào đầu một dây không dẫn (Hình 1.2b). Lực đàn hồi tác dụng lên vật trong con lắc lò xo và trọng lực tác dụng lên vật trong con lắc đơn gọi là nội lực của hệ.



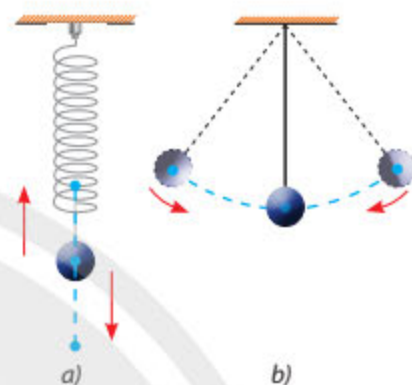
Dao động của hệ xảy ra dưới tác dụng chỉ của nội lực được gọi là **dao động tự do** (dao động riêng).



Nêu một số ví dụ về các vật dao động tự do trong thực tế.



- Nêu một số ví dụ về dao động tuần hoàn.
- Hãy nêu một ứng dụng của dao động tuần hoàn trong cuộc sống.



▲ Hình 1.2. a) Con lắc lò xo; b) Con lắc đơn

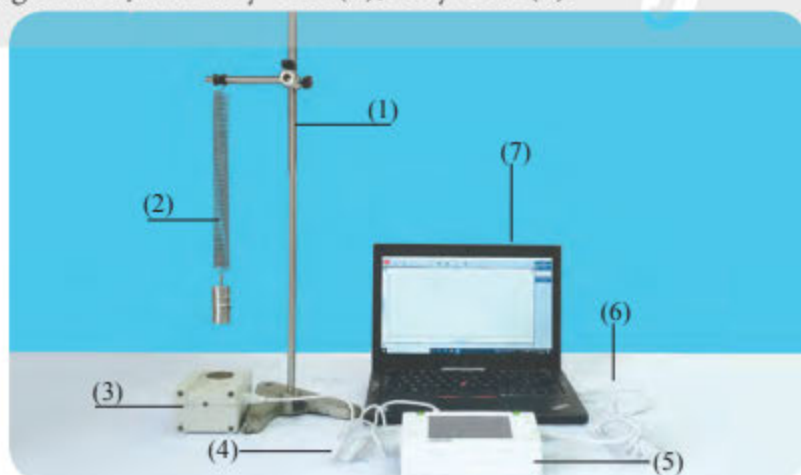
## 2. DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

### Thí nghiệm khảo sát sự phụ thuộc tọa độ của vật dao động theo thời gian

\* **Mục đích:** Khảo sát sự phụ thuộc tọa độ của vật dao động theo thời gian.

\* **Dụng cụ:**

- Hệ thống giá đỡ (1) và con lắc lò xo (2).
- Cảm biến khoảng cách (3).
- Dây cáp nối cảm biến với bộ ghi số liệu (4).
- Bộ ghi số liệu (5).
- Dây cáp nối bộ ghi số liệu và máy tính (6), máy tính (7).



▲ Hình 1.3. Thí nghiệm khảo sát sự phụ thuộc tọa độ của vật dao động theo thời gian



**\* Tiến hành thí nghiệm:**

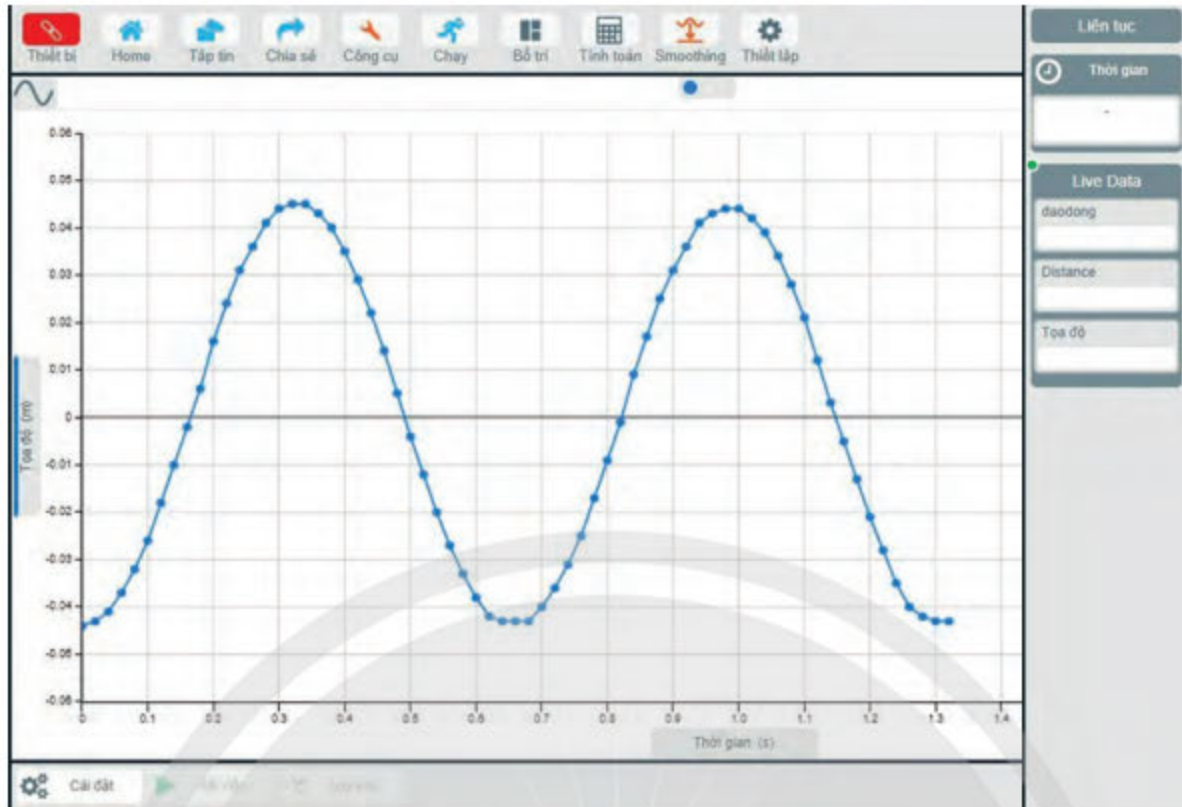
Tiến hành bố trí thí nghiệm như Hình 1.3. Khởi động các thiết bị để sẵn sàng ghi nhận tín hiệu, sau đó kéo vật ra khỏi vị trí cân bằng một đoạn nhỏ theo phương thẳng đứng và buông cho vật bắt đầu dao động không vận tốc ban đầu. Toạ độ của vật nặng tại từng thời điểm khác nhau được hiển thị trên máy tính như trong Bảng 1.1 và đồ thị toạ độ – thời gian của vật dao động như trong Hình 1.4.



4. Nhận xét về hình dạng đồ thị toạ độ – thời gian của vật dao động trong Hình 1.4.

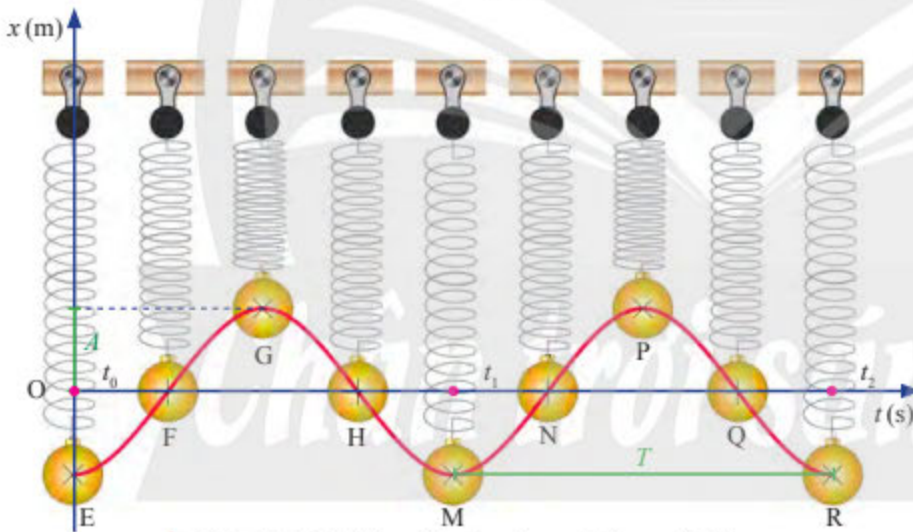
**▼ Bảng 1.1. Toạ độ của vật nặng tại những thời điểm khác nhau**

| $t$ (s) | $x$ (m) | $t$ (s) | $x$ (m) | $t$ (s) | $x$ (m) | $t$ (s) | $x$ (m) | $t$ (s) | $x$ (m) |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0,00    | -0,044  | 0,28    | 0,041   | 0,56    | -0,027  | 0,84    | 0,009   | 1,12    | 0,012   |
| 0,02    | -0,043  | 0,30    | 0,044   | 0,58    | -0,033  | 0,86    | 0,017   | 1,14    | 0,003   |
| 0,04    | -0,041  | 0,32    | 0,045   | 0,60    | -0,038  | 0,88    | 0,025   | 1,16    | -0,005  |
| 0,06    | -0,037  | 0,34    | 0,045   | 0,62    | -0,042  | 0,90    | 0,031   | 1,18    | -0,013  |
| 0,08    | -0,032  | 0,36    | 0,043   | 0,64    | -0,043  | 0,92    | 0,036   | 1,20    | -0,021  |
| 0,10    | -0,026  | 0,38    | 0,040   | 0,66    | -0,043  | 0,94    | 0,041   | 1,22    | -0,028  |
| 0,12    | -0,018  | 0,40    | 0,035   | 0,68    | -0,043  | 0,96    | 0,043   | 1,24    | -0,035  |
| 0,14    | -0,010  | 0,42    | 0,029   | 0,70    | -0,040  | 0,98    | 0,044   | 1,26    | -0,040  |
| 0,16    | -0,002  | 0,44    | 0,022   | 0,72    | -0,036  | 1,00    | 0,044   | 1,28    | -0,042  |
| 0,18    | 0,006   | 0,46    | 0,014   | 0,74    | -0,031  | 1,02    | 0,042   | 1,30    | -0,043  |
| 0,20    | 0,016   | 0,48    | 0,005   | 0,76    | -0,025  | 1,04    | 0,039   | 1,32    | -0,043  |
| 0,22    | 0,024   | 0,50    | -0,004  | 0,78    | -0,017  | 1,06    | 0,034   |         |         |
| 0,24    | 0,031   | 0,52    | -0,012  | 0,80    | -0,009  | 1,08    | 0,028   |         |         |
| 0,26    | 0,036   | 0,54    | -0,020  | 0,82    | -0,001  | 1,10    | 0,021   |         |         |



▲ Hình 1.4. Đồ thị tọa độ – thời gian của vật dao động trong thí nghiệm

➡ Li độ, biên độ, chu kì dao động, tần số dao động



▲ Hình 1.5. Vị trí của vật nặng trong hệ con lắc lò xo tại các thời điểm khác nhau

5. Quan sát Hình 1.5 và chỉ ra những điểm:
- Có tọa độ dương, âm hoặc bằng không.
  - Có khoảng cách đến vị trí cân bằng cực đại.
  - Gần nhau nhất có cùng trạng thái chuyển động.

Hình 1.5 cho biết vị trí của vật nặng tại những thời điểm khác nhau trên đường đồ thị tọa độ – thời gian khi tiến hành thí nghiệm như bố trí trong Hình 1.3.

Chọn hệ trục tọa độ  $Oxt$  như Hình 1.5, gốc thời gian được chọn vào lúc vật bắt đầu dao động, gốc tọa độ được chọn tại vị trí cân bằng của vật, chiều dương của trục tọa độ được chọn theo một chiều xác định, ví dụ thẳng đứng hướng lên.

Tọa độ của vật tính từ vị trí cân bằng tại mỗi thời điểm được gọi là **li độ**  $x$  của vật dao động. Như vậy, li độ có thể có giá trị dương, âm hoặc bằng không.



Trong quá trình dao động, vật nặng sẽ đến hai biên, dừng lại và đổi chiều chuyển động. Biên ứng với toạ độ dương được gọi là *biên dương*, biên còn lại là *biên âm*. Khi ở hai biên, li độ của vật dao động có độ lớn cực đại. Độ lớn cực đại của li độ được gọi là **biên độ**  $A$  của vật dao động. Biên độ dao động luôn có giá trị dương.



Li độ của vật dao động là toạ độ của vật mà gốc toạ độ được chọn trùng với vị trí cân bằng.  
Biên độ là độ lớn cực đại của li độ.

Trong Hình 1.5, ta thấy tại các thời điểm  $t_0$ ,  $t_1$  và  $t_2$ , vật nặng có cùng trạng thái chuyển động: đến biên âm và bắt đầu chuyển động đi lên. Khoảng thời gian ngắn nhất giữa hai lần vật có cùng trạng thái chuyển động được gọi là **chu kì dao động**  $T$ . Trong một chu kì dao động, vật hoàn thành được một dao động hay một *chu trình* dao động.

Trên thực tế, người ta thường sử dụng thuật ngữ **tần số dao động** như là một đặc trưng của dao động để cho biết số dao động mà vật thực hiện trong một giây.



Chu kì dao động là khoảng thời gian để vật thực hiện được một dao động. Tần số dao động được xác định bởi số dao động mà vật thực hiện được trong một giây.

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

Trong hệ SI, chu kì dao động có đơn vị là giây (s) và tần số dao động có đơn vị là héc (Hz).



6. Một con ong mật đang bay tại chỗ trong không trung (Hình 1.6), đập cánh với tần số khoảng 300 Hz. Xác định số dao động mà cánh ong mật thực hiện trong 1 s và chu kì dao động của cánh ong.



▲ Hình 1.6. Ong mật bay tại chỗ trong không trung

### ➤ Khái niệm dao động điều hoà

Khi lực cản trong quá trình dao động là không đáng kể, đồ thị toạ độ – thời gian, cũng chính là đồ thị li độ – thời gian, có dạng hình sin. Dao động có tính chất này được gọi là **dao động điều hoà**.



Dao động điều hoà là dao động tuần hoàn mà li độ của vật dao động là một hàm cosin (hoặc sin) theo thời gian.

➤ **Pha dao động, độ lệch pha, tần số góc**

Tại mỗi thời điểm, trạng thái dao động (li độ và vận tốc) của vật được đặc trưng bởi một đại lượng, gọi là **pha dao động**  $\varphi$ . Pha dao động được đo bằng đơn vị của góc, là độ hoặc rad. Vật thực hiện một dao động tương ứng với pha dao động thay đổi một lượng  $2\pi$  rad.

Khi xét hai dao động cùng chu kì (cùng tần số), ta thường quan tâm đến đại lượng **độ lệch pha** giữa chúng.

Ví dụ: Hai vật đang dao động có đồ thị li độ – thời gian được biểu diễn như Hình 1.7. Tại thời điểm  $t = 0$ , vật 1 đi qua vị trí cân bằng theo chiều dương của trục tọa độ. Sau một khoảng thời gian ngắn nhất  $\Delta t$ , vật 2 mới đạt được trạng thái tương tự. Ta nói hai dao động này lệch pha nhau một lượng  $\Delta\varphi$ .



Pha dao động là một đại lượng đặc trưng cho trạng thái của vật trong quá trình dao động. Độ lệch pha giữa hai dao động điều hoà cùng chu kì (cùng tần số) được xác định theo công thức:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} \quad (1.2)$$

Vật thực hiện một dao động tương ứng với pha dao động thay đổi một lượng  $2\pi$  rad. Đại lượng đặc trưng cho tốc độ biến thiên của pha dao động được gọi là **tần số góc**  $\omega$  của dao động.



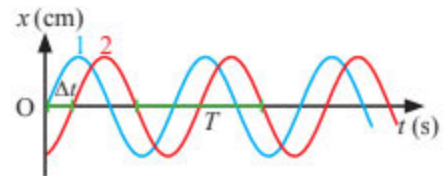
Tần số góc của dao động là đại lượng đặc trưng cho tốc độ biến thiên của pha dao động. Đối với dao động điều hoà, tần số góc có giá trị không đổi và được xác định theo công thức:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \quad (1.3)$$

Trong hệ SI, tần số góc có đơn vị là radian trên giây (rad/s).



7. Quan sát Hình 1.7, so sánh biên độ và li độ của hai dao động 1 và 2 tại mỗi thời điểm.

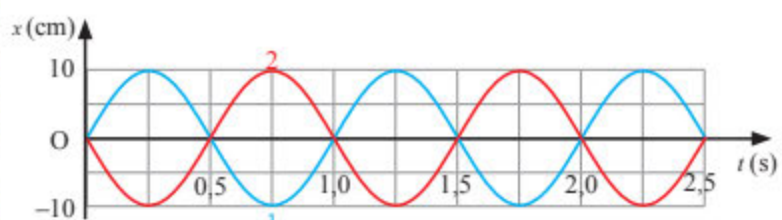


▲ Hình 1.7. Đồ thị li độ – thời gian của hai vật dao động điều hoà

8. Dựa vào dữ kiện trong câu Thảo luận 6, xác định tần số góc khi ong đập cánh.



Quan sát đồ thị li độ – thời gian của hai vật dao động điều hoà được thể hiện trong Hình 1.8. Hãy xác định biên độ, chu kì, tần số, tần số góc của mỗi vật dao động và độ lệch pha giữa hai dao động.



▲ Hình 1.8. Đồ thị li độ – thời gian của hai vật dao động điều hoà



## ► Vận dụng các đại lượng vật lý đặc trưng để mô tả dao động điều hoà

**Ví dụ 1:** Hình 1.9 thể hiện đồ thị li độ – thời gian của một vật dao động điều hoà được kích thích theo hai cách khác nhau. Hãy xác định các đại lượng biên độ, chu kì, tần số và tần số góc trong từng trường hợp.

### Bài giải

\* Trong trường hợp a), vật bắt đầu dao động từ vị trí cân bằng theo chiều dương quy ước. Trong trường hợp b), vật bắt đầu dao động từ vị trí biên dương, ngược chiều dương quy ước.

\* Trong hai trường hợp a) và b):

- Vật dao động cùng biên độ  $A = 20 \text{ cm}$ .
- Vật dao động cùng chu kì  $T = 2 \text{ s}$ .
- Tần số dao động của vật trong cả hai trường hợp:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ Hz}$$

- Tần số góc của vật trong cả hai trường hợp:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 0,5 = \pi \text{ rad/s}$$

**Ví dụ 2:** So sánh biên độ, chu kì, tần số, tần số góc và xác định độ lệch pha của hai dao động điều hoà trong ba trường hợp được thể hiện ở Hình 1.10.

### Bài giải

\* Trường hợp a):

- Biên độ dao động của vật 1 lớn hơn biên độ dao động của vật 2:  $A_1 > A_2$ .
- Chu kì dao động của hai vật bằng nhau:  $T_1 = T_2$ .
- Tần số và tần số góc của hai dao động này cũng bằng nhau:

$$f_1 = f_2 \text{ và } \omega_1 = \omega_2.$$

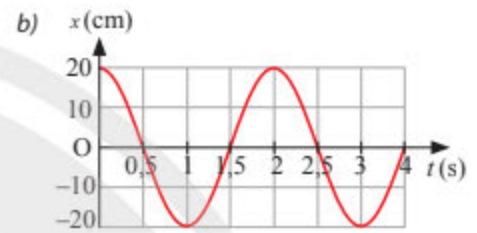
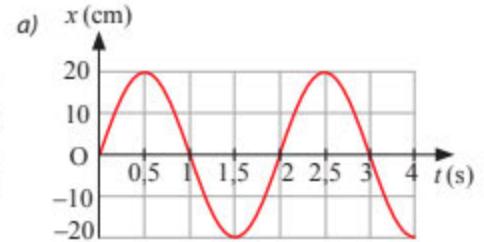
– Trong quá trình dao động, hai vật luôn đến vị trí cân bằng và hai biên cùng thời điểm. Do đó, đại lượng  $\Delta t$  trong công thức (1.2) bằng 0, dẫn đến  $\Delta\varphi = 0 \text{ rad}$ . Ta nói hai vật dao động cùng pha với nhau.

\* Trường hợp b):

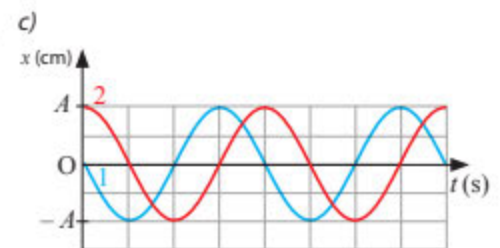
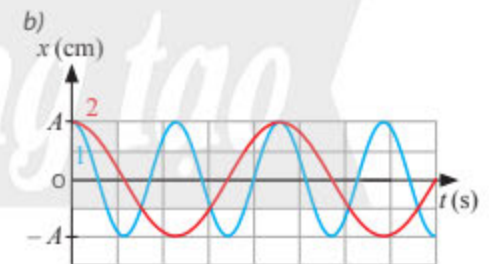
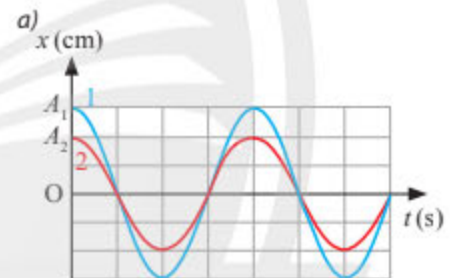
- Biên độ dao động của hai vật bằng nhau:  $A_1 = A_2 = A$ .
- Chu kì dao động của vật 1 bằng một nửa chu kì dao động của vật 2:  $T_1 = \frac{T_2}{2}$ .



9. Xác định độ lệch pha giữa hai dao động trong Hình 1.9.



▲ Hình 1.9. Đồ thị li độ – thời gian của một vật được kích thích dao động theo hai cách khác nhau



▲ Hình 1.10. Đồ thị li độ – thời gian của hai vật dao động trong các trường hợp khác nhau

- Tần số và tần số góc dao động của vật 1 gấp hai lần tần số và tần số góc dao động của vật 2:

$$f_1 = 2f_2 \text{ và } \omega_1 = 2\omega_2.$$

- Do hai vật dao động khác chu kì nên ta không thể xác định được độ lệch pha của hai dao động này.

\* Trường hợp c):

- Biên độ dao động của hai vật bằng nhau:  $A_1 = A_2 = A$ .

- Chu kì dao động của hai vật bằng nhau:  $T_1 = T_2 = T$ .

- Tần số và tần số góc của hai dao động này cũng bằng nhau:

$$f_1 = f_2 \text{ và } \omega_1 = \omega_2.$$

- Trong quá trình dao động, vật thứ nhất đi qua vị trí cân bằng thì vật thứ hai đi qua vị trí biên. Nghĩa là khoảng thời gian ngắn nhất để hai vật có cùng trạng thái dao động là  $\Delta t = \frac{T}{4}$ . Theo công thức (1.2) ta suy ra:  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$  rad. Ta nói hai dao động vuông pha với nhau.



Xét vật thứ nhất bắt đầu dao động điều hoà từ vị trí cân bằng, vật thứ hai dao động điều hoà với biên độ lớn gấp hai lần, cùng chu kì và lệch pha  $\Delta\varphi = \frac{\pi}{4}$  rad so với vật thứ nhất. Vẽ phác đồ thị li độ - thời gian của hai vật trong hai chu kì dao động đầu tiên.

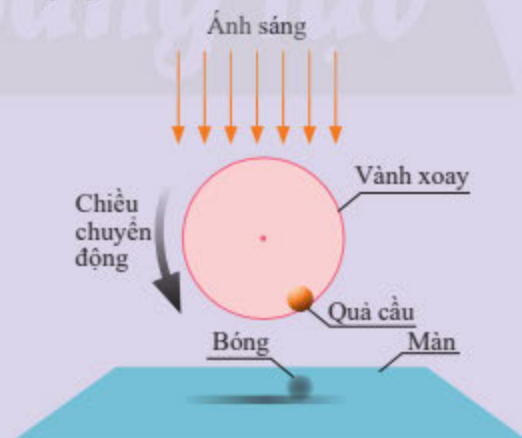


Tìm hiểu và trình bày một số ứng dụng thực tiễn của hiện tượng dao động.



### Mối liên hệ giữa dao động điều hoà và chuyển động tròn đều

Xét một quả cầu được gắn cố định vào một vành mảnh có thể chuyển động tròn đều trong mặt phẳng thẳng đứng. Khi chiếu ánh sáng từ trên xuống, ta thấy bóng của quả cầu dao động trên một đoạn thẳng có phương song song với đường thẳng đi qua tâm của chuyển động tròn. Quả cầu xoay được một vòng tương ứng với bóng của nó thực hiện được một dao động. Bằng một số tính toán, ta rút ra được dao động điều hoà được xem như là hình chiếu của một chuyển động tròn đều lên một đường thẳng đi qua tâm và nằm trong mặt phẳng quỹ đạo, biên độ của dao động bằng bán kính quỹ đạo của chuyển động tròn đều.



▲ Hình 1.11. Hình chiếu của một quả cầu chuyển động tròn đều lên mặt phẳng nằm ngang



Khi quả cầu trong Hình 1.11 quay được một vòng, vectơ bán kính nối tâm của quỹ đạo và vật quét được một góc  $2\pi$  rad, tương ứng với bóng của vật thực hiện được một dao động.

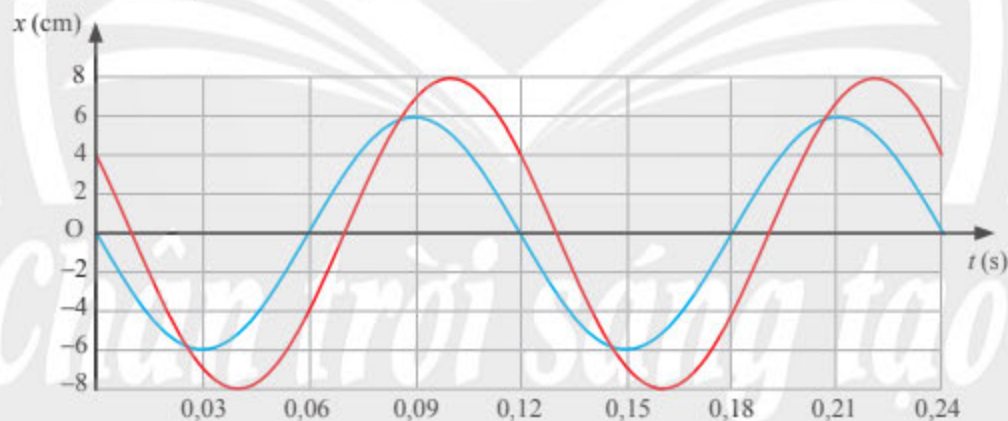
Bảng 1.2 thể hiện sự tương tự trong dao động điều hoà và chuyển động tròn đều.

▼ **Bảng 1.2. Sự tương tự trong dao động điều hoà và chuyển động tròn đều**

| Kí hiệu              | Dao động điều hoà | Chuyển động tròn đều   |
|----------------------|-------------------|--|
| $x$                  | Li độ             | Toạ độ hình chiếu của vật trên trục toạ độ đi qua tâm và nằm trong mặt phẳng của quỹ đạo tròn. |
| $A$                  | Biên độ           | Bán kính   |
| $T$                  | Chu kì dao động   | Chu kì quay  |
| $f$                  | Tần số dao động   | Tần số quay  |
| $\omega$             | Tần số góc        | Tốc độ góc   |
| $\omega t + \varphi$ | Pha dao động      | Toạ độ góc   |

## BÀI TẬP

1. Xác định biên độ, chu kì, tần số, tần số góc của mỗi dao động và độ lệch pha giữa hai dao động có đồ thị li độ – thời gian như trong Hình 1P.1.




▲ **Hình 1P.1. Đồ thị li độ – thời gian của hai vật dao động điều hoà**

2. Vẽ phác đồ thị li độ – thời gian của hai dao động điều hoà trong các trường hợp:
- Cùng biên độ, chu kì của dao động thứ nhất bằng ba lần chu kì của dao động thứ hai.
  - Biên độ của dao động thứ nhất bằng hai lần biên độ của dao động thứ hai, cùng chu kì, cùng pha.
  - Cùng biên độ, cùng chu kì và có độ lệch pha là  $\pi$  rad.

# PHƯƠNG TRÌNH DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ


- Độ dịch chuyển, vận tốc và gia tốc trong dao động điều hoà.
- Các phương trình về li độ, vận tốc và gia tốc của dao động điều hoà.
- Mối liên hệ giữa gia tốc và li độ trong dao động điều hoà.

 Việc nghiên cứu các quá trình dao động điều hoà để ứng dụng vào thực tiễn như xây dựng mô hình dự báo động đất yêu cầu ta phải mô tả chính xác trạng thái của vật dao động tại những thời điểm xác định. Ngoài ra, dao động điều hoà có tính chất tuần hoàn theo thời gian và bị giới hạn trong không gian thì phương trình li độ, vận tốc và gia tốc của vật dao động điều hoà có những khác biệt gì so với chuyển động thẳng đều và biến đổi đều mà em đã học ở chương trình Vật Lí 10?

## 1 LI ĐỘ TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

### ➤ Phương trình li độ của vật dao động

Trong Bài 1, ta đã biết một vật được xem là đang thực hiện dao động điều hoà khi đồ thị li độ - thời gian của vật có dạng hình sin như Hình 1.4. Trong toán học, chỉ có hàm cosin (hoặc sin) mới có đồ thị dạng hình sin tương ứng.

 Phương trình li độ của vật dao động điều hoà có dạng:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (2.1)$$

Trong đó:  $x$ ,  $A$  lần lượt là li độ và biên độ dao động của vật, trong hệ SI có đơn vị là m.

$\omega$  là tần số góc của dao động, trong hệ SI có đơn vị là rad/s.

$\varphi = \omega t + \varphi_0$  là pha của dao động, trong hệ SI có đơn vị là rad.

$\varphi_0$  là pha ban đầu của dao động, trong hệ SI có đơn vị là rad.



1. Quan sát dao động của con lắc lò xo và kết hợp với Hình 1.4, hãy chỉ rõ sự khác nhau giữa hình dạng quỹ đạo chuyển động và đồ thị li độ của vật dao động theo thời gian.



## Độ dịch chuyển của vật dao động

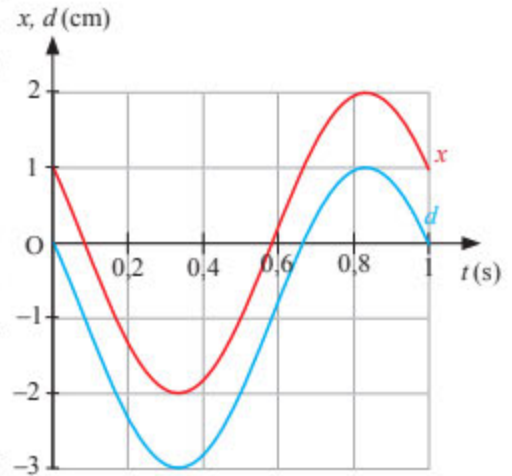
Trong chương trình Vật lý 10, các em đã biết độ dịch chuyển được xác định bằng độ biến thiên toạ độ của vật. Như vậy, tại một thời điểm bất kì, độ dịch chuyển của vật dao động so với vị trí ban đầu được xác định bằng công thức:

$$d = \Delta x = x - x_0 = A \cos(\omega t + \varphi_0) - A \cos \varphi_0 \quad (2.1)$$

Hình 2.1 minh hoạ đồ thị li độ - thời gian (đường màu đỏ) và độ dịch chuyển - thời gian (đường màu xanh dương) đối với một vật dao động điều hoà có  $A = 2 \text{ cm}$ ,  $T = 1 \text{ s}$  và

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{3}.$$

Ta thấy độ dịch chuyển so với vị trí ban đầu của vật cũng biến thiên điều hoà theo thời gian cùng biên độ, chu kì và pha với li độ của vật dao động. Tại từng thời điểm, đồ thị độ dịch chuyển - thời gian dịch xuống một đoạn  $A \cos \varphi_0$  trên trục tung so với đồ thị li độ - thời gian như Hình 2.1. Từ công thức (2.1), ta thấy  $d$  trùng với  $x$  khi gốc thời gian được chọn lúc vật đi qua vị trí cân bằng ( $\cos \varphi = 0$ ). Như vậy, li độ cũng chính là độ dịch chuyển từ vị trí cân bằng đến vị trí của vật tại thời điểm  $t$ .

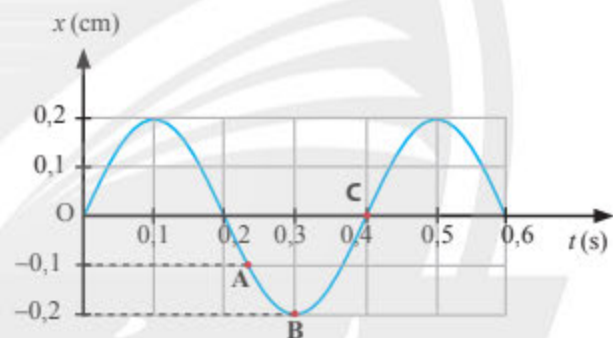


▲ Hình 2.1. Đồ thị li độ - thời gian và độ dịch chuyển - thời gian của một vật dao động điều hoà



Một vật dao động có đồ thị li độ - thời gian được mô tả trong Hình 2.2. Hãy xác định:

- Biên độ dao động, chu kì, tần số, tần số góc của dao động.
- Li độ của vật dao động tại các thời điểm  $t_1, t_2, t_3$  ứng với các điểm A, B, C trên đường đồ thị li độ - thời gian.
- Độ dịch chuyển so với vị trí ban đầu tại thời điểm  $t_1, t_2, t_3$  trên đường đồ thị.



▲ Hình 2.2. Đồ thị li độ - thời gian của một vật dao động



## VẬN TỐC TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

### Phương trình vận tốc của vật dao động

Trong chương trình Vật lý 10, các em đã biết vận tốc tức thời của vật được xác định bằng thương số giữa độ dịch chuyển  $d = \Delta x$  và thời gian  $\Delta t$  để vật thực hiện độ dịch chuyển đó.

$$\mathbf{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.3)$$

với điều kiện  $\Delta t$  rất nhỏ.

Đồ thị li độ - thời gian và vận tốc - thời gian của một vật dao động điều hoà được xác định từ thực nghiệm có dạng như Hình 2.3a và 2.3b. Quan sát Hình 2.3, ta thấy:



- Quan sát Hình 2.3a và 2.3b, hãy xác định:
  - Hình dạng đồ thị vận tốc - thời gian của vật.
  - Chu kì của vận tốc của vật.
  - Mối liên hệ giữa tốc độ cực đại và biên độ của vật.
  - Độ lệch pha của vận tốc so với li độ của vật.

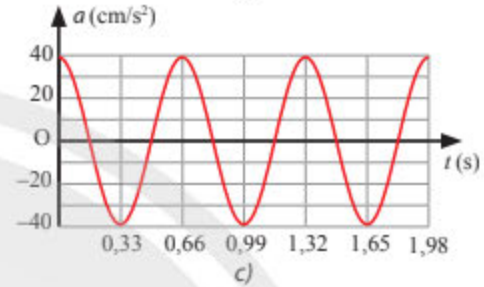
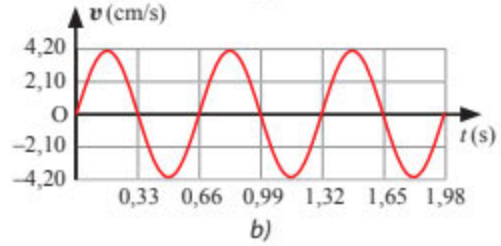
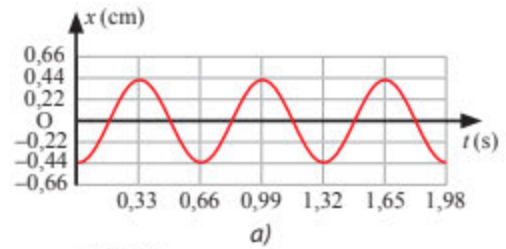
– Đồ thị vận tốc – thời gian của vật dao động điều hoà cũng có dạng hình sin. Nghĩa là vận tốc của vật dao động điều hoà cũng biến đổi điều hoà theo thời gian.

– Vận tốc và li độ của vật dao động điều hoà có cùng chu kì  $T$  (cùng tần số  $f$ ).

– Tỷ số của tốc độ cực đại và biên độ dao động của vật bằng  $\omega$ . Nghĩa là  $v_{\max} = \omega A$ .

– Sau một khoảng thời gian  $\Delta t = \frac{T}{4}$ , li độ có cùng trạng thái dao động với vận tốc. Nghĩa là vận tốc biến đổi điều hoà theo thời gian lệch pha  $\frac{\pi}{2}$  so với li độ.

Từ những nhận xét trên, kết hợp với việc sử dụng công cụ toán học phù hợp, ta rút ra được:



▲ Hình 2.3. Đồ thị: a) li độ – thời gian; b) vận tốc – thời gian; c) gia tốc – thời gian của một vật dao động điều hoà



Phương trình vận tốc của vật dao động điều hoà có dạng:

$$v = \omega A \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (2.4)$$



Một vật dao động điều hoà với biên độ 10 cm và chu kì 2 s. Chọn gốc thời gian là khi vật qua vị trí cân bằng theo chiều dương. Xác định vận tốc của vật vào thời điểm đó.



### Công thức mô tả mối liên hệ giữa vận tốc và li độ của vật dao động

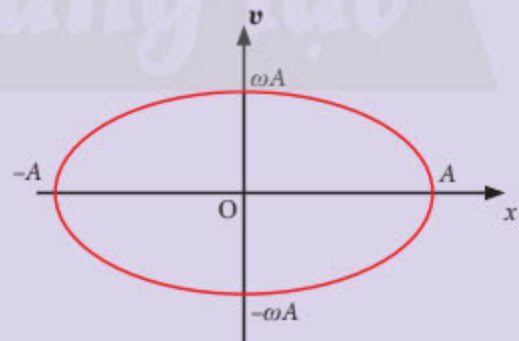
Kết hợp các công thức (2.4) và (2.1), ta rút ra được công thức mô tả mối liên hệ giữa vận tốc và li độ của vật dao động tại mỗi thời điểm:

$$\frac{v^2}{v_{\max}^2} + \frac{x^2}{A^2} = 1 \quad (2.5)$$

Từ đồ thị trong Hình 2.3a và 2.3b, kết hợp với phương trình (2.5), ta thấy:

- Khi vật đi qua vị trí cân bằng:  $x = 0$ ,  $v = \pm v_{\max}$ .
- Khi vật ở hai biên:  $x = \pm A$ ,  $v = 0$ .

Đồ thị mô tả mối liên hệ giữa vận tốc và li độ của vật dao động được thể hiện trong Hình 2.4 là một đường ellipse có độ dài hai trục lần lượt là  $2A$  và  $2v_{\max}$ .



▲ Hình 2.4. Đồ thị mô tả mối liên hệ giữa vận tốc và li độ của vật dao động



## 3 GIA TỐC TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

### ➔ Phương trình gia tốc của vật dao động


Ta đã biết, gia tốc tức thời được xác định bằng thương số giữa biến thiên vận tốc  $\Delta v$  và thời gian  $\Delta t$  để vật thực hiện sự biến thiên vận tốc đó.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.6)$$

với điều kiện  $\Delta t$  rất nhỏ.

Đồ thị gia tốc – thời gian của một dao động điều hoà được xác định từ thực nghiệm có dạng như Hình 2.3c. Quan sát Hình 2.3, ta thấy:

- Đồ thị gia tốc – thời gian của vật dao động điều hoà cũng có dạng hình sin. Nghĩa là gia tốc của vật dao động điều hoà cũng biến đổi điều hoà theo thời gian.
  - Gia tốc và li độ của vật dao động điều hoà có cùng chu kỳ  $T$  (cùng tần số  $f$ ).
  - Tỷ số của độ lớn cực đại của gia tốc và biên độ dao động của vật bằng  $\omega^2$ . Nghĩa là  $a_{\max} = \omega^2 A$ .
  - Sau một khoảng thời gian  $\Delta t = \frac{T}{2}$ , li độ có cùng trạng thái dao động với gia tốc. Nghĩa là gia tốc và li độ của vật luôn lệch pha  $\pi$  so với nhau (ngược pha nhau).
- Từ những nhận xét trên, kết hợp với việc sử dụng công cụ toán học phù hợp, ta rút ra được:

 Phương trình gia tốc của vật dao động điều hoà có dạng:

$$\begin{aligned} a &= \omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0 + \pi) \\ &= -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x \quad (2.7) \end{aligned}$$

Do ta có  $F = ma = -Kx$  (với  $K = m\omega^2$ ) nên lực tác dụng vào vật dao động điều hoà luôn hướng về vị trí cân bằng của vật. Từ đây, ta rút ra được những điều kiện để một vật thực hiện dao động điều hoà là:

- Có một vật để thực hiện chuyển động.
- Vật tồn tại một vị trí cân bằng.
- Có lực tác dụng vào vật để luôn kéo vật về vị trí cân bằng. Lực này có độ lớn tỉ lệ thuận với độ lớn li độ của vật dao động.



3. Quan sát Hình 2.3a và 2.3c, hãy xác định:

- a) Hình dạng đồ thị gia tốc – thời gian của vật.
- b) Chu kỳ của gia tốc của vật.
- c) Mối liên hệ giữa gia tốc cực đại và biên độ của vật.
- d) Độ lệch pha của gia tốc so với li độ của vật.

4. Hãy vẽ phác đồ thị lực tác dụng – thời gian của vật dao động điều hoà có đồ thị li độ – thời gian như Hình 2.2.

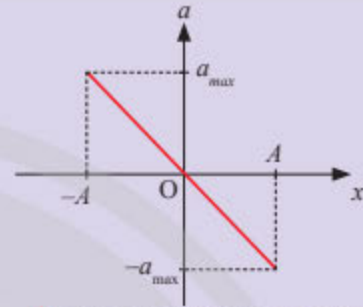


Dựa vào các đồ thị trong Hình 2.3:

- Viết phương trình li độ, vận tốc và gia tốc của vật dao động điều hoà.
- Mô tả định tính tính chất của li độ, vận tốc và gia tốc của vật tại các thời điểm: 0,5 s; 0,75 s và 1 s.
- Dựa vào các phương trình được xây dựng ở câu a để kiểm chứng lại mô tả định tính ở câu b.



Đồ thị mô tả mối liên hệ giữa gia tốc và li độ được thể hiện trong Hình 2.5, là một đoạn thẳng đi qua gốc tọa độ với hệ số góc có giá trị  $-\omega^2$ . Gia tốc luôn có chiều hướng về vị trí cân bằng của vật.



▲ Hình 2.5. Đồ thị mô tả mối liên hệ giữa gia tốc - li độ của vật dao động

### ➡ Vận dụng phương trình gia tốc, mối liên hệ giữa gia tốc và li độ của vật dao động

**Ví dụ:** Một vật dao động điều hoà có phương trình gia tốc

$$a = 12\pi^2 \cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm/s}^2.$$

- Xác định biên độ, tần số góc, chu kì, tần số dao động của vật.
- Viết phương trình li độ và phương trình vận tốc của vật.

#### Bài giải

a) Từ công thức (2.7), ta có:

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0) = \omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0 + \pi) \text{ cm/s}^2$$

So sánh với phương trình gia tốc của vật, suy ra:

- Tần số góc:  $\omega = 2\pi \text{ rad/s}$ .
- Biên độ dao động:  $A = \frac{a_{\max}}{\omega^2} = \frac{12\pi^2}{(2\pi)^2} = 3 \text{ cm}$ .
- Pha ban đầu của dao động:  $\varphi_0 = \frac{\pi}{2} - \pi = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$ .
- Chu kì dao động:  $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1 \text{ s}$ .
- Tần số dao động:  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1} = 1 \text{ Hz}$ .



b)

- Phương trình li độ của vật theo công thức (2.1):

$$x = A \cos\left(\omega t + \varphi_0\right) = 3 \cos\left(2\pi t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm}$$

- Phương trình vận tốc của vật theo công thức (2.4):

$$v = \omega A \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) = 6\pi \cos(2\pi t) \text{ cm/s}$$



5. Nhận xét về độ lệch pha giữa gia tốc và vận tốc của vật dao động.



Một máy cơ khí khi hoạt động sẽ tạo ra những dao động được xem gần đúng là dao động điều hoà với phương trình li độ có dạng:

$$x = 2\cos(180\pi t) \text{ mm}$$

a) Hãy xác định biên độ, chu kì, tần số và tần số góc của dao động.

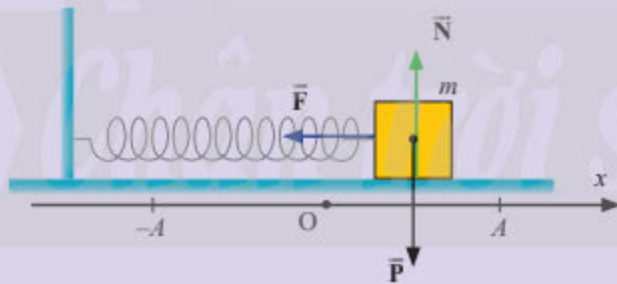
b) Viết phương trình vận tốc và gia tốc của vật dao động.



Tìm hiểu và trình bày ngắn gọn nguyên tắc hoạt động của thiết bị đo khối lượng của các phi hành gia trên tàu vũ trụ.



### Con lắc lò xo



▲ Hình 2.6. Con lắc lò xo

Xét một con lắc lò xo gồm một vật nặng khối lượng  $m$  gắn vào đầu một lò xo nhẹ có độ cứng  $k$ , đầu còn lại của lò xo được giữ cố định. Vật có thể chuyển động trên mặt sàn nằm ngang như Hình 2.6, ma sát giữa mặt sàn và vật là không đáng kể. Kích thích cho vật dao động.

### Con lắc đơn



▲ Hình 2.7. Con lắc đơn

Xét con lắc đơn gồm một vật nặng gắn vào đầu một sợi dây nhẹ, không đàn, đầu còn lại của sợi dây được giữ cố định như Hình 2.7. Xem lực cản của không khí là không đáng kể. Kích thích cho vật dao động.

Các lực tác dụng vào vật nặng gồm: trọng lực  $\vec{P}$ , phản lực  $\vec{N}$  và lực đàn hồi  $\vec{F}$ .

Theo định luật II Newton, ta có:

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{F} = m\vec{a} \quad (2.8)$$

Chiếu lên phương chuyển động, ta có:

$$F = ma \quad (2.9)$$

Lực đàn hồi có giá trị  $F = -kx$  luôn ngược chiều với li độ của vật và hướng về vị trí cân bằng của vật.

Ta có:  $a = -\frac{k}{m}x$  (2.10).

Kết hợp với phương trình (2.7) ta suy ra:

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (2.11)$$

hay  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  chính là tần số góc của con lắc lò xo dao động điều hoà.

Các lực tác dụng vào vật nặng gồm: trọng lực  $\vec{P}$  và lực căng dây  $\vec{T}$ .

Trọng lực  $\vec{P}$  được phân tích thành hai thành phần: thành phần pháp tuyến  $\vec{P}_n$  và tiếp tuyến  $\vec{P}_t$ .

Hợp lực của  $\vec{T}$  và  $\vec{P}_n$  hướng vào điểm cố định của dây treo, đóng vai trò là lực hướng tâm giúp vật chuyển động tròn.

Lực  $\vec{P}_t$  luôn có tác dụng kéo vật về vị trí cân bằng O.

Xét trên phương tiếp tuyến của quỹ đạo, ta có:

$$F = -mg \sin \theta = ma \quad (2.12)$$

Khi vật dao động góc nhỏ ( $\theta \leq 10^\circ$ ), ta có:

$$\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta = \frac{x}{\ell} \quad (2.13)$$

Do đó:  $-\frac{mg}{\ell}x = ma \Leftrightarrow a = -\frac{g}{\ell}x$  (2.14)

Với  $x$  là độ dài cung  $\widehat{OM}$ .

Kết hợp với phương trình (2.7) ta suy ra:

$$\omega^2 = \frac{g}{\ell} \quad (2.15)$$

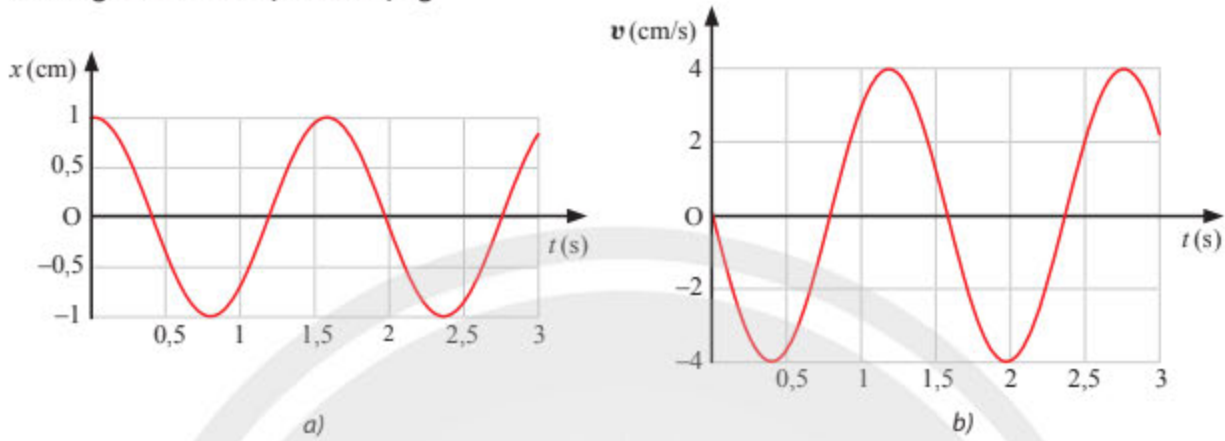
hay  $\omega = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$  chính là tần số góc của con lắc đơn dao động điều hoà với biên độ góc đủ nhỏ.

**Lưu ý:** Đối với một hệ dao động tự do, tần số góc có một giá trị xác định, phụ thuộc vào các đặc tính của hệ.



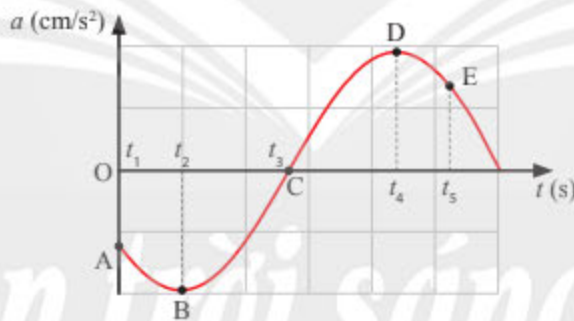
## BÀI TẬP

1. Một vật dao động điều hoà có đồ thị li độ – thời gian và vận tốc – thời gian như Hình 2P.1. Hãy viết phương trình li độ và phương trình vận tốc của dao động này. Từ đó suy ra phương trình gia tốc của vật dao động.



▲ Hình 2P.1. Đồ thị li độ – thời gian (a) và vận tốc – thời gian (b) của một vật dao động

2. Một chất điểm dao động điều hoà với biên độ 4 cm, tần số 1 Hz. Tại thời điểm ban đầu, vật ở vị trí biên âm. Hãy xác định vận tốc và gia tốc của vật tại thời điểm  $t = 1$  s.
3. Một vật dao động điều hoà có đồ thị gia tốc theo thời gian được thể hiện trong Hình 2P.2.




▲ Hình 2P.2. Đồ thị gia tốc – thời gian của một vật dao động điều hoà

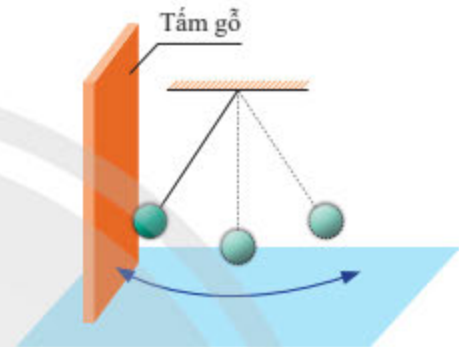
Xác định vị trí, vận tốc và gia tốc của vật tại các thời điểm  $t_1, t_2, t_3, t_4$  và  $t_5$  tương ứng với các điểm A, B, C, D và E trên đường đồ thị  $a(t)$ .

## Bài 3

# NĂNG LƯỢNG TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

Sự chuyển hoá động năng và thế năng trong dao động điều hoà.

 Tiến hành thí nghiệm như mô tả trong Hình 3.1. Đặt một tấm gỗ cố định lên tường, đưa vật nặng của con lắc đơn đến vị trí tiếp xúc với tấm gỗ và thả nhẹ để vật nặng bắt đầu chuyển động không vận tốc ban đầu. Khi dao động, vật nặng có va chạm vào tấm gỗ hay không? Vì sao? Trong quá trình dao động, vật nặng có những dạng năng lượng gì và sự chuyển hoá giữa chúng như thế nào?



▲ Hình 3.1. Thí nghiệm với con lắc đơn

## 1 THẾ NĂNG TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

### ➡ Biểu thức của thế năng trong dao động điều hoà

Xét hệ con lắc lò xo dao động điều hoà. Thế năng của hệ được tích lũy trong lò xo và phụ thuộc vào mức độ lò xo bị kéo dãn hay nén lại. Khi chọn gốc thế năng tại vị trí cân bằng, từ một số tính toán, ta rút ra được thế năng trong dao động điều hoà:

$$W_t = \frac{1}{2} Kx^2 \quad (3.1)$$

Kết hợp với công thức (2.1) ta có:

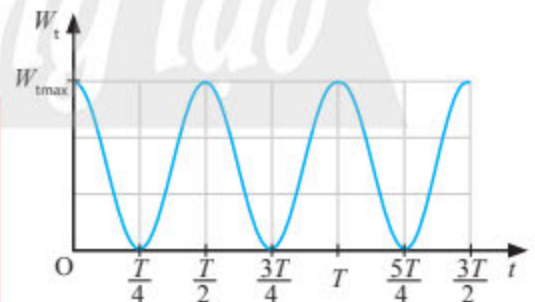
Thế năng trong dao động điều hoà được tính theo công thức:

$$W_t = \frac{1}{2} Kx^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0) \quad (3.2)$$

Do hàm cosin (hoặc sin) bình phương có giá trị thay đổi từ 0 đến 1 nên thế năng trong dao động điều hoà có giá trị thay đổi từ 0 đến  $W_{t\max}$  với  $W_{t\max} = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$  là giá trị cực đại của thế năng.



1. Dựa vào công thức (3.2) và Hình 3.2, mô tả sự thay đổi của thế năng trong một chu kỳ dao động của vật.



▲ Hình 3.2. Đồ thị thế năng - thời gian trong dao động điều hoà



### ► Sự biến đổi của thế năng theo thời gian

Kết hợp công thức (3.2) và phép biến đổi lượng giác  $\cos^2 a = \frac{1 + \cos 2a}{2}$ , ta có:

$$W_t = \frac{1}{4} m\omega^2 A^2 + \frac{1}{4} m\omega^2 A^2 \cos 2(\omega t + \varphi_0) \quad (3.3)$$

Như vậy, thế năng trong dao động điều hoà biến đổi tuần hoàn theo thời gian với tần số góc bằng hai lần tần số góc của li độ.

$$\omega' = 2\omega \quad (3.4)$$



2. So sánh chu kì, tần số biến thiên của thế năng với chu kì, tần số dao động của vật.



Một số toà nhà cao tầng sử dụng các con lắc nặng trong bộ giảm chấn khối lượng (mass damper) để giảm thiểu sự rung động gây ra bởi gió hay những cơn địa chấn nhỏ. Giả sử vật nặng của con lắc có khối lượng  $3,0 \cdot 10^5$  kg, thực hiện dao động điều hoà với tần số 15 Hz với biên độ dao động là 15 cm. Hãy xác định thế năng cực đại của hệ con lắc trong bộ giảm chấn khối lượng.



## 2 ĐỘNG NĂNG TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

### ► Biểu thức của động năng trong dao động điều hoà

Động năng của một vật được xác định bởi công thức:

$$W_d = \frac{1}{2} m\mathbf{v}^2$$

Kết hợp với công thức (2.4), ta có:



Động năng của vật dao động điều hoà được tính theo công thức:

$$W_d = \frac{1}{2} m\mathbf{v}^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0) \quad (3.5)$$

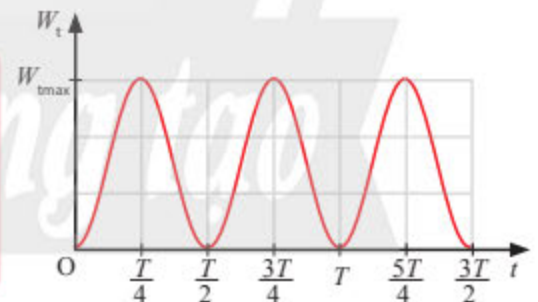
Tương tự như thế năng, động năng của vật dao động điều hoà có giá trị thay đổi từ 0 đến  $W_{d\max}$  với  $W_{d\max} = W_{t\max} = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$  là giá trị cực đại của động năng.

### ► Sự biến đổi của động năng theo thời gian

Kết hợp công thức (3.5) và phép biến đổi lượng giác

$$\sin^2 a = \frac{1 - \cos 2a}{2}, \text{ ta có:}$$

3. Dựa vào công thức (3.5) và Hình 3.3, mô tả sự thay đổi của động năng trong một chu kì dao động của vật.



▲ Hình 3.3. Đồ thị động năng – thời gian trong dao động điều hoà

$$W_d = \frac{1}{4} m \omega^2 A^2 - \frac{1}{4} m \omega^2 A^2 \cos 2(\omega t + \varphi_0) \quad (3.6)$$

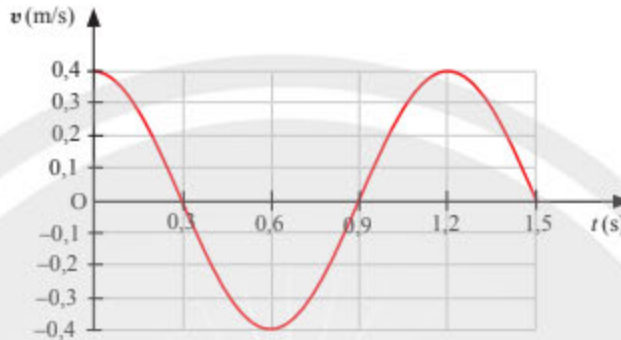
Như vậy, động năng của vật dao động điều hoà biến đổi tuần hoàn theo thời gian với tần số góc bằng hai lần tần số góc của li độ theo công thức (3.4).



4. So sánh pha dao động của thế năng và động năng khi vật dao động điều hoà.



Một vật có khối lượng 2 kg dao động điều hoà có đồ thị vận tốc – thời gian như Hình 3.4. Xác định tốc độ cực đại và động năng cực đại của vật trong quá trình dao động.



▲ Hình 3.4. Đồ thị vận tốc – thời gian của vật dao động



### SỰ CHUYỂN HOÁ NĂNG LƯỢNG VÀ BẢO TOÀN CƠ NĂNG TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

#### ➡ Sự chuyển hoá năng lượng trong dao động điều hoà

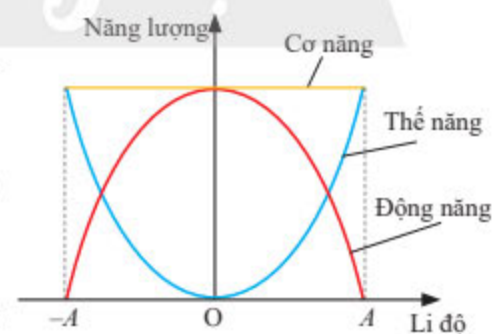
Từ các công thức (3.2) và (3.5), ta có thể vẽ được các đường đồ thị mô tả sự phụ thuộc của thế năng và động năng vào li độ của hệ dao động điều hoà như trong Hình 3.5.

Hình 3.5 thể hiện:

- Khi vật ở biên, thế năng có giá trị cực đại còn động năng bằng 0.
- Khi vật di chuyển từ biên về vị trí cân bằng, thế năng giảm trong khi động năng tăng.
- Khi vật ở vị trí cân bằng, thế năng bằng 0 và động năng có giá trị cực đại.
- Khi vật di chuyển từ vị trí cân bằng ra biên, thế năng tăng trong khi động năng giảm.

Như vậy, trong quá trình vật dao động, động năng và thế năng luôn thay đổi và chuyển hoá qua lại với nhau.

5. Quan sát Hình 3.5 và mô tả sự thay đổi của động năng và thế năng khi vật dao động di chuyển từ biên âm đến biên dương.



▲ Hình 3.5. Sự phụ thuộc của thế năng, động năng, cơ năng vào li độ của vật dao động

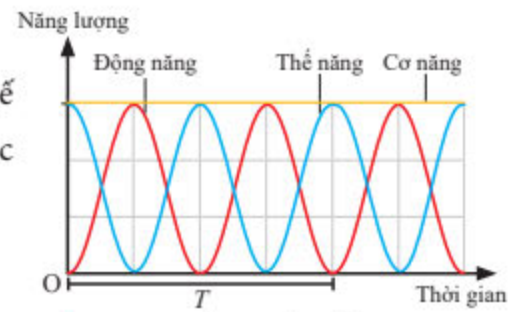


### ➤ Sự bảo toàn cơ năng trong dao động điều hoà

Ta đã biết, cơ năng của một hệ bằng tổng động năng và thế năng. Kết hợp với các công thức (3.2) và (3.5), ta rút ra được công thức xác định cơ năng trong dao động điều hoà:

$$W = W_t + W_d = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \quad (3.7)$$

Từ biểu thức (3.7), ta thấy rằng, xét với một dao động điều hoà, cơ năng tỉ lệ thuận với bình phương biên độ dao động  $A$  của vật và không thay đổi theo thời gian. Như vậy, trong quá trình vật dao động điều hoà, thế năng  $W_t$  và động năng  $W_d$  biến đổi liên tục theo thời gian nhưng cơ năng luôn bảo toàn.



▲ Hình 3.6. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc của thế năng, động năng và cơ năng trong dao động theo thời gian



6. Quan sát Hình 3.5 và 3.6, nhận xét về độ lớn của động năng, thế năng và cơ năng trong quá trình dao động điều hoà của vật.

7. Dựa vào biểu thức (3.2) và (3.5), hãy thiết lập biểu thức (3.7).



Xét một vật bắt đầu dao động điều hoà từ vị trí cân bằng, hãy chỉ ra những khoảng thời gian trong một chu kì dao động mà:

- thế năng tăng dần trong khi động năng giảm dần.
- thế năng giảm dần trong khi động năng tăng dần.



Biết phương trình li độ của một vật có khối lượng 0,2 kg dao động điều hoà là  $x = 5 \cos(20t)$  cm.

- Tính cơ năng trong quá trình dao động.
- Viết biểu thức thế năng và động năng.

## BÀI TẬP

- Một hệ dao động điều hoà với chu kì 2 s. Chọn gốc thế năng tại vị trí cân bằng của vật. Thời điểm hệ bắt đầu dao động thì động năng và thế năng bằng nhau lần thứ nhất. Hỏi sau bao lâu kể từ khi hệ bắt đầu dao động, động năng và thế năng bằng nhau lần thứ hai?
- Xét một vật bắt đầu dao động điều hoà từ vị trí cân bằng theo chiều âm của trục toạ độ. Chọn gốc thế năng tại vị trí cân bằng của vật. Hãy vẽ phác đồ thị thể hiện sự phụ thuộc vào thời gian của động năng và thế năng trong hai chu kì dao động trên cùng một hệ trục toạ độ. Chỉ ra trên đồ thị những thời điểm mà động năng và thế năng có độ lớn bằng nhau.

# Bài 4 **DAO ĐỘNG TẮT DẦN VÀ HIỆN TƯỢNG CỘNG HƯỞNG**

- Dao động tắt dần, dao động cưỡng bức và hiện tượng cộng hưởng.
- Lợi ích và tác hại của hiện tượng cộng hưởng trong một số trường hợp cụ thể.

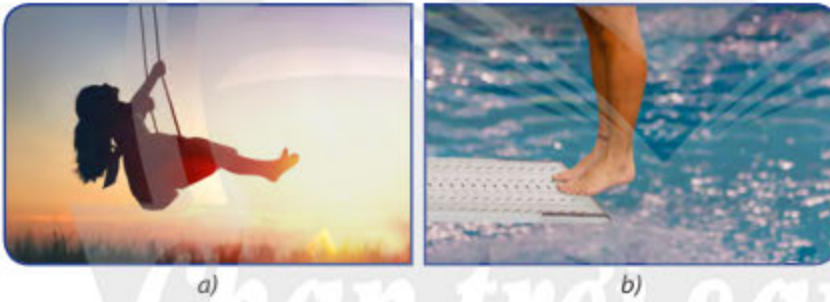
**🔊** Bộ giảm chấn khối lượng (mass damper) (Hình 4.1) được sử dụng để giảm thiểu sự rung lắc của các tòa nhà cao tầng khi có gió mạnh hay địa chấn. Tòa nhà Taipei 101 tầng (cao 508 m) tại thành phố Đài Bắc, Đài Loan cũng được trang bị bộ giảm chấn khối lượng, là một con lắc với vật nặng khoảng 728 tấn được treo tại trung tâm tòa nhà từ tầng 92 xuống đến tầng 87. Nhờ vậy, tòa nhà có thể chịu được những cơn bão có sức gió lên tới 216 km/h hay những cơn địa chấn lên đến 7 độ richter. Các kĩ sư xây dựng đã dựa trên những hiện tượng vật lí nào?



▲ Hình 4.1. Bộ giảm chấn khối lượng

## 1 **DAO ĐỘNG TẮT DẦN**

➡ **Quan sát hiện tượng dao động tắt dần**



▲ Hình 4.2. Xích đu (a) và ván nhảy cầu (b)



1. Quan sát Hình 4.2 và mô tả chuyển động của xích đu, ván nhảy cầu sau khi ngừng tác dụng lực.

2. Nêu một số ví dụ thực tế khác về hiện tượng dao động tắt dần.

Khi khảo sát hiện tượng dao động trong các bài trước, ta đã lí tưởng hoá bài toán khi xem lực cản của môi trường là không đáng kể, có thể bỏ qua. Tuy nhiên, trên thực tế, sau khi ngừng tác dụng lực để kích thích cho vật dao động, biên độ dao động của vật giảm dần và vật sẽ dừng lại sau một khoảng thời gian nhất định.



**Dao động tắt dần** là dao động có biên độ giảm dần theo thời gian.





Tùy theo lực cản tác dụng lên vật mà dao động tắt dần có thể chia thành các loại sau:

– Dao động tắt dần dưới hạn: Khi lực cản tác dụng lên vật có độ lớn nhỏ, vật thực hiện dao động với biên độ giảm dần theo thời gian và dừng lại sau một số chu kì dao động. Đồ thị li độ – thời gian của dao động tắt dần dưới hạn được thể hiện ở đường màu đỏ trong Hình 4.3.

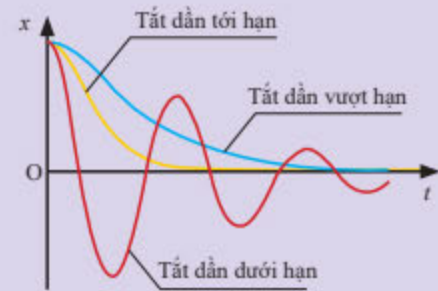
Ví dụ: Con lắc lò xo dao động trên mặt phẳng ngang có ma sát hoặc một số loại cửa có thể dao động khi được đẩy ra hoặc kéo vào.

– Dao động tắt dần tới hạn: Khi lực cản tác dụng lên vật có độ lớn vừa đủ, vật không thể thực hiện đủ một chu kì dao động mà trở về vị trí cân bằng sau một thời gian ngắn. Đồ thị li độ – thời gian của dao động tắt dần tới hạn được thể hiện ở đường màu vàng trong Hình 4.3.

Ví dụ: Một số loại cửa được lắp đặt hệ thống bản lề đặc biệt, để cửa không còn thực hiện được dao động mà tự đóng lại sau một khoảng thời gian ngắn.

– Dao động tắt dần vượt hạn: Khi lực cản tác dụng lên vật có độ lớn tăng lên, vật không thể thực hiện đủ một chu kì dao động mà trở về vị trí cân bằng sau một thời gian tương đối dài. Đồ thị li độ – thời gian của dao động tắt dần vượt hạn được thể hiện ở đường màu xanh trong Hình 4.3.

Ví dụ: Nếu lực cản trong hệ thống bản lề đóng cửa tự động tăng lên đáng kể, cửa vẫn không thể thực hiện được dao động nhưng mất nhiều thời gian để tự đóng lại.



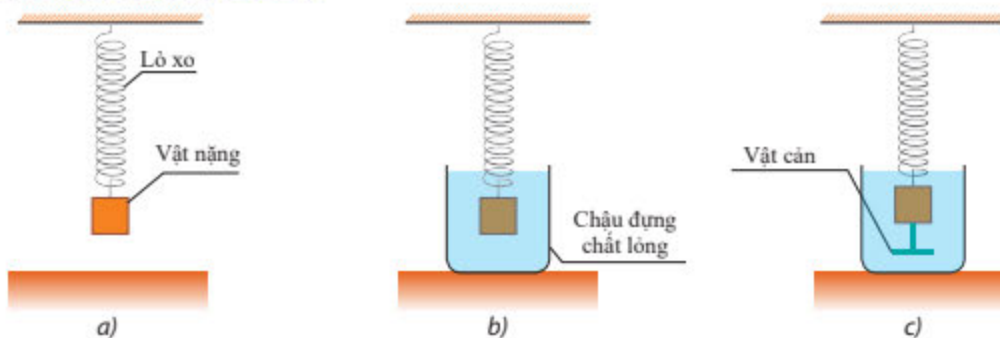
▲ Hình 4.3. Đồ thị li độ – thời gian của các loại dao động tắt dần

### ►► Giải thích hiện tượng dao động tắt dần

Ta đã biết, lực cản của môi trường tác dụng lên vật luôn ngược chiều chuyển động của vật. Do đó, công của lực cản tác dụng lên vật luôn âm làm cho cơ năng giảm. Từ đó biên độ dao động của vật giảm dần theo thời gian.



Bố trí sơ đồ thí nghiệm như Hình 4.4. Kéo vật nặng của con lắc lò xo khỏi vị trí cân bằng theo phương thẳng đứng một đoạn xác định và thả nhẹ để vật dao động không vận tốc ban đầu. Dự đoán và thực hiện thí nghiệm kiểm chứng (nếu có điều kiện) về dao động của con lắc trong các trường hợp vật nặng thực hiện dao động trong: a) không khí; b) chất lỏng (nước/dầu); c) chất lỏng (nước/dầu) khi có gắn thêm vật cản.



▲ Hình 4.4. Vật nặng của con lắc lò xo dao động:

a) trong không khí; b) trong chất lỏng; c) trong chất lỏng khi có gắn thêm vật cản



Đưa ra một số ví dụ về tác hại và lợi ích của dao động tắt dần. Từ đó tìm hiểu và sưu tầm hình ảnh về một số ứng dụng của dao động tắt dần trong cuộc sống.

## 2. DAO ĐỘNG CƯỜNG BỨC VÀ HIỆN TƯỢNG CỘNG HƯỞNG

### Dao động cưỡng bức

Trên thực tế, để một vật dao động không bị tắt, ta cần bổ sung năng lượng để bù lại sự tiêu hao năng lượng do lực cản môi trường.

Thông thường, ta có hai cách bổ sung năng lượng cho vật dao động:

- Truyền năng lượng bổ sung đúng bằng phần năng lượng tiêu hao ở cuối mỗi chu kì dao động của hệ bằng một lực cùng chiều với chuyển động. Lực này không làm thay đổi chu kì dao động riêng của vật. Cơ chế này được gọi là dao động duy trì. Ví dụ: hệ bù năng lượng cho con lắc trong đồng hồ quả lắc (Hình 4.5).

- Sử dụng một ngoại lực biến thiên điều hoà (ngoại lực điều hoà) theo thời gian:

$$F = F_0 \cos(\Omega t + \varphi_0) \quad (4.1)$$

trong đó  $F_0$  và  $\Omega$  lần lượt là biên độ và tần số góc của ngoại lực.

Đồ thị li độ - thời gian của vật được thể hiện trong Hình 4.6 (trong trường hợp ngoại lực điều hoà cùng pha với dao động cưỡng bức ở giai đoạn ổn định) gồm hai giai đoạn:

- + Giai đoạn chuyển tiếp, trong đó dao động của hệ chưa ổn định, biên độ và chu kì dao động biến thiên phức tạp theo thời gian.

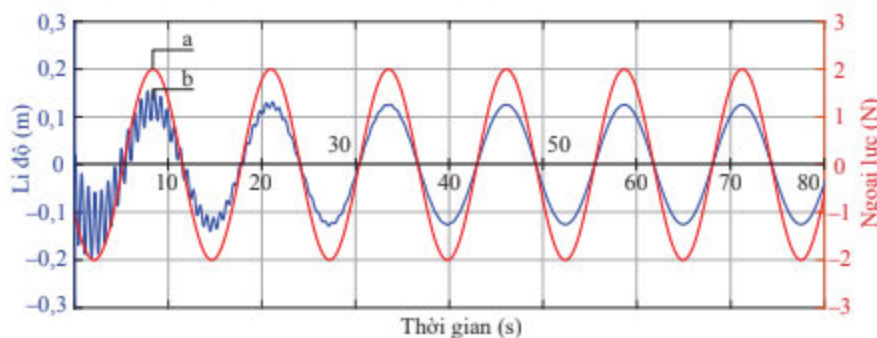
- + Giai đoạn ổn định, trong đó biên độ và chu kì dao động của vật không thay đổi. Giai đoạn ổn định kéo dài cho đến khi ngoại lực không còn tác dụng.



3. Trên thực tế, sau khi được kích thích để dao động, xích đu (Hình 4.2a) hoặc võng sẽ dao động tắt dần. Làm cách nào để chúng có thể dao động với biên độ không đổi?



▲ Hình 4.5. Cơ chế bổ sung năng lượng cho đồng hồ quả lắc



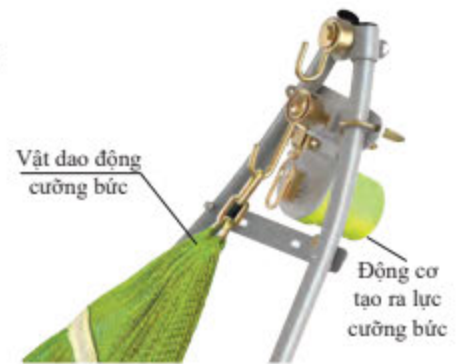
▲ Hình 4.6. Đồ thị: a) ngoại lực điều hoà - thời gian (đường màu đỏ); b) li độ - thời gian của vật (đường màu xanh)



Một trong những ví dụ của dao động cưỡng bức là hệ thống võng máy tự động sử dụng điện như trong Hình 4.7.



Dao động của vật dưới tác dụng của ngoại lực điều hoà trong giai đoạn ổn định được gọi là **dao động cưỡng bức**. Ngoại lực điều hoà tác dụng vào vật khi này được gọi là **lực cưỡng bức**.



▲ Hình 4.7. Võng máy tự động sử dụng điện

Tính chất của dao động cưỡng bức:

- Dao động cưỡng bức là dao động điều hoà.
- Tần số góc của dao động cưỡng bức bằng tần số góc  $\Omega$  của lực cưỡng bức.
- Biên độ của dao động cưỡng bức phụ thuộc vào biên độ  $F_0$ , độ chênh lệch giữa tần số góc của lực cưỡng bức và tần số góc riêng của hệ, lực cản của môi trường xung quanh.

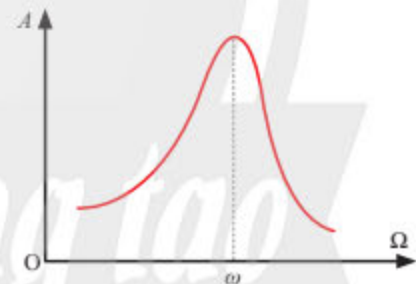


Nêu một số ví dụ về dao động cưỡng bức trong thực tế.

### ►► Hiện tượng cộng hưởng

Khi giữ biên độ  $F_0$  không đổi và thay đổi tần số góc  $\Omega$  của lực cưỡng bức, ta thấy biên độ dao động cưỡng bức  $A$  của hệ thay đổi. Biên độ dao động cưỡng bức đạt giá trị cực đại  $A_{\max}$  khi tần số góc của lực cưỡng bức bằng tần số góc riêng của hệ dao động  $\Omega = \omega$  như đồ thị trong Hình 4.8.

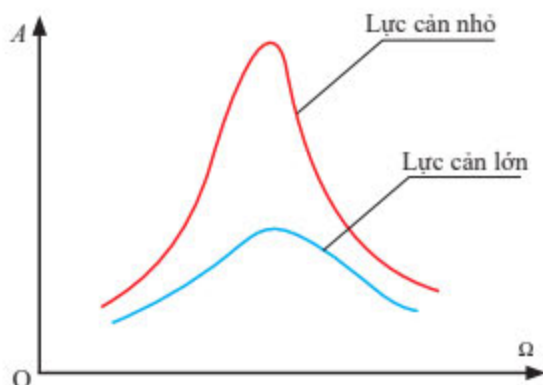
Khi tác dụng vào vật, lực cưỡng bức đã thực hiện công và bổ sung năng lượng cho vật, giúp vật duy trì dao động với biên độ không đổi.



▲ Hình 4.8. Sự phụ thuộc của biên độ dao động cưỡng bức vào tần số góc của lực cưỡng bức



**Hiện tượng cộng hưởng** xảy ra khi tần số góc của lực cưỡng bức bằng tần số góc riêng của hệ dao động. Khi này, biên độ dao động cưỡng bức của hệ đạt giá trị cực đại  $A_{\max}$ .

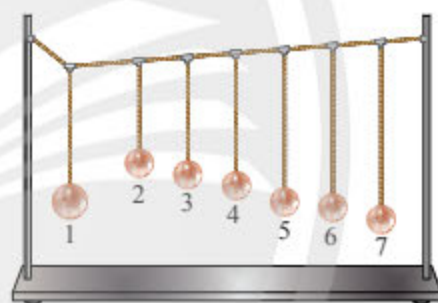


▲ Hình 4.9. Sự phụ thuộc của biên độ dao động điều hoà vào tần số góc của ngoại lực điều hoà khi lực cản tác dụng vào vật dao động thay đổi

Khi lực cản của môi trường thay đổi, độ lớn cực đại của biên độ dao động cưỡng bức cũng thay đổi. Hình 4.9 minh hoạ sự phụ thuộc của biên độ dao động cưỡng bức vào tần số góc của lực cưỡng bức ứng với các giá trị khác nhau của lực cản môi trường. Kết quả cho thấy khi độ lớn của lực cản môi trường tăng lên thì đỉnh của đường đồ thị loe ra và biên độ dao động cưỡng bức cực đại  $A_{\max}$  giảm xuống.



Bố trí thí nghiệm hệ con lắc Barton như Hình 4.10. Mô hình gồm nhiều con lắc đơn có chiều dài dây treo khác nhau được gắn trên cùng một dây treo đàn hồi. Khi con lắc số 1 được kích thích để dao động, những con lắc còn lại (từ số 2 đến 7) sẽ bắt đầu dao động. Giải thích vì sao chúng dao động và dự đoán về biên độ dao động của chúng. Thực hiện thí nghiệm kiểm chứng.



▲ Hình 4.10. Con lắc Barton

### ➤ Lợi ích và tác hại của hiện tượng cộng hưởng

Trong cuộc sống, những hiểu biết về hiện tượng cộng hưởng được ứng dụng trong lĩnh vực xây dựng, âm nhạc, y học, thông tin liên lạc,...

– Khi thiết kế các công trình lớn như nhà cao tầng hoặc cầu đường, các kĩ sư cần có những phương án xử lí kĩ thuật nhằm tránh xảy ra cộng hưởng trên hệ thống. Ví dụ: Cầu Thiên niên kỉ tại London (Hình 4.11) đã phải tạm đóng sau ba ngày đón khách du lịch vào năm 2000 vì hiện tượng cộng hưởng đã xảy ra khi khách tham quan cùng đi trên cầu, vô tình tạo ra một ngoại lực cưỡng bức có tần số dao động xấp xỉ tần số dao động riêng của cầu, làm cho cầu rung



4. Trình bày một số lợi ích và tác hại của hiện tượng cộng hưởng trong thực tế mà em đã biết.



▲ Hình 4.11. Cầu đi bộ Thiên niên kỉ tại London, Vương Quốc Anh



lắc rất mạnh (Nguồn: *www.theguardian.com*). Các kỹ sư đã mất khoảng hai năm để bổ sung bộ giảm chấn khối lượng nhằm tạo ra dao động tắt dần tới hạn trên cầu.

– Vào tháng 9/1985, một trận động đất lớn (8,1 độ richter), có tâm chấn tại bờ biển phía tây của nước Mexico. Tại thủ đô Mexico, cách tâm chấn đến 400 km, sóng địa chấn đã tạo ra lực cưỡng bức lên các toà nhà, gây hiện tượng cộng hưởng, làm cho nhiều toà nhà có độ cao trung bình rung lắc dữ dội và sụp đổ hoàn toàn, trong khi những toà nhà cao hơn hoặc thấp hơn hẳn lại đứng vững. (Nguồn: *www.britannica.com*)

– Trong lĩnh vực âm nhạc: Mỗi nhạc cụ phát ra những giai điệu âm thanh mang nét đặc trưng riêng của nhạc cụ đó. Để khuếch đại độ to của âm thanh mà không làm mất đi nét đặc trưng riêng đó, người ta sử dụng một buồng đặc biệt là buồng cộng hưởng như hộp đàn guitar, hộp vĩ cầm.



Tìm hiểu và trình bày hoạt động của bộ giảm chấn khối lượng, là một con lắc được treo trên toà nhà Taipei 101 tại thành phố Đài Bắc, Đài Loan (Hình 4.1).



Tìm hiểu và trình bày ngắn gọn phương án kỹ thuật để hạn chế thiệt hại cho các toà nhà, đặc biệt là các toà nhà ca tầng, tại những nơi thường xảy ra động đất như Nhật Bản.



### Máy đo địa chấn

Máy đo địa chấn là một thiết bị được dùng để ghi nhận những chuyển động bất thường của mặt đất gây ra bởi sự lan truyền sóng chấn động từ tâm của những trận động đất. Đa phần các máy đo địa chấn thường hoạt động như sau: Một giá treo được gắn chặt vào mặt đất, một vật nặng được treo lơ lửng vào giá và có xu hướng đứng yên trong khi giá treo chuyển động theo mặt đất. Chuyển động của lớp vỏ Trái Đất trong các trận động đất được đo tương đối với bất kì vật thể nào, không phụ thuộc vào chuyển động của mặt đất. Khi mặt đất rung chuyển, đầu bút trên quả nặng sẽ dao động và vạch lên bản ghi (một cuộn giấy được quay đều). Việc phân tích tín hiệu thu được trên bản ghi cho ta biết thông tin của những sóng địa chấn gây ra bởi những trận động đất.

## BÀI TẬP

1. Cho ví dụ về một số ứng dụng của dao động tắt dần trong thực tiễn.
2. Hãy chỉ ra hai trường hợp cộng hưởng có lợi và hai trường hợp cộng hưởng có hại. Trong từng trường hợp hãy chỉ rõ hệ dao động và nguồn gốc gây ra sự cộng hưởng.
3. Máy đo địa chấn được sử dụng để phát hiện và đo đạc những rung động địa chấn được tạo ra bởi sự dịch chuyển của lớp vỏ Trái Đất. Năng lượng từ các cơn địa chấn có khả năng kích thích con lắc lò xo bên trong máy đo làm đầu bút di chuyển để vẽ lên giấy (Hình 4P.1).
  - a) Dao động của con lắc lò xo trong máy đo địa chấn khi cơn địa chấn xuất hiện là loại dao động gì? Giải thích.
  - b) Tần số của những cơn địa chấn thường nằm trong khoảng 30 Hz – 40 Hz. Để kết quả ghi nhận là tốt nhất, hệ con lắc lò xo trong máy đo địa chấn cần được thiết kế để có tần số dao động riêng trong khoảng nào? Giải thích.



▲ Hình 4P.1. Máy đo địa chấn

# TỔNG KẾT CHƯƠNG 1

## 1 MÔ TẢ DAO ĐỘNG

- Dao động của hệ xảy ra dưới tác dụng chỉ của nội lực được gọi là dao động tự do (dao động riêng).
- Li độ của vật dao động là toạ độ của vật mà gốc toạ độ được chọn trùng với vị trí cân bằng.
- Biên độ là độ lớn cực đại của li độ.
- Dao động điều hoà là dao động tuần hoàn mà li độ của vật dao động là một hàm cosin (hoặc sin) theo thời gian.
- Chu kì dao động là khoảng thời gian để vật thực hiện được một dao động. Tần số dao động được xác định bởi số dao động mà vật thực hiện được trong một giây.

$$f = \frac{1}{T}$$

Trong hệ SI, chu kì dao động có đơn vị là giây (s) và tần số dao động có đơn vị là héc (Hz).

- Pha dao động là một đại lượng đặc trưng cho trạng thái của vật trong quá trình dao động. Độ lệch pha giữa hai dao động điều hoà cùng chu kì (cùng tần số) được xác định theo công thức:

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

- Tần số góc của dao động là đại lượng đặc trưng cho tốc độ biến thiên của pha dao động. Đối với dao động điều hoà, tần số góc có giá trị không đổi và được xác định theo công thức:

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

Trong hệ SI, tần số góc có đơn vị là radian trên giây (rad/s).

## 2 CÁC PHƯƠNG TRÌNH TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

- Phương trình li độ của vật dao động:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$$

- Phương trình vận tốc của vật dao động:

$$\mathbf{v} = \omega A \cos\left(\omega t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) = -\omega A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

- Phương trình gia tốc của vật dao động:

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x$$



### 3 NĂNG LƯỢNG TRONG DAO ĐỘNG ĐIỀU HOÀ

- Thế năng trong dao động điều hoà được tính theo công thức:

$$W_t = \frac{1}{2} Kx^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi_0)$$

- Động năng của vật dao động điều hoà được tính theo công thức:

$$W_d = \frac{1}{2} m\mathbf{v}^2 = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi_0)$$

- Cơ năng trong dao động điều hoà:

$$W = W_t + W_d = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2$$

### 4 DAO ĐỘNG TẮT DẦN VÀ HIỆN TƯỢNG CỘNG HƯỞNG

- Dao động tắt dần là dao động có biên độ giảm dần theo thời gian.

- Dao động của vật dưới tác dụng của ngoại lực điều hoà trong giai đoạn ổn định được gọi là dao động cưỡng bức. Ngoại lực điều hoà tác dụng vào vật khi này được gọi là lực cưỡng bức.

- Hiện tượng cộng hưởng xảy ra khi tần số góc của lực cưỡng bức bằng tần số góc riêng của hệ dao động. Khi này, biên độ dao động cưỡng bức của hệ đạt giá trị cực đại  $A_{\max}$ .

## SÓNG

## Chương 2

## Bài 5

## SÓNG VÀ SỰ TRUYỀN SÓNG

- Quá trình truyền sóng.
- So sánh sóng dọc và sóng ngang.
- Một số tính chất đơn giản của âm thanh và ánh sáng.



Vào lúc 9 giờ 22 phút, sáng ngày 14/03/2022, một trận động đất xảy ra tại tỉnh Điện Biên (Theo Báo Tuổi trẻ). Vì sao tại những nơi như một số huyện giáp ranh của tỉnh Sơn La cách tâm chấn khoảng 20 km, nhà cửa và các đồ đạc, vật dụng của gia đình lại bị rung lắc? Động đất đã lan truyền như thế nào?



## 1 QUÁ TRÌNH TRUYỀN SÓNG

## ➤ Khái niệm sóng

Một biến động đột ngột (hay còn gọi là chấn động) được lan truyền trong một môi trường gây ra hiện tượng sóng (Hình 5.1). Sóng từ một vị trí xác định trong không gian (nguồn sóng) được phát ra và truyền đi thông qua môi trường vật chất (môi trường rắn, lỏng và khí) được gọi là sóng cơ. Ví dụ: Khi nghệ sĩ kéo vĩ cầm (Hình 5.2a), sóng âm thanh từ đàn truyền đến tai khán thính giả; sóng nước lan truyền trên mặt biển (Hình 5.2b),... Nếu nguồn sóng thực hiện dao động tuần hoàn, sóng phát ra cũng có tính chất tuần hoàn. Vậy, sóng là dao động lan truyền trong không gian theo thời gian.



1. Dự đoán trạng thái của mặt nước trong cốc nước khi ta gõ lên mặt bàn một cách liên tục và đủ mạnh tại một vị trí gần cốc nước. Giải thích hiện tượng và tiến hành thí nghiệm để kiểm chứng.



▲ Hình 5.1. Tay người tạo ra chấn động truyền đến cốc nước



a)



b)

▲ Hình 5.2. a) Nghệ sĩ kéo vĩ cầm; b) Sóng nước trên mặt biển

Khi sóng truyền trong không gian, các phần tử môi trường không truyền theo phương truyền sóng mà chỉ dao động tại chỗ. Ví dụ, xét một quả bóng được thả nổi trên mặt nước đang có sóng truyền qua như Hình 5.3. Giả sử trời lặng gió,



ta thấy quả bóng không dịch chuyển theo phương truyền của sóng trên mặt nước mà chỉ dao động tại chỗ.

Ngoài sóng cơ, là sóng truyền trong môi trường do các phần tử của môi trường thực hiện dao động thì còn có một loại sóng khác đó là sóng điện từ. Sóng điện từ có thể lan truyền qua cả chân không. Đây là một trong nhiều sự khác biệt giữa sóng điện từ và sóng cơ. Ánh sáng hoặc sóng vô tuyến điện là sóng điện từ.



Sóng là dao động lan truyền trong không gian theo thời gian. Khi sóng truyền đi, phần tử môi trường không truyền theo phương truyền sóng mà chỉ dao động tại chỗ.

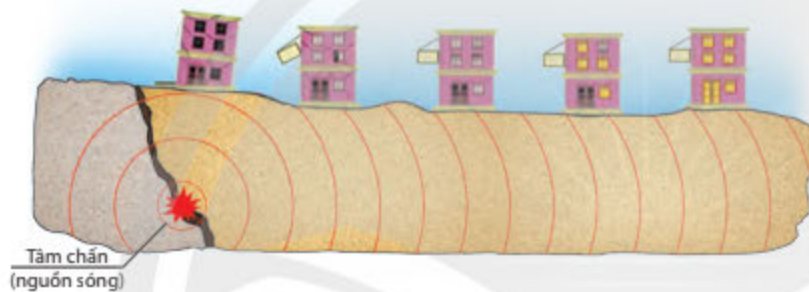


- Quan sát Hình 5.3 và dự đoán phương chuyển động của quả bóng khi có sóng trên mặt nước trong điều kiện lặng gió.



▲ Hình 5.3. Quả bóng trên mặt nước có sóng

### ➔ Quá trình truyền năng lượng của sóng



▲ Hình 5.4. Minh họa sự lan truyền của sóng địa chấn (động đất)

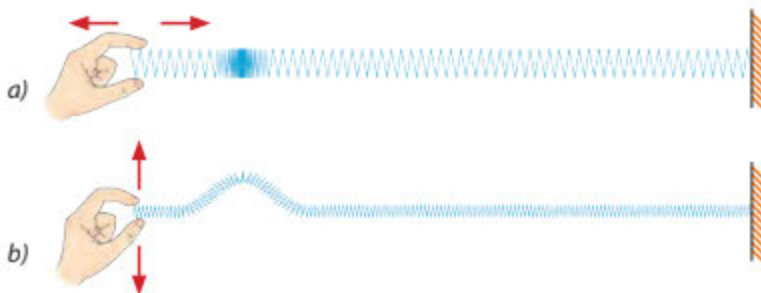
Hình 5.4 cho thấy khi sóng địa chấn được phát ra từ một vị trí khởi nguồn của động đất (tâm chấn), nhà cửa, công trình ở những vị trí cách xa tâm chấn vẫn có thể bị ảnh hưởng. Điều này cho thấy sóng địa chấn mang năng lượng và năng lượng này đã được truyền trong không gian dưới dạng sóng.

Quá trình truyền sóng, dù là sóng cơ hay sóng điện từ, đều là quá trình **truyền năng lượng**. Khi sóng cơ truyền trong một môi trường, năng lượng của sóng là tổng hợp của động năng và thế năng của phần tử vật chất dao động.



- Năng lượng sóng được truyền đi theo phương truyền sóng. Do đó, quá trình truyền sóng là quá trình truyền năng lượng.

## 2 SÓNG DỌC VÀ SÓNG NGANG



▲ Hình 5.5. Sóng truyền trên lò xo khi dùng tay tạo ra dao động:

a) dọc theo trục lò xo; b) vuông góc với trục lò xo

- Quan sát Hình 5.5, hãy so sánh phương truyền sóng và phương dao động của từng điểm trên lò xo trong hai trường hợp.

Xét một lò xo có một đầu được gắn cố định vào vách, một đầu tự do như Hình 5.5. Khi dùng tay kích thích để đầu còn lại của lò xo dao động, ta thấy dao động này sẽ được lan truyền trên lò xo theo hai cách khác nhau. Ở cả hai trường hợp trong Hình 5.5, sóng được truyền trên lò xo theo phương ngang từ trái sang phải, trong khi từng phần tử của lò xo dao động theo phương truyền sóng (Hình 5.5a) hoặc theo phương vuông góc với phương truyền sóng (Hình 5.5b), tương ứng với hai loại sóng là sóng dọc và sóng ngang.



Sóng dọc là sóng mà phương dao động của mỗi phần tử môi trường trùng với phương truyền sóng.

Sóng ngang là sóng mà phương dao động mỗi phần tử môi trường vuông góc với phương truyền sóng.

Sóng âm là một ví dụ của sóng dọc. Xét màng loa khi hoạt động, dao động của màng loa được lan truyền làm các phần tử của không khí cũng dao động. Do đó, những vùng áp suất cao và thấp liên tiếp nhau được tạo thành và truyền đến tai người nghe làm màng nhĩ dao động và tạo ra cảm giác về âm thanh (Hình 5.6). Dao động của các phần tử không khí có phương trùng với phương truyền của sóng âm. Sóng truyền ở mặt bàn trong thí nghiệm ở Hình 5.1 và sóng lan truyền trên mặt nước ở Hình 5.3 là sóng ngang: các phần tử trên mặt bàn và trên mặt nước dao động theo phương thẳng đứng, vuông góc với phương truyền sóng là phương ngang.



Trong tự nhiên tồn tại những loại sóng phức tạp, là sự tổng hợp của cả sóng dọc và sóng ngang. Ví dụ như sóng trên mặt nước: trong thực tế, mỗi phần tử của nước thực hiện chuyển động tròn khi sóng truyền qua. Chuyển động này có thể phân tích thành hai loại sóng dọc và ngang đồng thời.



Sóng âm truyền từ loa đến tai người

▲ Hình 5.6. Sự lan truyền của sóng âm



Lấy một số ví dụ về sóng dọc và sóng ngang trong thực tế.



### MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA SÓNG

#### Hiện tượng phản xạ

Khi sóng truyền từ một môi trường đến mặt phân cách với một môi trường khác, một phần của sóng tới được truyền ngược lại vào môi trường ban đầu. Đây là hiện tượng phản xạ sóng.

Một số ví dụ về hiện tượng phản xạ của sóng: âm thanh khi gặp vật cản (như bức tường) sẽ bị phản xạ và tạo ra tiếng vang như trong Hình 5.7, ta có thể nhìn thấy các vật xung quanh (quyển sách, bàn) là do ánh sáng được truyền từ nguồn sáng đến vật và phản xạ để truyền từ vật đến mắt ta (Hình 5.8).



5. Quan sát Hình 5.7, xét trên phương vuông góc với bức tường, nhận xét về chiều truyền của sóng âm trước và sau khi gặp bức tường.





▲ Hình 5.7. Sóng âm phản xạ khi gặp bức tường nên tai người nghe được âm thanh vọng lại



▲ Hình 5.8. Sóng ánh sáng phản xạ khi gặp mặt bàn và quyển sách nên mắt người có thể nhìn thấy hình ảnh của các vật

### ► Hiện tượng khúc xạ

Hiện tượng sóng đổi phương truyền khi đi từ một môi trường này sang một môi trường khác được gọi là hiện tượng khúc xạ. Hiện tượng này có thể dễ dàng quan sát đối với sóng ánh sáng như Hình 5.9. Các tia sáng khi truyền từ nước ra không khí bị đổi phương truyền, do đó ta thấy thìa bị gãy khúc tại mặt tiếp xúc nước – không khí. Ngoài ra, hiện tượng khúc xạ sóng cũng xảy ra đối với sóng biển và sóng âm.



Giải thích vì sao vào những đêm mùa lạnh, ta có thể nghe được âm thanh từ xa trong khi vào mùa nóng ta lại không thể nghe được dù ở cùng khoảng cách.

### ► Hiện tượng nhiễu xạ

Trên Hình 5.10, ta thấy phương truyền của sóng biển khi đi qua khe đã thay đổi và làm cho sóng lan rộng ở phía bên kia khe. Đây là hiện tượng nhiễu xạ, là một trong những đặc trưng của sóng (chỉ có sóng mới có thể gây ra hiện tượng này). Sóng âm cũng có thể gây ra hiện tượng nhiễu xạ.



Một số hiện tượng đặc trưng cho sóng là phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ,...



Khi mở hé cánh cửa để ánh sáng đi qua khe hẹp (Hình 5.11), ta quan sát thấy ánh sáng loang ra một khoảng lớn hơn kích thước khe hẹp. Hãy giải thích hiện tượng này.



6. Quan sát Hình 5.9, nhận xét về hình dạng của chiếc thìa. Thực hiện thí nghiệm kiểm chứng và giải thích.



▲ Hình 5.9. Chiếc thìa khi đặt vào cốc nước



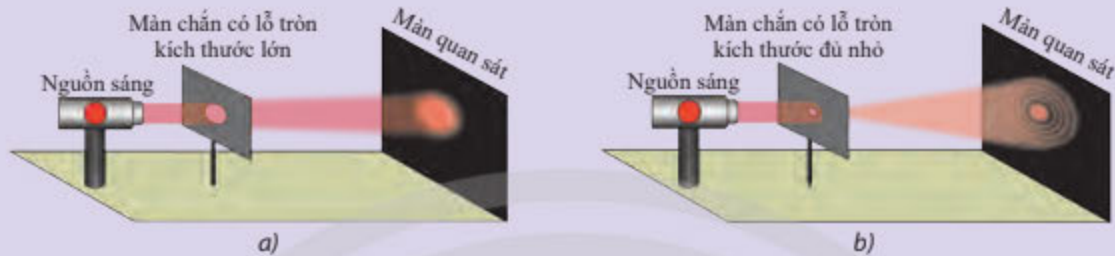
▲ Hình 5.10. Hiện tượng nhiễu xạ của sóng biển



▲ Hình 5.11. Ánh sáng đi qua khe hẹp khi mở hé cửa



Trong một số điều kiện nhất định, ta có thể quan sát được hiện tượng nhiễu xạ của sóng ánh sáng. Trong Hình 5.12a, khi kích thước của lỗ tròn đủ lớn, trên màn có một vệt sáng đồng dạng với lỗ tròn theo đúng định luật truyền thẳng của ánh sáng. Tuy nhiên, khi lỗ tròn có đường kính cỡ khoảng một phần mười milimét, ta không thấy một vệt sáng mà lại thấy nhiều vệt sáng tối xen kẽ như ở Hình 5.12b. Điều này chỉ có thể được giải thích dựa vào hiện tượng nhiễu xạ của sóng ánh sáng.



▲ Hình 5.12. Hiện tượng quan sát được trên màn khi lỗ tròn có kích thước: a) lớn; b) đủ nhỏ



Vận dụng những kiến thức về sóng để giải thích vì sao dơi (Hình 5.13) có thể phát hiện ra chướng ngại vật bằng cơ chế phát sóng siêu âm (là sóng âm thanh có tần số lớn hơn 20 000 Hz).



▲ Hình 5.13. Dơi đang bay

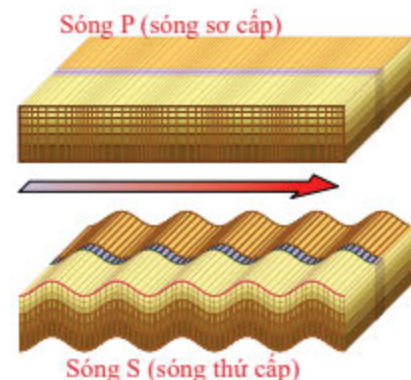
## BÀI TẬP

1. Xét sóng nước truyền qua vị trí của phao câu cá đang nổi trên mặt nước khi lặng gió như Hình 5P.1. Phao có trôi đi theo phương truyền của sóng nước không? Vì sao?



▲ Hình 5P.1. Phao câu cá

2. Hình 5P.2 mô tả hai loại sóng địa chấn truyền trong môi trường khi xảy ra động đất: sóng P (sóng sơ cấp) và sóng S (sóng thứ cấp). Hãy phân biệt hai sóng địa chấn này thuộc sóng dọc hay sóng ngang. Giải thích.




▲ Hình 5P.2. Hai loại sóng địa chấn



# CÁC ĐẶC TRƯNG VẬT LÝ CỦA SÓNG

- Khái niệm bước sóng, biên độ, tần số, tốc độ và cường độ sóng.
- Vận dụng biểu thức mô tả mối liên hệ giữa tốc độ truyền sóng, tần số và bước sóng.

 Động đất cùng những dịch chuyển địa chất lớn ở mặt nước hoặc dưới mặt nước sẽ sinh ra những đợt sóng lớn và đợt ngụt. Đó là hiện tượng sóng thần (Hình 6.1). Sóng thần có thể gây ra những thiệt hại đáng kể về người và vật chất. Để thực hiện những mô phỏng, dự báo chính xác nhất về sóng thần, ta cần có những kiến thức vật lý nào liên quan đến hiện tượng sóng?



▲ Hình 6.1. Sóng thần tại Tohoku, Nhật Bản năm 2011  
(Nguồn: <https://www.flickr.com>)

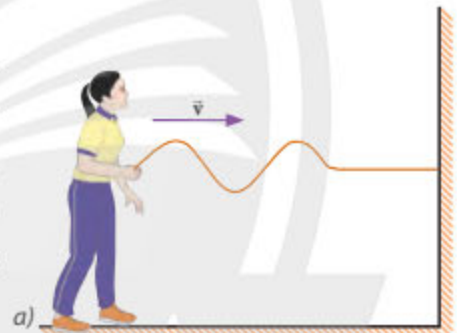
## 1 CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐẶC TRƯNG CỦA SÓNG

### ➔ Chu kì, tần số, biên độ sóng

Một sợi dây đàn hồi, không dẫn, ban đầu được giữ nằm ngang, một đầu được gắn cố định vào tường. Một bạn học sinh kích thích để đầu còn lại của dây dao động (Hình 6.2a). Ta thấy có sóng lan truyền trên dây. Hiện tượng này cũng có thể quan sát được trên thực tế, trong một số bài tập thể dục trong Hình 6.2b.

Thực nghiệm chứng tỏ, khi nguồn sóng là đầu  $O$  của dây được kích thích để thực hiện dao động điều hoà theo phương thẳng đứng với chu kì  $T$  (tần số  $f$ ) thì mỗi điểm trên dây cũng thực hiện dao động với cùng chu kì  $T$  và tần số  $f$  với đầu  $O$ . Ta gọi  $T$  và  $f$  lần lượt là **chu kì** và **tần số của sóng**.

Khi sóng truyền qua, mỗi điểm trong không gian thực hiện dao động tại chỗ. Vì ban đầu tất cả mọi điểm trên phương truyền sóng đều đứng yên nên độ dịch chuyển cũng chính là li độ dao động của chúng. Biên độ dao động của các phần tử môi trường tại điểm đó được gọi là **biên độ sóng**. Những điểm trên phương truyền sóng có li độ cực đại được gọi là **đỉnh sóng**.



▲ Hình 6.2. a) Sóng trên một dây đàn hồi;  
b) Sóng trên dây khi vận động viên thực hiện bài tập thể dục



Chu kì và tần số của sóng lần lượt là chu kì và tần số của nguồn sóng. Biên độ sóng tại một điểm là biên độ dao động của phần tử môi trường tại điểm đó.



**Phân loại sóng âm theo tần số**

– **Sóng âm nghe được** có tần số trong khoảng từ 16 Hz đến 20 000 Hz.

– **Sóng hạ âm** có tần số nhỏ hơn 16 Hz. Sóng hạ âm có thể được phát ra từ những hiện tượng như động đất, sấm, núi lửa. Một số loài vật có thể sử dụng sóng hạ âm để giao tiếp như voi, hà mã,...

– **Sóng siêu âm** có tần số lớn hơn 20 000 Hz. Một số loài vật có thể cảm thụ được sóng siêu âm như chó, dơi,...

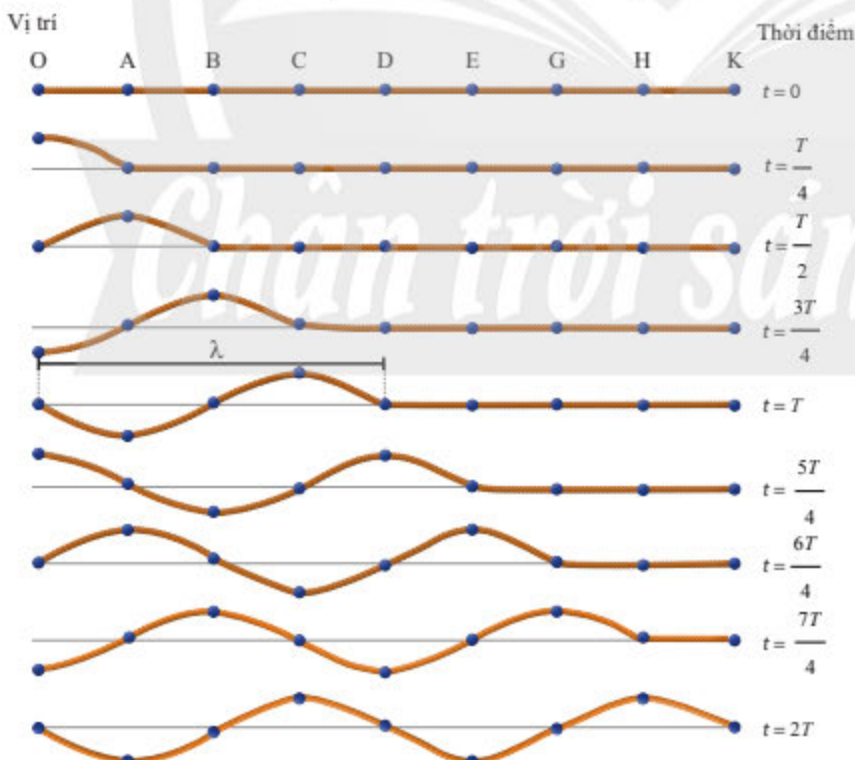


1. Quan sát Hình 6.2, thực hiện các yêu cầu sau:

- a) Cho biết sóng truyền trên dây là sóng dọc hay sóng ngang.
- b) Mô tả chuyển động của từng điểm trên dây.

**Bước sóng và tốc độ truyền sóng**

Xét sợi dây có một đầu được gắn cố định, một đầu được nối với nguồn dao động. Cho nguồn dao động điều hoà và ghi nhận vị trí của từng điểm trên dây tại những thời điểm khác nhau, ta có kết quả được minh hoạ như trong Hình 6.3.



▲ Hình 6.3. Trạng thái dao động của một số vị trí trên dây tại những thời điểm liên tiếp

2. Quan sát Hình 6.3, hãy:

- a) Chỉ ra những điểm trên dây đang có trạng thái dao động giống nhau tại thời điểm đang xét.
- b) So sánh trạng thái dao động của điểm D với trạng thái dao động của nguồn O khi  $t \geq T$ .



Từ Hình 6.3, ta thấy sau khoảng thời gian một chu kì dao động  $T$ , sóng được truyền từ nguồn  $O$  đến điểm  $D$  trên dây. Sau đó, hai điểm  $O$  và  $D$  luôn có cùng trạng thái dao động tại từng thời điểm, nghĩa là chúng dao động cùng pha với nhau.

Quãng đường mà sóng truyền đi được trong một chu kì dao động được gọi là **bước sóng**, kí hiệu là  $\lambda$ . Bước sóng cũng chính là khoảng cách giữa hai điểm gần nhau nhất trên phương truyền sóng dao động cùng pha với nhau. Trong hệ SI, bước sóng có đơn vị là mét (m).

Trong khoảng thời gian  $\Delta t$ , sóng truyền đi được quãng đường  $s$ . Vận tốc truyền sóng được xác định bởi:

$$v = \frac{s}{\Delta t} \quad (6.1)$$

Trong hệ SI, tốc độ truyền sóng có đơn vị là m/s.

Khi  $\Delta t = T$  thì  $s = \lambda$ , công thức (6.1) được viết lại thành:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (6.2)$$



Bước sóng là quãng đường sóng truyền đi được trong một chu kì dao động.

$$\lambda = vT$$

Tốc độ truyền sóng được xác định bằng thương số giữa quãng đường sóng truyền đi được và thời gian để sóng truyền đi quãng đường đó.

$$v = \frac{s}{\Delta t}$$

**Lưu ý:**

– Sự truyền sóng là sự **truyền dao động** giữa các phần tử của môi trường truyền sóng. Trong quá trình sóng được truyền đi, mỗi phần tử thực hiện dao động quanh vị trí cân bằng xác định của nó.

– Cần phân biệt hai khái niệm **tốc độ truyền sóng** với **tốc độ dao động**. Tốc độ truyền sóng trong một môi trường xác định thường là hằng số. Trong khi đó, tốc độ dao động là tốc độ của một chất điểm thực hiện dao động quanh vị trí cân bằng, là đại lượng biến đổi theo thời gian đã được khảo sát trong chương Dao động.

– Sóng truyền trong không gian với tốc độ hữu hạn. Tốc độ truyền sóng phụ thuộc vào đặc tính của môi trường truyền như mật độ môi trường, tính đàn hồi, nhiệt độ, áp suất,...



3. Tốc độ truyền sóng trong môi trường nhanh hay chậm có phụ thuộc tốc độ dao động tại chỗ của các phần tử môi trường không?

Ở 20 °C và áp suất khí quyển (1 atm), sóng âm truyền trong không khí với tốc độ là 343 m/s, trong nước là 1 482 m/s, trong nhôm là 6 420 m/s. Trong khi đó, tốc độ ánh sáng có giá trị khoảng  $3 \cdot 10^8$  m/s trong chân không và thay đổi tùy vào môi trường truyền ánh sáng.

**Ví dụ:** Sóng âm có tần số lớn hơn 20 000 Hz (sóng siêu âm) được sử dụng trong chẩn đoán hình ảnh y khoa (Hình 6.4). Để sóng siêu âm có tần số  $1,5 \cdot 10^6$  Hz có thể truyền xuyên qua mô của cơ thể người và cho hình ảnh rõ nét, bước sóng của sóng siêu âm này không được lớn hơn 1,0 mm. Xác định điều kiện về tốc độ của sóng siêu âm này.

**Bài giải**

Từ biểu thức (6.2), ta có:

$$\lambda = \frac{v}{f} \leq 1,0 \text{ mm}$$

Suy ra điều kiện về tốc độ của sóng siêu âm này là:

$$v \leq 1,5 \cdot 10^3 \text{ m/s.}$$



4. Từ ví dụ về tốc độ truyền sóng âm trong các môi trường rắn, lỏng và khí, hãy rút ra nhận xét và giải thích sự khác nhau này.



▲ Hình 6.4. Chẩn đoán hình ảnh bằng siêu âm



Một bạn học sinh đang câu cá trên hồ nước. Khi có sóng đi qua, bạn quan sát thấy phao câu cá nhô lên cao 6 lần trong 4 s. Biết tốc độ truyền sóng là 0,5 m/s. Tính khoảng cách giữa hai đỉnh sóng liên tiếp.

**➤ Cường độ sóng**

Ta đã biết quá trình truyền sóng là quá trình truyền năng lượng. Tại một vị trí trên phương truyền sóng, độ mạnh yếu của sóng được định nghĩa bởi đại lượng **cường độ sóng**.



Cường độ sóng  $I$  là năng lượng sóng truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian.

$$I = \frac{E}{S\Delta t} = \frac{\mathcal{P}}{S} \quad (6.3)$$

Trong hệ SI, cường độ sóng có đơn vị là  $W/m^2$ .

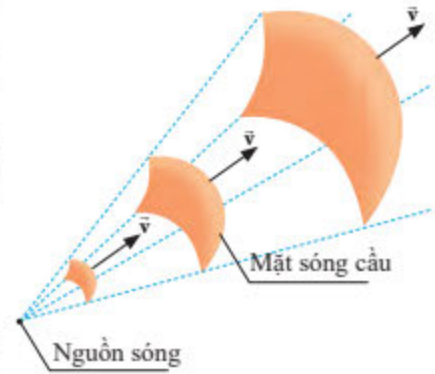
Trong công thức (6.3),  $\mathcal{P} = \frac{E}{\Delta t}$  và  $S$  lần lượt là công suất của sóng (tính theo W) và diện tích mà năng lượng sóng  $E$  (tính theo J) truyền qua trong khoảng thời gian  $\Delta t$  (tính theo s).



**Ví dụ:** Một còi báo động có kích thước nhỏ phát sóng âm trong môi trường đồng chất, đẳng hướng. Ở vị trí cách còi một đoạn 15 m, cường độ sóng âm là  $0,25 \text{ W/m}^2$ . Xem gần đúng sóng âm không bị môi trường hấp thụ. Ở khoảng cách nào từ vị trí của còi thì sóng âm có cường độ bằng  $0,010 \text{ W/m}^2$ ?

**Bài giải**

Vì nguồn âm được xem như là một điểm nên cường độ sóng âm trên một mặt cầu có diện tích  $S = 4\pi r^2$  (Hình 6.5) là như nhau, với  $r$  là bán kính mặt cầu (cũng là khoảng cách từ điểm đang xét đến còi).



**Hình 6.5.** Năng lượng sóng truyền qua mặt cầu có bán kính khác nhau

Tại vị trí  $r_1 = 15 \text{ m}$  và  $r_2$ , ta có:  $I_1 = \frac{\mathcal{P}}{4\pi r_1^2}$  và  $I_2 = \frac{\mathcal{P}}{4\pi r_2^2}$ .

Suy ra:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$ ;  $r_2 = r_1 \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} = 15 \sqrt{\frac{0,25}{0,010}} = 75 \text{ m}$ .

Vậy ở khoảng cách 75 m tính từ vị trí của còi thì sóng âm có cường độ bằng  $0,010 \text{ W/m}^2$ .



Biết cường độ ánh sáng của Mặt Trời đo được tại Trái Đất là  $1,37 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  và khoảng cách từ Mặt Trời đến Trái Đất là  $1,50 \cdot 10^{11} \text{ m}$ . Hãy tính công suất bức xạ sóng ánh sáng của Mặt Trời.

**2 PHƯƠNG TRÌNH SÓNG**

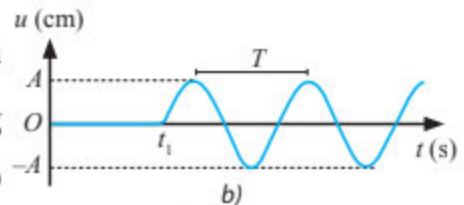
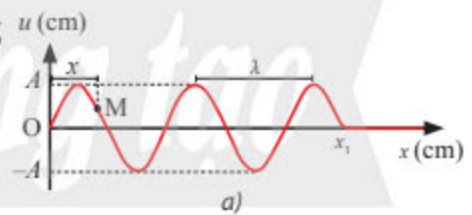
Giả sử nguồn sóng  $O$  dao động điều hoà theo phương vuông góc với trục  $Ox$ , có li độ được mô tả bởi phương trình:

$$u_O = A \cos(\omega t) \quad (6.4)$$

với  $A$  là biên độ dao động và  $\omega$  là tần số góc.

Xét một điểm  $M$  trên dây với  $\overline{OM} = x$ , sóng cần một thời gian  $t_1 = \frac{x}{v}$  để truyền từ  $O$  đến  $M$ . Như vậy li độ dao động tại điểm  $M$  vào thời điểm  $t$  bằng li độ dao động tại điểm  $O$  vào thời điểm  $t - \frac{x}{v}$ . Do đó, phương trình li độ của điểm  $M$  được viết:

$$u_M = A \cos \left[ \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) \right] = A \cos \left( \omega t - \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{x}{v} \right) \quad (6.5)$$



**Hình 6.6.**

- a) Đồ thị li độ - khoảng cách của dây tại một thời điểm sóng trên dây ổn định;
- b) Đồ thị li độ - thời gian của điểm M trên dây, cách nguồn sóng một đoạn  $x$



Phương trình sóng truyền theo trục  $Ox$  là:

$$u = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) \quad (6.6)$$

Trong phương trình (6.6),  $t$  và  $T$  lần lượt là thời điểm đang xét và chu kì sóng (tính theo s),  $x$  và  $\lambda$  lần lượt là khoảng cách từ một điểm trên dây đến nguồn và bước sóng (tính theo m).

Ta có một số nhận xét sau:

- Phương trình (6.6) có tính tuần hoàn theo không gian với chu kì  $\lambda$  (Hình 6.6a) và theo thời gian với chu kì  $T$  (Hình 6.6b).
- Tại cùng một thời điểm, dao động tại điểm  $M$  trễ pha hơn dao động tại nguồn một góc  $\frac{2\pi x}{\lambda}$  (với  $x$  là khoảng cách từ điểm  $M$  đến nguồn).

**Ví dụ:** Sóng truyền trên mặt nước ở một hồ nước được mô tả bởi phương trình  $u = 3,75\cos(5,4t - 0,45x)$ , trong đó  $u$  và  $x$  được tính bằng xentimét (cm) và  $t$  được tính bằng giây (s). Tính tốc độ truyền sóng.

### Bài giải

So sánh phương trình đã cho với phương trình (6.6), ta có:

$$\frac{2\pi}{T} = 5,4 \text{ s}^{-1} \text{ và } \frac{2\pi}{\lambda} = 0,45 \text{ cm}^{-1}.$$

$$\text{Tốc độ truyền sóng là: } v = \frac{\lambda}{T} = \frac{2\pi}{0,45} \cdot \frac{5,4}{2\pi} = 12 \text{ cm/s}.$$



Giải thích vì sao ở Hình 6.6a, đường biểu diễn có một đoạn nằm ngang sau vị trí có tọa độ  $x$ , và ở Hình 6.6b, đường biểu diễn có một đoạn nằm ngang trước thời điểm  $t_1$ .



Đề xuất phương án thí nghiệm và thực hiện thí nghiệm đơn giản để tạo ra sóng truyền trên một sợi dây và xác định các đại lượng đặc trưng của sóng như chu kì, tần số.



### Độ richter

Độ richter, được đề xuất khoảng năm 1935 bởi nhà vật lí Charles F. Richter (1900 – 1985), là đơn vị được dùng để đánh giá độ lớn của cường độ (hay năng lượng phát ra) của các trận động đất. Theo thang richter, biên độ sóng được tính theo thang logarithm, nghĩa là biên độ sóng động đất ở độ 6 richter bằng 10 lần biên độ sóng động đất ở độ 5 richter.

- Độ richter nhỏ hơn 4,0: Động đất nhẹ, cảm nhận được nhưng ít gây thiệt hại.
- Độ richter từ 4,0 đến 6,0: Động đất trung bình, có thể gây thiệt hại cho các kiến trúc không theo tiêu chuẩn phòng ngừa địa chấn.



5. Từ phương trình (6.6), xác định khoảng cách giữa hai điểm gần nhau nhất dao động cùng pha và khoảng cách giữa hai điểm gần nhau nhất dao động ngược pha (theo bước sóng).

6. Quan sát Hình 6.3, xác định độ lệch pha của hai điểm  $A$  và  $B$  trên cùng phương truyền sóng vào thời điểm  $t = \frac{7T}{4}$ .



– Độ richter từ trên 6,0: Động đất mạnh và rất mạnh. Có thể có sức tàn phá nghiêm trọng. Ở Việt Nam, hai trận động đất mạnh nhất ghi nhận được là trận động đất 6,8 độ richter tại Điện Biên vào năm 1935 và trận động đất mạnh 6,7 độ richter tại Lai Châu vào năm 1983. Trận động đất 9,5 độ richter xảy ra tại Chile vào năm 1960, được xem là trận động đất mạnh nhất trên thế giới cho đến năm 2023.

### Mức cường độ âm

Trên thực tế, khi đề cập đến độ to của âm. Ta thường sử dụng khái niệm **mức cường độ âm**. Đối với cảm nhận của tai người, độ to của âm được đo bởi đại lượng **mức cường độ âm**, tính theo hàm logarithm cơ số 10 của tỉ số giữa cường độ âm  $I$  và cường độ âm chuẩn  $I_0$ :

$$L = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (6.7)$$

Mức cường độ âm có đơn vị là đêxiben (dB).

$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  là cường độ âm nhỏ nhất tai người có thể nghe được ở tần số 1 000 Hz. Tai người có thể nghe được âm có cường độ từ  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  đến  $10^3 \text{ W/m}^2$  (ngưỡng đau). Mức cường độ âm của cuộc nói chuyện bình thường khoảng 65 dB.

## BÀI TẬP

1. Khi đi biển, các thủy thủ trên thuyền có thể sử dụng kĩ thuật sonar (một kĩ thuật phát ra sóng siêu âm) dùng để định vị hay điều hướng thuyền nhằm tránh các tảng đá ngầm hoặc phát hiện đàn cá (Hình 6P.1). Trong tự nhiên, nhiều loài động vật như dơi, cá heo cũng có thể phát ra sóng siêu âm để di chuyển và định vị con mồi. Kĩ thuật sonar sử dụng tính chất nào của sóng? Theo em, sóng siêu âm do các tàu thuyền phát ra có ảnh hưởng như thế nào đối với loài cá heo và cá voi?



▲ Hình 6P.1. Sử dụng kĩ thuật sonar để phát hiện đàn cá dưới biển

2. Hai điểm gần nhất trên cùng phương truyền sóng dao động lệch pha nhau một góc  $\pi/2$  cách nhau 60 cm. Biết tốc độ truyền sóng là 330 m/s. Tìm độ lệch pha:
  - a) giữa hai điểm trên cùng phương truyền sóng, cách nhau 360 cm tại cùng một thời điểm.
  - b) tại cùng một điểm trên phương truyền sóng sau một khoảng thời gian là 0,1 s.
3. Một sóng truyền trên một dây rất dài có phương trình:


$$u = 10 \cos(2\pi t + 0,01\pi x)$$

Trong đó  $u$  và  $x$  được tính bằng cm và  $t$  được tính bằng s. Hãy xác định:

- a) Chu kì, tần số và biên độ sóng.
- b) Bước sóng và tốc độ truyền sóng.
- c) Giá trị của li độ  $u$ , tại điểm có  $x = 50$  cm vào thời điểm  $t = 4$  s.

# Bài 7 > SÓNG ĐIỆN TỪ

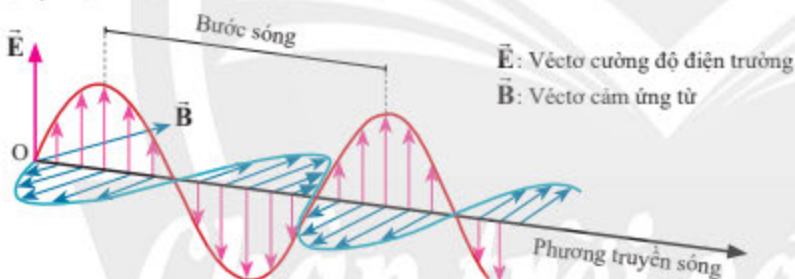
## Sóng điện từ và thang sóng điện từ.

 Tại một số vùng xa xôi, đôi khi ta không thể sử dụng điện thoại để liên lạc bởi điện thoại đang nằm ngoài vùng phủ sóng của đài phát sóng. Vậy sóng mà các đài phát sóng di động đang phát là sóng gì và có tính chất như thế nào?

### 1 ĐỊNH NGHĨA VÀ TÍNH CHẤT CỦA SÓNG ĐIỆN TỪ

#### ➤ Định nghĩa sóng điện từ

Trong Bài 5, chúng ta đã biết sóng điện từ là sóng ngang, nghĩa là phương truyền sóng vuông góc với phương dao động của điện trường và từ trường. Các thành phần vectơ đặc trưng cho điện trường và từ trường dao động cùng pha, vuông góc với nhau và vuông góc với phương truyền sóng điện từ như Hình 7.1.



▲ Hình 7.1. Sự lan truyền của sóng điện từ



1. So sánh sóng điện từ và sóng cơ về: môi trường truyền, tốc độ truyền, sóng ngang hay sóng dọc.



Sóng điện từ là sự lan truyền trong không gian của điện trường biến thiên. Ánh sáng có bản chất là sóng điện từ.

#### ➤ Tính chất của sóng điện từ

Sóng điện từ có một số tính chất sau:

– Tốc độ truyền sóng của sóng điện từ trong chân không là  $c = 3.10^8$  m/s. Trong không khí, ta có thể lấy gần đúng tốc độ này bằng  $3.10^8$  m/s.



- Trong mọi môi trường vật chất, tốc độ truyền của sóng điện từ đều nhỏ hơn  $c$ . Ví dụ: sóng điện từ có tốc độ truyền trong nước là  $2,3 \cdot 10^8$  m/s và  $1,24 \cdot 10^8$  m/s trong kim cương.
- Một số hiện tượng đặc trưng của sóng điện từ là: phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ,...

**Lưu ý:** Khi truyền qua các môi trường khác nhau, tần số và chu kì của sóng điện từ không thay đổi.



**Chiết suất của môi trường**

Tỉ số giữa tốc độ truyền sóng điện từ trong chân không  $c$  và trong một môi trường xác định  $v$  được gọi là chiết suất của môi trường đó:

$$n = \frac{c}{v} \quad (7.1)$$

Như vậy chiết suất của một môi trường luôn lớn hơn hoặc bằng 1.

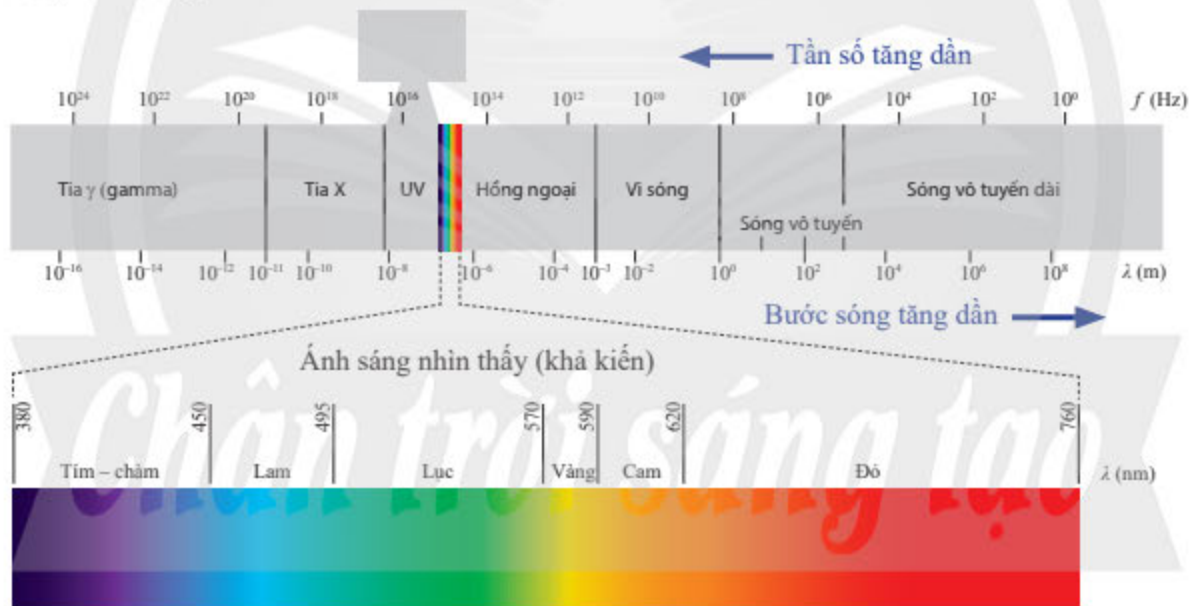


2. Khi sóng điện từ truyền qua hai môi trường khác nhau, bước sóng của nó có bị thay đổi không? Giải thích.

3. Dựa vào Hình 7.2 và cho biết bước sóng của vùng ánh sáng nhìn thấy.

**2 THANG SÓNG ĐIỆN TỪ**

Sóng điện từ có thể được phân loại dựa vào bước sóng hoặc tần số (Hình 7.2).



▲ Hình 7.2. Thang sóng điện từ



Thang sóng điện từ cho biết dài bước sóng và dài tần số ứng với các loại bức xạ khác nhau.

Thứ tự của các sóng điện từ có bước sóng từ nhỏ đến lớn là: Tia  $\gamma$  (tia gamma), tia X hay tia Röntgen (Rơn-ghen), tia tử ngoại, ánh sáng nhìn thấy trải dài từ ánh sáng tím đến đỏ, tia hồng ngoại, các sóng vô tuyến (gồm vi sóng – microwave, các sóng FM, AM và các sóng có bước sóng dài hơn).

4. Dựa vào số liệu trong Hình 7.2, xác định tần số của ánh sáng nhìn thấy.

Các sóng điện từ có bước sóng càng nhỏ thì mang năng lượng càng lớn. Đó là lí do tia X và tia  $\gamma$  có khả năng đâm xuyên mạnh. Khả năng đâm xuyên này phụ thuộc vào khối lượng nguyên tử của vật chất mà các tia này chiếu đến. Khối lượng nguyên tử này càng lớn thì khả năng đâm xuyên của tia X và tia  $\gamma$  càng giảm đi. Tính chất này được áp dụng trong kĩ thuật chụp ảnh bằng tia X trong y khoa (Hình 7.3). Trong khi đó, các sóng vô tuyến được sử dụng rộng rãi trong quá trình thu và phát sóng của điện thoại di động.



▲ Hình 7.3. Hình chụp X-quang bàn tay



Vào thời điểm năm 2022, điện thoại di động ở Việt Nam sử dụng sóng điện từ có tần số trong khoảng từ 850 MHz đến 2 600 MHz. Tính bước sóng của sóng điện từ tương ứng với dải tần số này. Mắt chúng ta có thể thấy được các sóng này không? Vì sao?

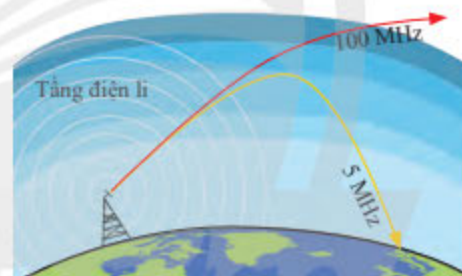


Tìm hiểu và giải thích vì sao khi sử dụng tia X để chụp ảnh trong y khoa như Hình 7.3, ta có thể thấy được xương của bàn tay.

## BÀI TẬP

1. Hình 7P.1 mô tả các hiện tượng xảy ra đối với sóng vô tuyến có các tần số khác nhau do tác dụng của tầng điện li ở khí quyển.

- Gọi tên các hiện tượng liên quan đến sóng vô tuyến có tần số 5 MHz và 100 MHz.
- Giải thích vì sao các sóng vô tuyến ngắn được sử dụng để truyền thông tin trên mặt đất.



▲ Hình 7P.1. Sự lan truyền sóng vô tuyến trong khí quyển

2. Các tia UV-A (có bước sóng trong khoảng từ 320 nm đến 400 nm) trong ánh sáng mặt trời có thể có tác dụng sinh học tốt như kích thích sự sản sinh vitamin D. Nhưng các tia UV-B có bước sóng trong khoảng từ 280 nm đến 320 nm lại có thể nguy hiểm như gây ung thư da.


Bằng cách tra cứu sách, báo, hãy lập biểu đồ cho biết ở địa phương em, trong khoảng thời gian nào của một năm và thời gian nào trong ngày ta cần phải phòng tránh tia UV-B.

3. Một vệ tinh nhân tạo chuyển động ở độ cao 575 km so với mặt đất phát sóng vô tuyến có tần số 92,4 MHz với công suất bằng 25,0 kW về phía mặt đất. Hãy tính cường độ sóng nhận được bởi một máy thu vô tuyến ở mặt đất ngay phía dưới vệ tinh. Bỏ qua sự hấp thụ sóng của khí quyển.



# Bài 8 GIAO THOA SÓNG

- Giao thoa sóng cơ và giao thoa sóng ánh sáng.
- Công thức tính khoảng vân trong giao thoa ánh sáng qua hai khe hẹp.

 Hình 8.1 cho thấy hình ảnh sóng trên mặt nước là kết quả của sự chồng chất sóng do hai con vịt tạo ra khi bơi. Trong một số trường hợp, sự chồng chất sóng này dẫn đến một hiện tượng thú vị: có những điểm trên mặt nước dao động mạnh và những điểm dao động yếu hoặc đứng yên. Vậy hiện tượng đó là gì và điều kiện nào để hiện tượng này xảy ra?



▲ Hình 8.1. Sóng nước do hai con vịt tạo ra

## 1 GIAO THOA SÓNG CƠ

### Thí nghiệm khảo sát hiện tượng giao thoa sóng

\* **Mục đích:** Khảo sát định tính hiện tượng sóng trên mặt nước khi có hai nguồn dao động cùng tần số và cùng pha đặt gần nhau.

\* **Dụng cụ:**

- khay nước (1), đèn chiếu (2), màn (3).
- Hai viên bi nhỏ (4) gắn vào cùng một cần rung.
- Máy phát tần số (5).
- Gương phẳng (6).

\* **Tiến hành thí nghiệm:**

*Bước 1:* Bố trí thí nghiệm như Hình 8.2.

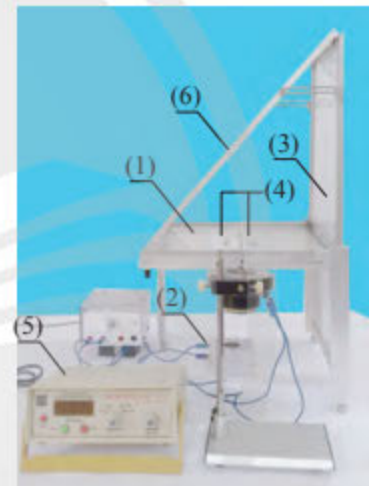
*Bước 2:* Gắn hai viên bi vào cần rung và nối cần rung vào máy phát tần số.

*Bước 3:* Đặt hai viên bi sao cho chúng khê chạm vào mặt nước.

*Bước 4:* Bật đèn chiếu. Bật máy phát tần số để hai viên bi dao động theo phương thẳng đứng là hai nguồn tạo ra sóng lan truyền trên mặt nước.

*Bước 5:* Điều chỉnh tần số để quan sát rõ hiện tượng.

\* **Báo cáo kết quả thí nghiệm:** Quan sát hình ảnh sóng nước được chiếu lên màn và rút ra kết luận.



▲ Hình 8.2. Bố trí thí nghiệm khảo sát hiện tượng giao thoa sóng nước



1. Quan sát thí nghiệm và mô tả lại hiện tượng quan sát được như trong Hình 8.3.



▲ Hình 8.3. Hình ảnh giao thoa sóng nước thu được trên màn

## ► Hiện tượng giao thoa sóng

Trong thí nghiệm giao thoa sóng (Hình 8.2), hai sóng trên mặt nước được sinh ra từ sự dao động của hai viên bi có cùng phương dao động, cùng tần số và cùng pha với nhau do được nối vào cùng một nguồn dao động. Hai viên bi đóng vai trò như hai **nguồn kết hợp**. Hai sóng được tạo ra từ hai nguồn kết hợp được gọi là hai sóng kết hợp. Tổng quát, hai sóng kết hợp là hai sóng có cùng phương dao động, cùng tần số và độ lệch pha không đổi theo thời gian.

Khi hai sóng kết hợp gặp nhau, trong môi trường xuất hiện những điểm dao động với biên độ cực đại và những điểm dao động với biên độ cực tiểu (có thể bằng không) lần lượt tương ứng với trường hợp hai sóng tăng cường (hai sóng cùng pha tại những điểm này) và làm suy giảm nhau (hai sóng ngược pha tại những điểm này). Đây chính là hiện tượng **giao thoa sóng**.



Hiện tượng giao thoa sóng là hiện tượng hai sóng kết hợp gặp nhau, tăng cường nhau hoặc làm suy yếu nhau tại một số vị trí trong môi trường. Điều kiện để có giao thoa là phải có sự kết hợp từ hai nguồn sóng dao động cùng phương, cùng tần số và có độ lệch pha không đổi theo thời gian.

Hiện tượng giao thoa là hiện tượng đặc trưng của sóng. Nghĩa là chỉ có những đối tượng vật lý có bản chất sóng mới có thể sinh ra hiện tượng này. Ngược lại, khi ta quan sát được hiện tượng giao thoa trong một vùng không gian thì ta có thể kết luận trong vùng không gian đó có sự tồn tại của sóng.



Trong môi trường truyền sóng, những điểm có khoảng cách đến hai nguồn lần lượt là  $d_1$  và  $d_2$  sẽ dao động với biên độ cực đại khi:

$$d_2 - d_1 = k\lambda \quad (8.1)$$

và dao động với biên độ cực tiểu khi:

$$d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad (8.2)$$

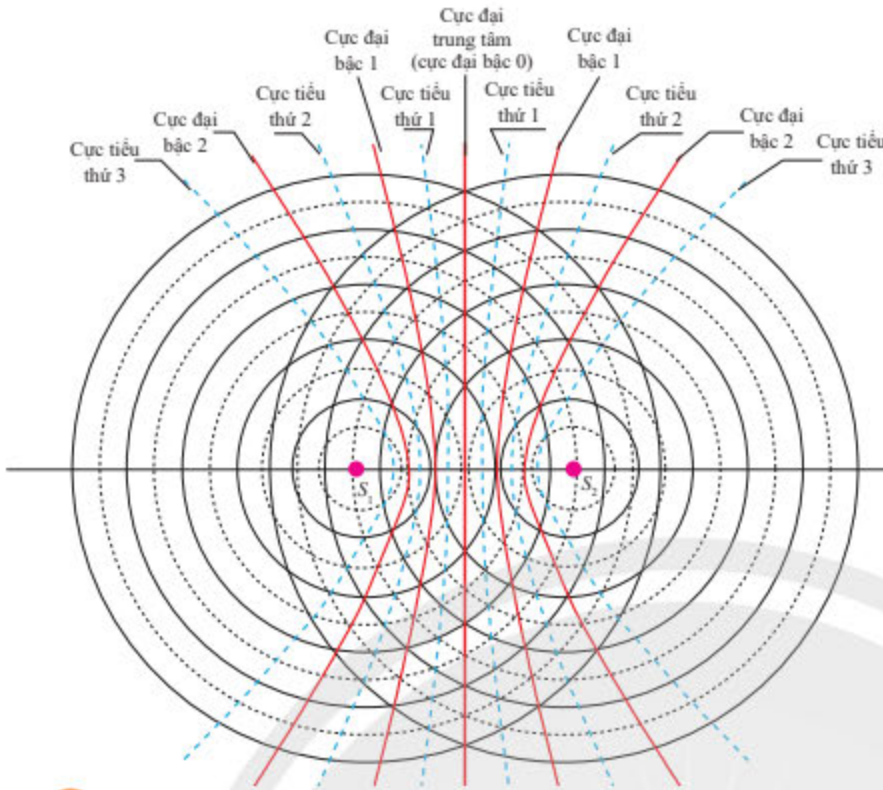
với  $k$  là một số nguyên ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ).

Hình 8.4 minh họa tập hợp những điểm có biên độ sóng tổng hợp đạt cực đại (đường màu đỏ) và cực tiểu (đường màu xanh) lần lượt tương ứng với những vị trí mà hai sóng thành phần tăng cường nhau hoặc làm suy giảm nhau.



2. Quan sát thí nghiệm được thực hiện theo bố trí trong Hình 8.2 và nhận xét sóng tạo bởi hai viên bi về: tần số, pha và phương dao động.





◀ Hình 8.4. Vị trí của các điểm cực đại, cực tiểu trong giao thoa sóng nước



Trong thí nghiệm giao thoa sóng trên mặt nước với hai nguồn kết hợp dao động cùng biên độ, những điểm nằm trên đường trung trực của đoạn thẳng nối hai nguồn sẽ dao động với biên độ như thế nào nếu:

- hai nguồn dao động cùng pha?
- hai nguồn dao động ngược pha?



Giải thích vì sao trong tự nhiên, ta thường không quan sát được hiện tượng giao thoa của sóng như trường hợp sóng nước tạo bởi hai con vịt đang bơi (Hình 8.1).



### Xác định vị trí các vân giao thoa

Trong thí nghiệm giao thoa sóng (Hình 8.2), gọi  $S_1$  và  $S_2$  lần lượt là hai nguồn (hai viên bi) dao động cùng biên độ  $A$ , cùng pha, cùng tần số  $f$  và có phương trình li độ:

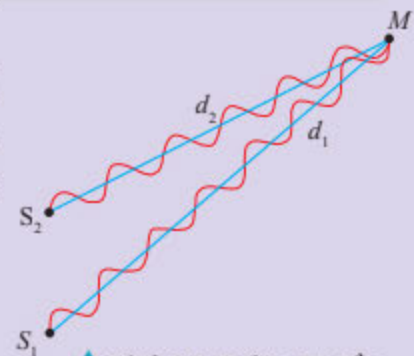
$$u_1 = u_2 = A \cos(\omega t) = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (8.3)$$

Xét một điểm  $M$  trên mặt nước cách  $S_1$  một đoạn  $S_1M = d_1$  và cách  $S_2$  một đoạn  $S_2M = d_2$  như Hình 8.5. Xem biên độ dao động không thay đổi trong quá trình truyền sóng, theo công thức (8.3), dao động  $u_1$  và  $u_2$  truyền đến  $M$  lần lượt có phương trình:

$$u_{1M} = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_1}{\lambda}\right)$$

và

$$u_{2M} = A \cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi d_2}{\lambda}\right) \quad (8.4)$$



▲ Hình 8.5. Đường truyền của hai sóng từ hai nguồn dao động  $S_1$  và  $S_2$  đến  $M$

với  $\lambda = vT = \frac{v}{f}$  là bước sóng;  $v$  là tốc độ truyền sóng trên mặt nước.

Ta có phương trình li độ sóng tổng hợp tại điểm M có dạng:

$$u_M = u_{1M} + u_{2M} = 2A \cos\left(\pi \frac{d_2 - d_1}{\lambda}\right) \cos\left(\omega t - \pi \frac{d_2 + d_1}{\lambda}\right) \quad (8.5)$$

Độ lệch pha của hai dao động thành phần tại M:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) \quad (8.6)$$

Biên độ sóng tổng hợp tại M:

$$A_M = 2A \left| \cos\left(\pi \frac{d_2 - d_1}{\lambda}\right) \right| \quad (8.7)$$

-  $A_M$  đạt cực đại nếu hai dao động thành phần cùng pha:  $\Delta\varphi = 2k\pi$ , với  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Do đó:  $d_2 - d_1 = k\lambda$  (8.8)

-  $A_M$  đạt cực tiểu nếu hai dao động thành phần ngược pha:  $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$ , với  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Do đó:  $d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$  (8.9)

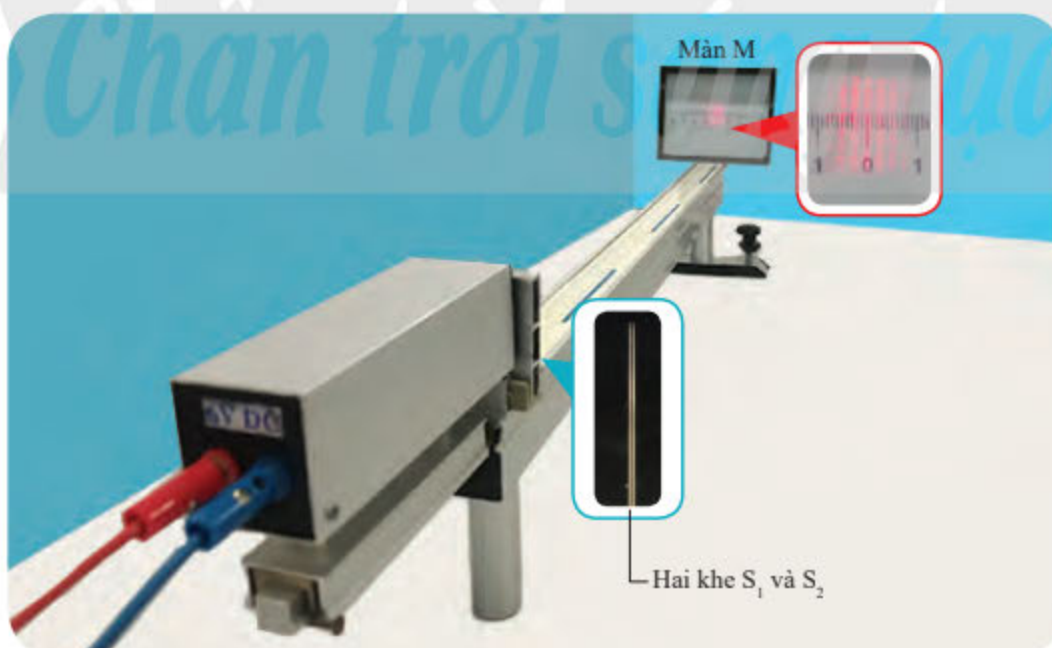
## 2 GIAO THOA SÓNG ÁNH SÁNG

### Thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng

Ta đã biết, ánh sáng có bản chất sóng nên có thể gây ra hiện tượng giao thoa. Có nhiều cách khác nhau để tạo ra hiện tượng giao thoa ánh sáng, trong đó có phương án sử dụng hai khe hẹp (được gọi là khe Young) do Thomas Young (Tho-mát Y-âng) (1773 - 1829) đề xuất.



3. Quan sát Hình 8.6 và mô tả hình ảnh nhận được trên màn M.



▲ Hình 8.6. Thí nghiệm giao thoa khe Young sử dụng nguồn laser đỏ



Thí nghiệm giao thoa ánh sáng được bố trí như trong Hình 8.6, trong đó ánh sáng từ nguồn laser đỏ sẽ đến hai khe rất nhỏ  $S_1$  và  $S_2$  được đặt rất gần nhau. Trên màn  $M$  đặt song song với mặt phẳng chứa hai khe, ta quan sát thấy một vùng sáng hẹp, trong đó xuất hiện những vạch sáng màu đỏ và các vạch tối xen kẽ, cách đều nhau và song song với hai khe (Hình 8.6).

Hiện tượng quan sát được trong thí nghiệm minh họa trên Hình 8.6 là hiện tượng giao thoa ánh sáng. Các vạch sáng, vạch tối được gọi là **vân giao thoa**. Vạch sáng ứng với biên độ dao động tổng hợp cực đại được gọi là **vân sáng**, vạch tối ứng với biên độ dao động tổng hợp cực tiểu được gọi là **vân tối**.



Hiện tượng giao thoa ánh sáng là hiện tượng xuất hiện các vạch sáng xen kẽ với các vạch tối khi hai sóng ánh sáng kết hợp gặp nhau.

#### ➔ Khoảng vân và vị trí vân giao thoa trên màn

Trong sơ đồ thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng (Hình 8.7), xét điểm  $A$  trên màn quan sát có tọa độ xác định bởi  $\overline{OA} = x$ . Đặt  $S_1S_2 = a$ ,  $IO = D$  (khoảng cách từ mặt phẳng chứa hai khe hẹp đến màn quan sát  $M$ ),  $S_1A = d_1$  và  $S_2A = d_2$ . Để quan sát rõ vân giao thoa trên màn,  $a$  phải rất nhỏ so với  $D$  ( $a$  khoảng vài milimét,  $D$  khoảng vài chục hoặc vài trăm xentimét).

Với ánh sáng có bước sóng  $\lambda$ :

– Điểm  $A$  là vân sáng khi  $d_2 - d_1 = k\lambda$ , với  $k$  là một số nguyên ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ). Vị trí các vân sáng trên màn được xác định:

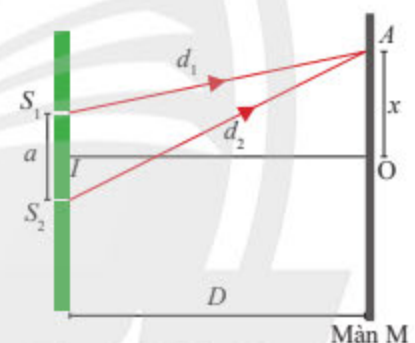
$$x_s = k \frac{\lambda D}{a} \quad (8.10)$$

– Điểm  $A$  là vân tối khi  $d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$ , với  $k$  là một số nguyên ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ). Vị trí các vân tối trên màn được xác định:

$$x_t = \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{a} \quad (8.11)$$



4. Giải thích hiện tượng quan sát được trong thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng (Hình 8.6).



▲ Hình 8.7. Vị trí của điểm  $A$  trên màn cách các nguồn các khoảng  $d_1$  và  $d_2$



Khoảng cách giữa hai vân sáng (hoặc hai vân tối) liên tiếp được gọi là **khoảng vân**, kí hiệu là  $i$ .

$$i = \frac{\lambda D}{a} \quad (8.12)$$

Trên màn giao thoa, vân sáng có vị trí:

$$x_s = ki \quad (8.13)$$

và vân tối có vị trí:

$$x_t = \left(k + \frac{1}{2}\right)i \quad (8.14)$$

với  $k$  là một số nguyên ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ ).

### ► Vận dụng hiện tượng giao thoa ánh sáng

**Ví dụ:** Trong thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng, khi nguồn sáng là ánh sáng đơn sắc có bước sóng  $\lambda$ , người ta đo khoảng cách giữa 9 vân sáng liên tiếp là 25,3 mm. Cho biết khoảng cách giữa hai khe là 0,200 mm và khoảng cách từ hai khe đến màn là 1 m.

- Tính bước sóng  $\lambda$ .
- Tính khoảng cách từ vân sáng bậc hai đến vân tối thứ tư ở cùng bên so với vân sáng trung tâm (vân sáng cách đều hai khe sáng).

#### Bài giải

- Ta có:  $8i = 25,3$  mm, suy ra  $i = 3,16$  mm.

Từ công thức (8.12), suy ra:

$$\lambda = \frac{ai}{D} = \frac{0,200 \cdot 10^{-3} \cdot 3,16 \cdot 10^{-3}}{1} = 0,632 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 632 \text{ nm}$$

- Khoảng cách từ vân sáng bậc hai đến vân tối thứ tư ở cùng bên so với vân sáng trung tâm là:

$$3,5i - 2i = 1,5i = 1,5 \cdot 3,16 = 4,74 \text{ mm}.$$



Trong thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng, khoảng vân sẽ thay đổi thế nào khi ta thay nguồn sáng đơn sắc có bước sóng  $\lambda$  bằng ánh sáng đơn sắc có bước sóng là  $1,2\lambda$ ? Nếu khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát giữ cố định, ta phải thay đổi khoảng cách giữa hai khe như thế nào để khoảng vân lại có độ lớn như ban đầu?



Tìm hiểu và mô tả sơ lược hình ảnh nhận được trên màn khi ta sử dụng nguồn sáng trắng (như ánh sáng mặt trời) trong thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng.




**BÀI TẬP**

1. Trong thí nghiệm giao thoa sóng trên mặt nước với hai nguồn kết hợp cùng pha, ta thấy tại một điểm cách hai nguồn các khoảng lần lượt là 20 cm và 12 cm, sóng có biên độ cực đại, đồng thời giữa điểm này và đường trung trực của hai nguồn có 4 dãy gồm những điểm dao động với biên độ cực đại. Biết tốc độ truyền sóng là 40 cm/s. Tính tần số của sóng.
2. Thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng thường được sử dụng để đo bước sóng của ánh sáng đơn sắc. Khi chiếu hai khe bằng một nguồn phát ánh sáng đơn sắc, ta thấy vân sáng thứ năm cách vân trung tâm là 2,8 cm. Biết hai khe đặt cách nhau 3,6 mm và cách màn một khoảng 1,5 m. Xác định bước sóng của ánh sáng được dùng trong thí nghiệm.
3. Trong thí nghiệm Young về giao thoa ánh sáng, người ta sử dụng một nguồn sáng phát ra đồng thời hai ánh sáng đơn sắc có bước sóng lần lượt là 400 nm và 600 nm. Biết khoảng cách giữa hai khe là 0,2 mm và khoảng cách từ hai khe đến màn là 1,5 m.
  - a) Tính khoảng cách giữa hai vân sáng bậc ba cùng phía với vân trung tâm.
  - b) Vân trung tâm có màu gì? Tìm khoảng cách gần nhất của một vân cùng màu với vân trung tâm cho đến vân trung tâm này.

*Chân trời sáng tạo*

- Thí nghiệm tạo sóng dừng và giải thích sự hình thành sóng dừng.
- Xác định vị trí nút và bụng của sóng dừng.

 Khi gảy đàn guitar, ta quan sát được dây đàn rung và tạo thành các múi như Hình 9.1. Trong điều kiện nào thì ta có thể quan sát được hiện tượng được gọi là sóng dừng này?

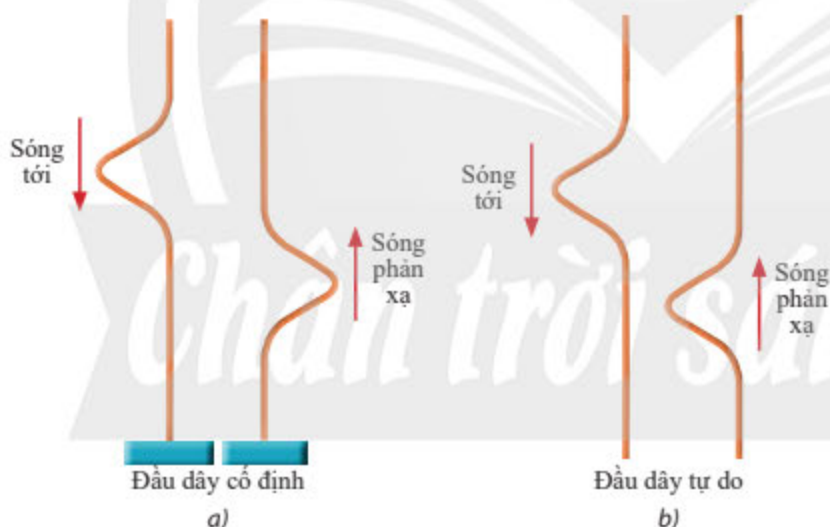


▲ Hình 9.1. Hình ảnh dây đàn guitar khi được gảy

## 1 SỰ PHẢN XẠ SÓNG

### ➤ Sự phản xạ sóng

Xét sóng truyền trên một sợi dây có một đầu được buộc vào điểm cố định (Hình 9.2a) hoặc được để tự do (Hình 9.2b).



1. Quan sát Hình 9.2 và nhận xét chiều biến dạng của dây khi có sóng tới và sóng phản xạ trong hai trường hợp: đầu dây cố định và đầu dây tự do.

▲ Hình 9.2. Quá trình phản xạ sóng trong trường hợp:

a) Đầu dây cố định; b) Đầu dây tự do

Khi gặp vật cản, sóng sẽ bị phản xạ. Sóng được truyền từ nguồn phát đến vật cản được gọi là **sóng tới**, sóng được truyền ngược lại từ vật cản được gọi là **sóng phản xạ**.

Thực nghiệm chứng tỏ, sóng phản xạ có cùng tần số và bước sóng với sóng tới.

Trong trường hợp đầu dây cố định, tại điểm phản xạ, sóng phản xạ ngược pha với sóng tới (Hình 9.2a); trong trường hợp đầu dây tự do, sóng phản xạ cùng pha với sóng tới (Hình 9.2b).



## 2 HIỆN TƯỢNG SÓNG DỪNG

### Thí nghiệm khảo sát hiện tượng sóng dừng

\* **Mục đích:** Khảo sát định tính hiện tượng sóng dừng.

\* **Dụng cụ:**

- Sợi dây AB không đàn, đàn hồi, có chiều dài khoảng 65 cm (1).
- Hệ thống giá đỡ (2).
- Thước thẳng có độ chia nhỏ nhất là 1 mm (3).
- Máy phát tần số (4).

\* **Tiến hành thí nghiệm:**

*Bước 1:* Bố trí thí nghiệm như Hình 9.3.

*Bước 2:* Nối đầu dây A vào máy phát tần số, đầu còn lại của dây được gắn cố định vào giá đỡ.

*Bước 3:* Bật máy phát tần số, điều chỉnh tần số dao động phù hợp để xuất hiện hình ảnh sóng ổn định.

*Bước 4:* Điều chỉnh tần số máy phát; điều chỉnh chiều dài của dây để thay đổi hình dạng sóng ổn định trên dây.

\* **Báo cáo kết quả thí nghiệm:**

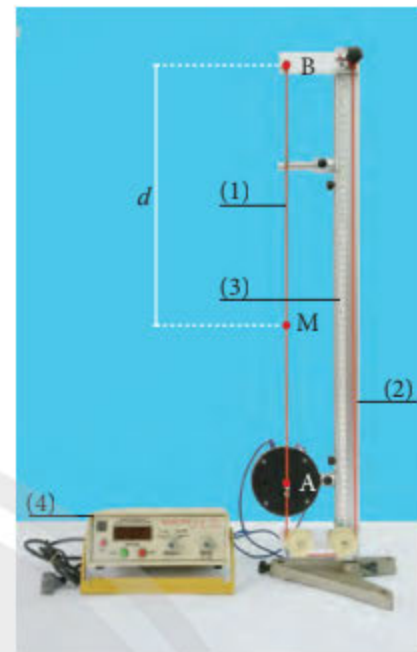
Quan sát hình ảnh sóng ổn định được hình thành trên dây. Xác định số lượng và vị trí của những điểm dao động với biên độ cực đại và cực tiểu trên dây tương ứng với các giá trị tần số và chiều dài dây khác nhau.

### Giải thích hiện tượng sóng dừng

Trong thí nghiệm trên, ta thấy khi hình ảnh sóng được tạo ra trên dây ổn định, trên dây xuất hiện những điểm cố định dao động với biên độ lớn nhất (bụng sóng) và xen kẽ với những điểm đứng yên (nút sóng) (Hình 9.4).

Tại bụng sóng, sóng tới và sóng phản xạ cùng pha; tại nút sóng, sóng tới và sóng phản xạ ngược pha. Sóng có các nút sóng và bụng sóng cố định trong không gian gọi là **sóng dừng**.

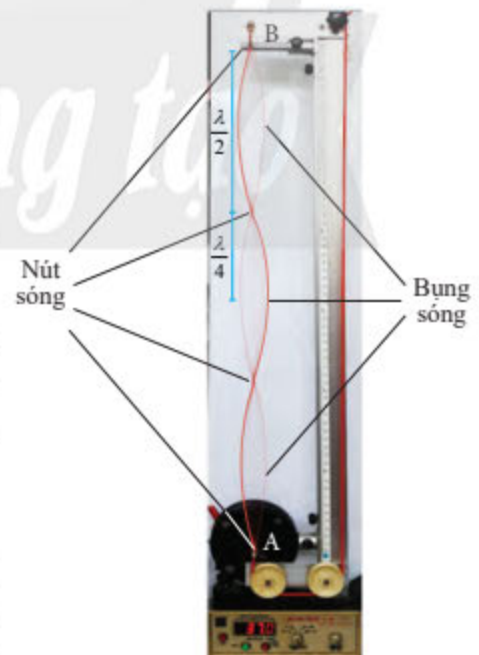
Xét một điểm  $M$  trên một dây đàn hồi  $AB$ , đầu  $A$  của dây gắn vào nhánh của một nguồn phát dao động thẳng đứng với biên độ nhỏ để tạo ra sóng ngang trên dây, đầu  $B$  gắn vào một điểm cố định (Hình 9.3). Tại một điểm  $M$  cách  $B$  một



▲ Hình 9.3. Bố trí thí nghiệm khảo sát hiện tượng sóng dừng



2. Nhận xét về sự phụ thuộc của số lượng điểm cực đại, cực tiểu trên dây với tần số của máy phát tần số.



▲ Hình 9.4. Hình dạng ổn định của sợi dây khi có sóng dừng

đoạn  $MB = d$ , ta có sự chồng chất của sóng tới từ  $A$  và sóng phản xạ từ  $B$ . Khi sóng dừng xuất hiện trên dây (Hình 9.4), sóng tổng hợp tại điểm  $M$  trên dây có cùng tần số với sóng tới và sóng phản xạ, có biên độ phụ thuộc vào khoảng cách từ điểm  $M$  đến đầu cố định của dây.

$$A_M = 2A \left| \cos \left( \frac{2\pi d}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right) \right| \quad (9.1)$$

trong đó  $\lambda$  là bước sóng của sóng truyền trên dây.

Ta có:

\* **Vị trí bụng sóng:** là những điểm dao động với biên độ cực đại  $A_M = 2A$  tương ứng với:

$$d = \left( k + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (9.2)$$

\* **Vị trí nút sóng:** là những điểm đứng yên  $A_M = 0$  tương ứng với:

$$d = k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (9.3)$$



3. Dựa vào sự hình thành của các điểm dao động với biên độ cực đại và cực tiểu trong hiện tượng giao thoa, hãy dự đoán nguyên nhân hình thành bụng sóng và nút sóng trong hiện tượng sóng dừng.



Sóng dừng là sóng có các nút sóng và bụng sóng cố định trong không gian.

Khi có hiện tượng sóng dừng, trên dây xuất hiện những điểm dao động với biên độ cực đại được gọi là **bụng sóng** và những điểm đứng yên được gọi là **nút sóng**.

Vị trí các bụng sóng được xác định bằng biểu thức:

$$d = \left( k + \frac{1}{2} \right) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

Vị trí các nút sóng được xác định bằng biểu thức:

$$d = k \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

Trong đó,  $d$  là khoảng cách từ một điểm trên dây đến một đầu dây.

Bụng sóng và nút sóng xen kẽ và cách đều nhau. Dọc theo dây, hai nút sóng liên tiếp hoặc hai bụng sóng liên tiếp cách nhau một khoảng bằng nửa bước sóng.



### Khảo sát định lượng hiện tượng sóng dừng

Chọn gốc tọa độ  $O$  tại  $B$ , chiều dương của trục  $Ox$  từ  $B$  đến  $M$ . Gốc thời gian được chọn ngay thời điểm sóng tới đến  $B$  và có phương trình:

$$u_{tB} = A \cos(\omega t) = A \cos(2\pi f t) \quad (9.4)$$

với  $f$  là tần số của nguồn phát sóng.



Sóng tới truyền từ  $M$  đến  $B$  sớm pha hơn tại  $B$  và có phương trình:

$$u_{tM} = A \cos\left(\omega t + \frac{2\pi d}{\lambda}\right) \quad (9.5)$$

Do  $B$  là vật cản cố định, sóng phản xạ tại  $B$  có li độ ngược dấu với li độ của sóng tới và có phương trình:

$$u_{pxB} = -A \cos(\omega t) = A \cos(\omega t - \pi) \quad (9.6)$$

Sóng phản xạ truyền từ  $B$  đến  $M$  trễ pha hơn tại  $B$  và có phương trình:

$$u_{pxM} = A \cos\left(\omega t - \pi - \frac{2\pi d}{\lambda}\right) \quad (9.7)$$

Khi sóng tới và sóng phản xạ cùng truyền qua  $M$  thì ở mỗi thời điểm, dao động tại  $M$  là kết quả của sự chồng chất của sóng tới và sóng phản xạ nên phương trình li độ tổng hợp tại  $M$  được xác định:

$$\begin{aligned} u_M &= u_{tM} + u_{pxM} \\ u_M &= A \cos\left(\omega t + \frac{2\pi d}{\lambda}\right) + A \cos\left(\omega t - \pi - \frac{2\pi d}{\lambda}\right) \end{aligned}$$

Áp dụng công thức lượng giác, ta suy ra:

$$u_M = 2A \cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (9.8)$$

**Kết luận:** Sóng tổng hợp tại điểm  $M$  trên dây có cùng tần số với sóng tới và sóng phản xạ, có biên độ phụ thuộc vào khoảng cách từ điểm  $M$  đến đầu cố định của dây.

$$A_M = 2A \left| \cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right) \right|$$

Trên thực tế, sự phản xạ ở hai đầu  $A$  và  $B$  của dây xảy ra nhiều lần, khi sự cộng hưởng xuất hiện trên dây, biên độ dao động tại bụng sóng lớn hơn  $2A$ .

### 3 ĐIỀU KIỆN ĐỂ CÓ SÓNG DỪNG

#### ➤ Trường hợp sợi dây có hai đầu cố định

Đối với sợi dây có hai đầu cố định hoặc một đầu cố định và một đầu dao động với biên độ nhỏ thì khi có sóng dừng, hai đầu dây là hai nút sóng. Ta đã biết khoảng cách giữa hai nút sóng liên tiếp bằng nửa bước sóng. Do đó ta có điều kiện xuất hiện sóng dừng trong trường hợp này là:

$$\ell = n \frac{\lambda}{2} = n \frac{v}{2f} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (9.9)$$

với  $v$  là tốc độ truyền sóng trên dây.

Từ công thức (9.9), ta thấy với  $v$  và  $l$  cố định, tần số  $f$  của nguồn dao động phải thoả mãn điều kiện:

$$f = n \frac{v}{2l} \quad (9.10)$$

Xét sóng âm, ta có:

+ Khi  $n = 1$ :  $f_1 = \frac{v}{2l}$  được gọi là hoạ âm bậc 1 (âm cơ bản).

+ Tổng quát:  $f_n = nf_1$  được gọi là hoạ âm bậc  $n$ .

Trường hợp hai đầu cố định thường gặp ở một số nhạc cụ như đàn guitar, đàn tranh, đàn bầu,... Chú ý là các nhạc cụ này đồng thời phát ra âm cơ bản và các hoạ âm.



Một dây đàn guitar dài 64 cm phát ra âm cơ bản có tần số  $f$  khi được gảy. Biết tốc độ truyền sóng trên dây là 422 m/s.

a) Tính giá trị  $f$ .

b) Người chơi đàn ấn đầu ngón tay lên một phím đàn để tạo thành một vật cản (cố định) làm cho chiều dài của dây ngắn đi (Hình 9.5). Khoảng cách từ phím đàn này đến đầu dây là 3,7 cm. Tính tần số âm cơ bản phát ra bởi dây đàn trong trường hợp này.



▲ Hình 9.5. Đầu ngón tay ấn lên phím đàn

### ➤ Trường hợp sợi dây có một đầu cố định, một đầu tự do

Khi sợi dây có một đầu cố định (được gắn vào nguồn phát dao động nhỏ) và một đầu tự do (vật cản tự do), ta đã biết sóng phản xạ khi gặp vật cản tự do cùng pha so với sóng tới. Khi xảy ra hiện tượng sóng dừng, đầu tự do là một bụng sóng như Hình 9.6. Khoảng cách giữa một bụng sóng và một nút sóng liền kề là  $\frac{\lambda}{4}$ . Do đó ta có điều kiện xuất hiện sóng dừng trong trường hợp này là:

$$l = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} = m \frac{v}{4f} \quad (m = 1, 3, 5, \dots) \quad (9.11)$$

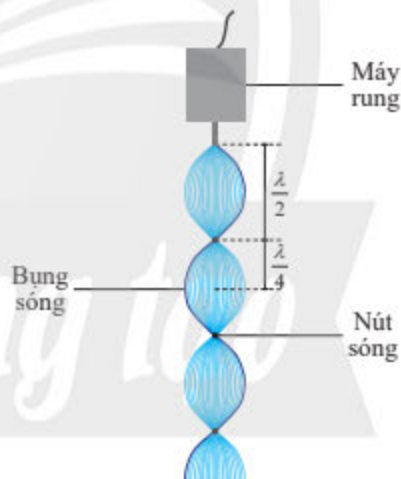
Từ công thức (9.11), ta thấy với  $v$  và  $l$  cố định, tần số  $f$  của nguồn dao động phải thoả mãn điều kiện:

$$f = m \frac{v}{4l} \quad (9.12)$$

Xét sóng âm, ta có:

+ Khi  $m = 1$ :  $f_1 = \frac{v}{4l}$  được gọi là hoạ âm bậc 1 (âm cơ bản).

+ Tổng quát:  $f_m = mf_1$  được gọi là hoạ âm bậc  $m$ .



▲ Hình 9.6. Mô hình hoá sóng dừng xuất hiện trên sợi dây có một đầu cố định, một đầu tự do





Điều kiện để có sóng dừng:

– Dây có hai đầu cố định: chiều dài của sợi dây phải bằng một số nguyên lần nửa bước sóng.

$$\ell = n \frac{\lambda}{2} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

– Dây có một đầu cố định, một đầu tự do: chiều dài của sợi dây phải bằng một số lẻ lần một phần tư bước sóng.

$$\ell = m \frac{\lambda}{4} \quad (m = 1, 3, 5, \dots)$$



Trong thí nghiệm sóng dừng trên sợi dây  $AB$  dài 120 cm với đầu  $B$  tự do, đầu  $A$  được kích thích để thực hiện dao động với biên độ nhỏ. Ngoài đầu  $A$ , trên dây xuất hiện thêm một nút. Biết tần số sóng là 12,5 Hz.

a) Tính tốc độ truyền sóng.

b) Để có thêm một nút sóng trên dây thì tần số sóng khi này phải bằng bao nhiêu?



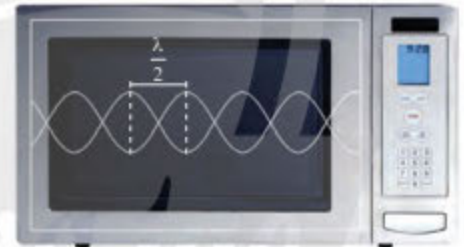
Giải thích vì sao khi vặn khoá để chỉnh dây đàn guitar (Hình 9.7), ta có thể tạo ra hệ sóng dừng trên dây. Biết tốc độ truyền sóng trên dây phụ thuộc lực căng dây.



▲ Hình 9.7. Chỉnh dây đàn guitar



Hiện tượng sóng dừng có thể xảy ra đối với sóng điện từ và có nhiều ứng dụng trong cuộc sống. Ví dụ trong lò vi sóng (Hình 9.8), sóng điện từ được phản xạ trên các thành lò và tạo thành sóng dừng trong lò. Tại những bụng sóng, năng lượng của sóng điện từ có giá trị lớn nhất và cung cấp nhiệt cho thực phẩm (từ sự dao động của các phân tử nước trong thực phẩm). Do đó, trong lò vi sóng còn có đĩa quay để giúp thực phẩm nóng đều.



▲ Hình 9.8. Sóng dừng hình thành trong lò vi sóng

## BÀI TẬP

- Người ta thực hiện thí nghiệm sóng dừng trên một dây đàn hồi có hai đầu cố định dài 75,0 cm để đo tốc độ truyền sóng trên dây. Khi tần số sóng bằng 120 Hz thì trên dây xuất hiện 6 bụng sóng.
  - Tính tốc độ truyền sóng trên dây.
  - Tăng lực căng dây để tăng tốc độ truyền sóng gấp hai lần. Với những giá trị nào của tần số thì sóng dừng có thể được hình thành trên dây?
- Trong một thử nghiệm nướng bánh bằng lò vi sóng, người ta đo được khoảng cách giữa hai phần nóng nhất và gần nhau nhất của bánh là khoảng 6,13 cm. Biết tần số sóng vi ba được sử dụng trong lò là 2,45 GHz. Sử dụng các số liệu đã cho để ước lượng tốc độ của sóng điện từ.

# Bài 10

## THỰC HÀNH ĐO TẦN SỐ CỦA SÓNG ÂM VÀ TỐC ĐỘ TRUYỀN ÂM

Thí nghiệm đo tần số của sóng âm và tốc độ truyền âm.

**🔌** Trong đời sống hằng ngày, chúng ta có thể nghe âm thanh từ mọi nơi. Ta đã biết âm thanh chính là sóng âm được lan truyền trong môi trường vật chất. Âm thanh có thể có tần số xác định khi được phát ra từ một số nhạc cụ như đàn guitar, đàn piano, sáo, ... hoặc có tần số không xác định khi được phát ra từ động cơ xe, máy khoan, ... Thời gian âm thanh truyền từ nguồn phát đến tai ta phụ thuộc vào tốc độ truyền sóng âm. Vậy làm thế nào để đo được tần số của sóng âm và tốc độ truyền âm?

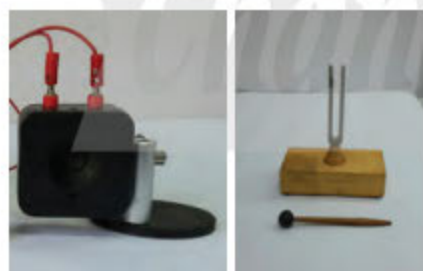
### ➤ Thí nghiệm đo tần số của sóng âm

\* **Mục đích:** Đo được tần số của sóng âm.

\* **Dụng cụ:**

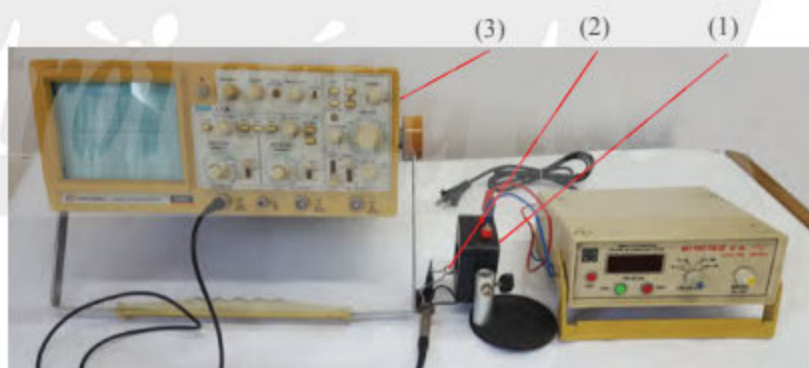
- Nguồn nhạc âm (1):
  - + Loa điện động (Hình 10.1a) được kết nối với máy phát tần số.
  - + Âm thoa, búa và âm thoa gắn trên hộp cộng hưởng (Hình 10.1b).
- Micro (2) để chuyển dao động âm thành dao động điện.
- Dao động kí điện tử (3).

\* **Tiến hành thí nghiệm:**



▲ Hình 10.1. a) Loa điện động;

b) Búa và âm thoa gắn trên hộp cộng hưởng



▲ Hình 10.2. Bố trí thí nghiệm đo tần số của sóng âm

**Bước 1:** Bố trí thí nghiệm như Hình 10.2.

**Bước 2:** Sử dụng nguồn nhạc âm là loa điện động, đặt loa gần micro (chú ý đảm bảo không có nguồn âm khác ở gần).

**Bước 3:** Bật micro và dao động kí ở chế độ làm việc.



1. Dựa vào bộ dụng cụ thí nghiệm, hãy thiết kế và thực hiện phương án để đo tần số của sóng âm.



**Bước 4:** Bật máy phát tần số.

**Bước 5:** Điều chỉnh dao động kí để ghi nhận được tín hiệu.

Lặp lại bước 2 đến bước 5 khi sử dụng nguồn âm là âm thoa.

**Lưu ý:** Ứng với mỗi loại nguồn âm, thực hiện thí nghiệm ít nhất 3 lần.

**\* Báo cáo kết quả thí nghiệm:**

– Dựa vào đồ thị dao động trên màn hình dao động kí, ghi kết quả đo vào bảng số liệu như Bảng 10.1.

– Từ số liệu đo được, xác định tần số sóng âm.

**▼ Bảng 10.1. Bảng số liệu thí nghiệm đo tần số của sóng âm**

| Nguồn âm      | Lần | Chu kỳ $T$ (ms) | Tần số $f$ (Hz) | Tần số trung bình $\bar{f}$ (Hz) | Sai số tuyệt đối $\Delta f$ (Hz) |
|---------------|-----|-----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Loa điện động | 1   | –               | –               | –                                | –                                |
|               | 2   | –               | –               |                                  |                                  |
|               | 3   | –               | –               |                                  |                                  |
| Âm thoa       | 1   | –               | –               | –                                | –                                |
|               | 2   | –               | –               |                                  |                                  |
|               | 3   | –               | –               |                                  |                                  |

– Kết quả đo tần số sóng âm phát ra từ:

+ Âm thoa:  $f = \bar{f} \pm \Delta f = \dots\dots\dots$

+ Loa điện động:  $f = \bar{f} \pm \Delta f = \dots\dots\dots$



Hiện nay, ứng dụng SmartScope Oscilloscope trên điện thoại thông minh có thể được sử dụng để ghi nhận đồ thị dao động âm. Sử dụng ứng dụng này, kết hợp với ứng dụng quay màn hình điện thoại, hãy tiến hành lại thí nghiệm đo tần số của sóng âm và so sánh kết quả đo được với kết quả trong phương án thí nghiệm (sử dụng dao động kí điện tử). Phân tích ưu, nhược điểm của hai phương án này.

### ► Thí nghiệm đo tốc độ truyền âm

**\* Mục đích:** Đo được tốc độ truyền âm trong không khí.

**\* Dụng cụ:**

– Ống cộng hưởng (1) trong suốt bằng nhựa, dài 70 cm, đường kính 40 mm, có gắn thước thẳng.



2. Trình bày cách tính sai số tuyệt đối của phép đo. Liệt kê một số nguyên nhân gây ra sai số trong phương án thí nghiệm và đề xuất cách khắc phục.

3. So sánh kết quả tần số đo được với giá trị tần số được ghi trên âm thoa hoặc hiển thị trên màn hình của máy phát tần số. Rút ra kết luận.

- Pit-tông bằng kim loại bọc nhựa (2), đường kính 38 mm, có vạch chuẩn xác định vị trí.
- Dây treo pit-tông (3) dài 1,5 m, một đầu có móc treo, vắt qua ròng rọc có đường kính 40 mm.
- Hệ thống giá đỡ gồm trụ thép đặc (4), dài 75 cm, đường kính 10 mm và đế ba chân bằng thép.
- Loa điện động ( $4 \Omega - 3 \text{ W}$ ) (5), lắp trong hộp bảo vệ có cán bằng trụ thép và lỗ cắm điện.
- Máy phát tần số (0,1 Hz – 1 kHz) (6), tín hiệu hình sin, điện áp ra cực đại 14 V.
- Bộ hai dây nối mạch điện (7), dài 50 cm, hai đầu có phích cắm.

**\* Tiến hành thí nghiệm:**

*Bước 1:* Bố trí thí nghiệm như Hình 10.3. Đặt loa điện động gần sát đầu hở của ống cộng hưởng.

*Bước 2:* Dùng hai dây dẫn điện cấp điện cho loa từ máy phát tần số.

*Bước 3:* Điều chỉnh thang đo trên máy phát sang vị trí 100 Hz – 1 kHz. Điều chỉnh tần số sóng âm cho phù hợp.

*Bước 4:* Điều chỉnh biên độ để nghe được âm phát ra từ loa vừa đủ to.

*Bước 5:* Kéo dẫn pit-tông lên và lắng nghe âm phát ra. Xác định vị trí thứ nhất của pit-tông khi âm nghe được to nhất và xác định chiều dài cột khí  $l_1$  tương ứng. Ghi số liệu vào Bảng 10.2.

*Bước 6:* Tiếp tục kéo pit-tông lên và xác định vị trí thứ hai của pit-tông khi âm nghe được lại to nhất và xác định chiều dài cột khí  $l_2$  tương ứng. Ghi số liệu vào Bảng 10.2.

*Bước 7:* Cho pit-tông về lại sát miệng ống, lặp lại các bước 5 và 6 thêm 4 lần nữa. Ghi số liệu vào Bảng 10.2.

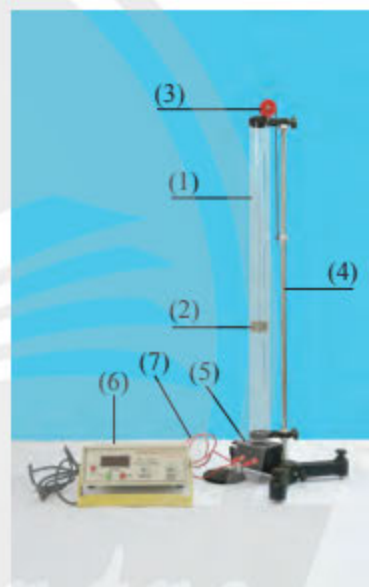
**\* Báo cáo kết quả thí nghiệm:**

Đo chiều dài cột khí  $l_1, l_2$  khi có âm to nhất lần thứ nhất và lần thứ hai. Ghi vào bảng số liệu như Bảng 10.2.

Xử lý số liệu để tính toán tốc độ truyền sóng âm trong không khí kèm theo sai số của phép đo.



4. Dựa vào bộ dụng cụ thí nghiệm, hãy thiết kế và thực hiện phương án để đo tốc độ truyền âm trong không khí.



▲ Hình 10.3. Bố trí thí nghiệm đo tốc độ truyền âm trong không khí

5. Liệt kê một số nguyên nhân gây ra sai số trong phương án thí nghiệm và đề xuất cách khắc phục.



▼ **Bảng 10.2.** Bảng số liệu thí nghiệm đo tốc độ truyền âm trong không khí

| Tần số: ... ± ... Hz |   |   |   |   |   |                                 |  |
|----------------------|---|---|---|---|---|---------------------------------|--|
| Lần                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Trung bình<br>$\bar{\ell}$ (cm) | Sai số<br>tuyệt đối<br>$\Delta\ell$ (cm) |
| $\ell_1$ (cm)        | - | - | - | - | - | -                               | -  |
| $\ell_2$ (cm)        | - | - | - | - | - | -                               | -  |

Xử lý số liệu để ghi nhận tốc độ truyền âm:

- Tính giá trị trung bình:  $\bar{\lambda} = 2(\bar{\ell}_2 - \bar{\ell}_1)$  và suy ra:  $\bar{v} = \bar{\lambda} \bar{f}$ .
- Tính sai số  $\Delta\lambda = 2(\Delta\ell_1 + \Delta\ell_2)$ .
- Tính sai số  $\Delta v$  từ hệ thức:  $\frac{\Delta v}{\bar{v}} = \frac{\Delta\lambda}{\bar{\lambda}} + \frac{\Delta f}{\bar{f}}$  và trình bày kết quả:  $v = \bar{v} \pm \Delta v$ .



6. Giải thích vì sao ta có biểu thức:

$$\ell_2 - \ell_1 = \frac{\lambda}{2}$$



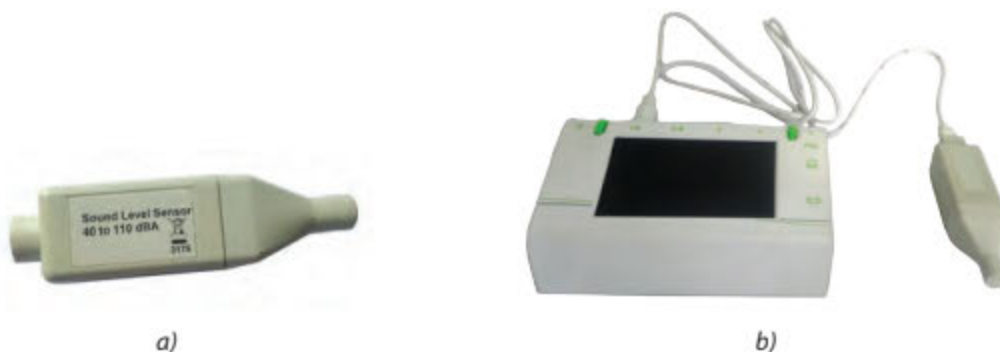
Có thể xác định tốc độ truyền âm trong không khí thông qua việc đo khoảng thời gian từ lúc bắt đầu thả một vật rơi tự do từ độ cao so với một bề mặt cứng đến khi nghe được âm phát ra từ va chạm của vật với bề mặt. Thực hiện thí nghiệm này và so sánh kết quả đo được với kết quả trong phương án thí nghiệm (sử dụng ống cộng hưởng).



Cảm biến âm là cảm biến có nguyên tắc hoạt động tương tự micrô. Khi sóng âm được truyền tới cảm biến thì nó sẽ chuyển tín hiệu âm thành tín hiệu điện có cùng tần số. Kết nối cảm biến âm với bộ xử lý số liệu sẽ thu được tín hiệu điện này trên màn hình (Hình 10.4), dựa vào đồ thị và sự cài đặt tỉ lệ trục thời gian ban đầu ta có thể xác định được chu kì của tín hiệu.

Nếu có hai sóng âm tới cảm biến cách nhau một khoảng thời gian nào đó thì bộ xử lý số liệu cũng sẽ hiển thị đồng thời hai tín hiệu trên màn hình và cũng có thể xác định được hai thời điểm mà cảm biến bắt đầu ghi nhận hai sóng âm.

Từ các thông tin trên, hãy đưa ra một phương án thí nghiệm xác định tần số của sóng âm và tốc độ truyền âm với cảm biến âm và bộ xử lý số liệu.



▲ **Hình 10.4.** a) Cảm biến âm; b) cảm biến âm kết nối bộ xử lý số liệu

# TỔNG KẾT CHƯƠNG 2

## 1 SÓNG VÀ SỰ TRUYỀN SÓNG

- Sóng là dao động lan truyền trong không gian theo thời gian. Khi sóng truyền đi, phần tử môi trường không truyền theo phương truyền sóng mà chỉ dao động tại chỗ.
- Dựa trên mối liên hệ giữa phương truyền sóng và phương dao động, sóng được phân thành hai loại: Sóng dọc là sóng mà phương dao động của mỗi phần tử môi trường trùng với phương truyền sóng. Sóng ngang là sóng mà phương dao động mỗi phần tử môi trường vuông góc với phương truyền sóng.
- Các hiện tượng đặc trưng của sóng: phản xạ, khúc xạ, nhiễu xạ, và giao thoa.

## 2 CÁC ĐẶC TRƯNG VẬT LÝ CỦA SÓNG

- Bước sóng  $\lambda$  là quãng đường sóng truyền đi được trong một chu kì dao động  $T$ .

$$\lambda = vT$$

trong đó  $v$  là tốc độ lan truyền sóng. Tốc độ truyền sóng trong không gian là hữu hạn và phụ thuộc vào tính chất của môi trường truyền sóng như mật độ môi trường, tính đàn hồi, nhiệt độ, áp suất,...

- Trên cùng một phương truyền sóng, các điểm dao động cùng pha với nhau cách nhau:

$k\lambda$  và các điểm dao động ngược pha với nhau cách nhau:  $\left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$  với  $k$  là một số nguyên ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ).

- Cường độ sóng  $I$  là năng lượng sóng truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian.

$$I = \frac{E}{S\Delta t} = \frac{\mathcal{P}}{S}$$

với  $S$  là diện tích mà năng lượng sóng  $E$  truyền qua trong một khoảng thời gian  $\Delta t$  hay

công suất sóng  $\mathcal{P} = \frac{E}{\Delta t}$ . Trong hệ SI, cường độ sóng có đơn vị là  $\text{W/m}^2$ .

- Phương trình truyền sóng theo trục  $Ox$  là:

$$u = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

## 3 SÓNG ĐIỆN TỪ

- Sóng điện từ là điện trường và từ trường lan truyền trong không gian dưới dạng sóng với tốc độ trong chân không bằng  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .



– Ánh sáng có bản chất là sóng điện từ. Bước sóng của ánh sáng có tần số  $f$  trong chân không:  $\lambda = \frac{c}{f}$ .

– Thang sóng điện từ cho biết dải bước sóng và dải tần số ứng với các loại bức xạ khác nhau.

## 4 GIAO THOA SÓNG

– Hiện tượng giao thoa sóng là hiện tượng hai sóng kết hợp gặp nhau, tăng cường nhau hoặc làm suy yếu nhau tại một số vị trí trong môi trường. Điều kiện để có giao thoa là phải có sự kết hợp từ hai nguồn sóng dao động cùng phương, cùng tần số và có độ lệch pha không đổi theo thời gian.

– Trong môi trường truyền sóng, những điểm có khoảng cách đến hai nguồn lần lượt là  $d_1$  và  $d_2$  sẽ dao động với biên độ cực đại khi:  $d_2 - d_1 = k\lambda$  và dao động với biên độ cực tiểu khi:  $d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$  với  $k$  là một số nguyên ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ).

– Hiện tượng giao thoa ánh sáng là hiện tượng xuất hiện các vạch sáng (biên độ cực đại) xen kẽ với các vạch tối (biên độ cực tiểu) khi hai sóng ánh sáng kết hợp gặp nhau.

– Khoảng cách giữa hai vân sáng (hoặc hai vân tối) liên tiếp được gọi là khoảng vân, kí hiệu là  $i$ .

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

với  $\lambda$  là bước sóng ánh sáng,  $a$  là khoảng cách giữa hai khe và  $D$  là khoảng cách từ hai khe đến màn quan sát. Trên màn quan sát, vị trí vân sáng là  $x_s = ki$  và vị trí vân tối là

$x_t = \left(k + \frac{1}{2}\right)i$  với  $k$  là một số nguyên ( $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ).

## 5 SÓNG DỪNG

– Sự giao thoa của hai sóng kết hợp truyền ngược chiều nhau trên cùng một phương, tạo thành các bụng sóng (các điểm dao động với biên độ cực đại) xen kẽ với các nút sóng (các điểm đứng yên). Bụng sóng và nút sóng xen kẽ và cách đều nhau. Khoảng cách

giữa hai nút sóng liên tiếp là  $\frac{\lambda}{2}$ .

– Vị trí các bụng sóng được xác định bằng biểu thức:

$$d = \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

– Vị trí các nút sóng được xác định bằng biểu thức:

$$d = k\frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, \dots)$$

# ĐIỆN TRƯỜNG

## Chương 3

### Bài 11

## ĐỊNH LUẬT COULOMB VỀ TƯƠNG TÁC TÍNH ĐIỆN

Định luật Coulomb về lực tương tác giữa hai điện tích điểm, đơn vị đo điện tích.



Vào những ngày thời tiết lạnh, đặc biệt là vào mùa đông, ta thường hay gặp một số hiện tượng như: bị điện giật khi chạm tay vào tay nắm cửa kim loại (Hình 11.1) hay nghe tiếng lách tách khi thay quần áo. Vậy nguyên nhân của hiện tượng này là gì?



▲ Hình 11.1. Hiện tượng bị điện giật khi chạm tay vào nắm cửa kim loại

### 1 SỰ TƯƠNG TÁC GIỮA CÁC ĐIỆN TÍCH

#### Hai loại điện tích

Một vật bị nhiễm điện có khả năng hút các vật nhẹ khác thì được gọi là vật tích điện.



Có 2 loại điện tích: điện tích dương và điện tích âm. Các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, trái dấu thì hút nhau. Đơn vị đo điện tích là culông (C).

**Lưu ý:** Vật tích điện có kích thước rất nhỏ so với khoảng cách tới vị trí mà ta xét có thể được xem là một điện tích điểm.

Trong mỗi vật luôn chứa cả hai loại điện tích dương và âm. Một vật nhiễm điện dương hoặc âm khi vật chứa lượng điện tích dương nhiều hơn lượng điện tích âm hoặc ngược lại. Khi số điện tích dương bằng số điện tích âm, hay tổng điện tích bằng 0 thì vật trung hoà về điện.

Điện tích nguyên tố có giá trị bằng độ lớn điện tích của một hạt mang điện tồn tại độc lập trong tự nhiên và có giá trị:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Electron là hạt tích điện âm và có độ lớn điện tích bằng điện tích nguyên tố.

Tất cả các vật tích điện đều có độ lớn điện tích  $Q$  luôn là một bội số của điện tích nguyên tố:

$$Q = ne$$

với  $n$  là số tự nhiên.



1. Xét quả cầu kim loại nhỏ có điện tích  $-3,2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ . Quả cầu này thừa hay thiếu bao nhiêu electron?



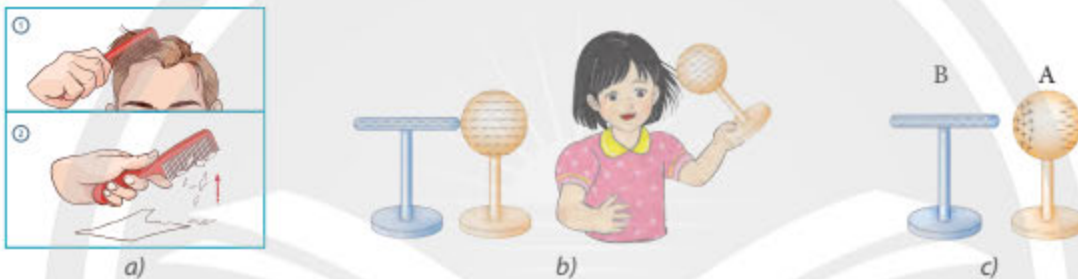


Một số hiện tượng nhiễm điện đã được biết đến từ thời cổ đại. Khoảng thế kỉ VI trước Công nguyên, Thales (Ta-lét) (khoảng 624 – 546 TCN) đã quan sát và mô tả hiện tượng nhiễm điện thông qua khả năng hút các vật nhỏ, nhẹ của các mảnh hổ phách khi được cọ xát (Hình 11.2) Vào thế kỉ XVIII, các nhà vật lí đã nghiên cứu các hiện tượng điện một cách có hệ thống và thu được một số kết quả như: vào năm 1729, Stephen Gray (Xte-phán Gờ-ray) (1666 – 1736) đã phát hiện ra tính dẫn điện của vật; vào năm 1733, Charles François de Cisternay du Fay (Sác-lơ Phờ-răng-xoa đờ Xít-tờ-nay du Phay) (1698 – 1739) đã khám phá ra sự tồn tại của hai loại điện tích: điện tích âm và điện tích dương; vào khoảng năm 1752, Benjamin Franklin (Ben-gia-min Phờ-ranh-lin) (1706 – 1790) đã đề xuất cách thức chế tạo cột thu lôi.



▲ Hình 11.2. Hổ phách nhiễm điện hút các mảnh giấy nhỏ

### ►► Sự nhiễm điện của các vật



▲ Hình 11.3. Minh họa ba cách nhiễm điện cho vật: a) nhiễm điện do cọ xát; b) nhiễm điện do tiếp xúc; c) nhiễm điện do hưởng ứng

**Nhiễm điện do cọ xát:** là sự nhiễm điện khi các vật khác bản chất, trung hoà về điện được cọ xát với nhau. Khi đó, hai vật sẽ nhiễm điện trái dấu. Ví dụ: Khi ta cọ xát lược nhựa với tóc (điện môi), lược nhựa sẽ bị nhiễm điện âm và hút các mảnh giấy vụn (điện môi) (Hình 11.3a).

**Nhiễm điện do tiếp xúc:** là sự nhiễm điện khi một vật trung hoà về điện đặt tiếp xúc với một vật nhiễm điện. Khi đó, hai vật sẽ nhiễm điện cùng dấu. Ví dụ: Quả cầu trung hoà điện (vật dẫn điện), sau khi đặt tiếp xúc với thanh nhiễm điện âm (vật dẫn điện) sẽ trở nên nhiễm điện âm và hút được tóc (Hình 11.3b).

**Nhiễm điện do hưởng ứng:** là sự nhiễm điện khi một vật A (vật dẫn điện) trung hoà về điện đặt gần (không tiếp xúc) với một vật B nhiễm điện. Khi đó, hai đầu vật A, gần và xa vật B, lần lượt nhiễm điện trái dấu và cùng dấu với vật B. Khi đưa vật A ra xa vật B, vật A trở về trạng thái trung hoà như lúc đầu (Hình 11.3c).



2. Sử dụng một số dụng cụ đơn giản như: vải khô, thước nhựa, mảnh lụa, miếng thủy tinh, vụn giấy nhỏ, lược nhựa, quả bóng bay, vỏ lon, ... em hãy thực hiện thí nghiệm:

- Làm nhiễm điện cho các vật.
- Vẽ tương tác giữa các vật nhiễm điện.



### Thuyết electron

Thuyết electron được dùng để giải thích các hiện tượng về điện dựa trên sự cư trú và di chuyển của các electron. Theo thuyết electron thì:

- Nguyên tử có cấu tạo gồm hạt nhân và các electron chuyển động xung quanh hạt nhân. Hạt nhân nguyên tử mang điện tích dương và chiếm hầu hết khối lượng nguyên tử. Bình thường, nguyên tử trung hoà về điện.
- Do khối lượng electron rất nhỏ so với khối lượng hạt nhân nguyên tử nên chúng rất linh động. Dưới một tác nhân nào đó (ví dụ: cọ xát, tiếp xúc,...) electron có thể bứt ra khỏi nguyên tử và di chuyển từ vật này sang vật khác.



Giải thích hiện tượng bị điện giật trong các trường hợp:

- a) Khi chạm tay vào nắm cửa kim loại trong thời tiết hanh khô (Hình 11.1).
- b) Khi chạm tay vào vỏ kim loại của máy tính đang hoạt động.



Ngày nay, công nghệ sơn tĩnh điện (Hình 11.4) được sử dụng rất phổ biến với các ưu điểm vượt trội so với công nghệ sơn thường. Từ các nguồn tư liệu sách, báo, internet,... em hãy viết một bài giới thiệu ngắn về công nghệ sơn tĩnh điện.



▲ Hình 11.4. Công nhân đang sơn vật bằng công nghệ sơn tĩnh điện

## 2 ĐỊNH LUẬT COULOMB

Để khảo sát định lượng tương tác giữa các vật tích điện, từ năm 1785 đến năm 1787, Charles Augustin Coulomb (Sác-lơ Âu-gốt-tin Cu-lông) (1736 – 1806) đã tiến hành các đo đạc thực nghiệm về tương tác tĩnh điện giữa hai quả cầu tích điện có kích thước rất nhỏ so với khoảng cách giữa chúng. Dựa vào kết quả tổng hợp từ những thí nghiệm của mình, Coulomb đã nêu lên định luật mô tả sự tương tác giữa hai điện tích điểm như sau:

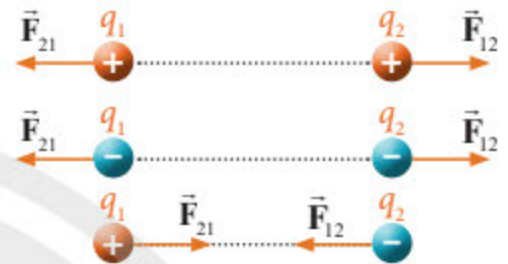




Lực tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm đặt trong chân không có phương trùng với đường thẳng nối hai điện tích điểm đó (Hình 11.5), có độ lớn tỉ lệ thuận với tích độ lớn của các điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad (11.1)$$

Trong đó  $k$  là hằng số phụ thuộc vào cách chọn đơn vị của các đại lượng;  $q_1, q_2$  là các giá trị đại số của hai điện tích. Trong hệ đơn vị SI,  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ , với  $\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$  là hằng số điện.



▲ Hình 11.5. Phương và chiều của lực tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm

**Lưu ý:** Khi đặt hai điện tích vào một môi trường điện môi đồng chất, lực tương tác tĩnh điện sẽ giảm  $\epsilon$  lần so với khi chúng được đặt trong chân không:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{\epsilon r^2} \quad (11.2)$$

với  $\epsilon$  là hằng số điện môi, chỉ phụ thuộc vào bản chất của môi trường. Bảng 11.1 cho biết giá trị của  $\epsilon$  trong một số chất.

**Bảng 11.1. Hằng số điện môi của một số chất**

| Chất             | Hằng số điện môi |
|------------------|------------------|
| Chân không       | 1                |
| Không khí        | 1,00059          |
| Nước nguyên chất | 81               |
| Thủy tinh        | 5 – 10           |

**Ví dụ:** Tính độ lớn lực tương tác tĩnh điện giữa electron và proton trong hạt nhân nguyên tử hydrogen. Biết khoảng cách giữa electron – hạt nhân là  $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$  và môi trường giữa chúng là chân không. Electron và proton lần lượt tích điện âm và dương với cùng độ lớn của điện tích nguyên tố.

**Bài giải**

Điện tích electron:  $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Điện tích hạt nhân:  $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Lực tương tác tĩnh điện giữa electron và hạt nhân trong nguyên tử hydrogen là lực hút và có độ lớn:

$$F = k \frac{|q_e q_p|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(-1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}.$$



3. Các cặp lực  $\vec{F}_{12}$  và  $\vec{F}_{21}$  trong Hình 11.5 có phải là các cặp lực cân bằng không? Vì sao?

4. Một mẫu sắt nhỏ 6 g có thể chứa khoảng  $10^{24}$  electron. Vậy vì sao các electron này không bay ra khỏi mẫu sắt, mặc dù giữa chúng luôn tồn tại lực đẩy?



Xét điện tích  $q$  chịu tác dụng bởi lực tĩnh điện của  $n$  điện tích điểm, lực tổng hợp tác dụng lên điện tích  $q$  được xác định:

$$\vec{F}_q = \vec{F}_{1q} + \vec{F}_{2q} + \dots + \vec{F}_{nq} \quad (11.3)$$



5. Hai vật nhỏ tích điện cùng dấu, ban đầu được giữ ở vị trí rất gần nhau. Dựa vào công thức (11.1), em hãy mô tả đặc điểm chuyển động của hai vật ngay thời điểm khi chúng được thả tự do. Giả sử hai vật chỉ chịu tác dụng của lực tương tác tĩnh điện giữa chúng.



Theo mô hình nguyên tử của nhà vật lý Ernest Rutherford (Ơ-nít Rơ-dơ-pho) (1871 – 1937), nguyên tử gồm hạt nhân (tập trung hầu hết khối lượng của nguyên tử và có kích thước rất nhỏ so với bán kính nguyên tử) mang điện tích dương và các electron mang điện tích âm chuyển động trên các quỹ đạo tròn xung quanh hạt nhân.

Xét mô hình nguyên tử Rutherford cho nguyên tử hydrogen (Hình 11.6), em hãy cho biết lực giữ cho electron chuyển động tròn quanh hạt nhân là lực gì? Xác định phương, chiều của lực đó.



▲ Hình 11.6. Mô hình nguyên tử Rutherford cho nguyên tử hydrogen



Tại 3 điểm A, B, C cố định trong chân không lần lượt đặt 3 điện tích điểm có giá trị lần lượt là  $q_1 = 6 \cdot 10^{-6}$  C,  $q_2 = -6 \cdot 10^{-6}$  C và  $q_3 = 3 \cdot 10^{-6}$  C. Biết  $AB = 3$  cm,  $AC = 4$  cm và  $BC = 5$  cm. Tính lực tác dụng lên điện tích điểm đặt tại C.


## BÀI TẬP

- Sau khi cọ xát thành thủy tinh (trung hoà về điện) với mảnh lụa, thanh thủy tinh tích điện dương và có giá trị 13 nC. Hãy giải thích quá trình tích điện cho thanh thủy tinh và xác định số electron đã bị bứt ra khỏi thanh thủy tinh.
- Một phân tử DNA bao gồm hai nhánh xoắn kép được liên kết với nhau có chiều dài  $0,459 \cdot 10^{-6}$  m. Phần đuôi của phân tử có thể bị ion hoá mang điện tích âm  $q_1 = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C, đầu còn lại mang điện tích dương  $q_2 = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Phân tử xoắn ốc này hoạt động như một lò xo và bị nén 1% sau khi bị tích điện. Xác định “độ cứng  $k$ ” của phân tử. Biết phân tử DNA trong nhân tế bào và môi trường xung quanh là nước; hằng số điện môi của nước là 81.
- Hai quả cầu A, B có kích thước nhỏ được đặt cách nhau một khoảng 12 cm trong chân không. Biết quả cầu A có điện tích  $-3,2 \cdot 10^{-7}$  C và quả cầu B có điện tích  $2,4 \cdot 10^{-7}$  C.
  - Tính lực tương tác giữa hai quả cầu.
  - Cho hai quả cầu tiếp xúc với nhau, sau đó đặt cách nhau một khoảng như lúc đầu. Biết rằng, sau khi tiếp xúc, hai quả cầu có điện tích bằng nhau. Tính lực tương tác giữa hai quả cầu lúc này.



# Bài 12 > ĐIỆN TRƯỜNG

- Khái niệm điện trường.
- Cường độ điện trường do điện tích điểm gây ra tại một điểm.
- Điện phổ.

 Khi một vật nhiễm điện được đặt gần một vật nhiễm điện khác, ta thấy hai vật có thể hút hoặc đẩy nhau, nghĩa là giữa chúng có sự tương tác mặc dù không có sự tiếp xúc. Vậy, hai vật này tương tác với nhau bằng cách nào?

## 1 CƯỜNG ĐỘ ĐIỆN TRƯỜNG

### ➤ Khái niệm điện trường

Khi đặt một điện tích điểm  $q_1$  cố định tại một vị trí xác định trong không gian, sau đó đưa một điện tích điểm  $q_2$  lại gần, ta thấy hai điện tích điểm này tương tác với nhau. Ta đã biết sự tương tác này được mô tả bởi định luật Coulomb.

Dạng vật chất bao quanh các điện tích được gọi là **điện trường**. Điện trường tác dụng lực điện lên các điện tích khác đặt trong nó. Tốc độ lan truyền tương tác giữa các điện tích trong điện trường có giá trị hữu hạn. Trong chân không, tốc độ này là  $3 \cdot 10^8$  m/s, bằng tốc độ ánh sáng.



Trong tự nhiên, một số loài vật như cá mập, ong vò vẽ (Hình 12.1) có thể cảm nhận được điện trường. Điện trường do một số con mồi hoặc kẻ địch tạo ra khi bơi qua được cá mập ghi nhận thông qua những tế bào trên đầu, từ đó giúp nó phát hiện ra con mồi. Tính chất này dùng để săn mồi và phát hiện nguy hiểm. Trong khi đó, sự chuyển động liên tục của ong vò vẽ làm nó bị tích điện và tự tạo ra xung quanh mình một điện trường. Khi đậu trên bông hoa, chúng truyền cho hoa một phần điện tích. Từ đó, ong vò vẽ dùng râu của mình để nhận biết điện trường do bông hoa gây ra. Tính chất đặc biệt đó giúp nó tìm được mật hoa và phân biệt được hoa tươi với hoa đã hết mật.



a)



b)

▲ Hình 12.1. a) Cá mập; b) Ong vò vẽ



Điện trường là dạng vật chất bao quanh điện tích và truyền tương tác giữa các điện tích. Tính chất cơ bản của điện trường là tác dụng lực điện lên các điện tích khác đặt trong nó.

**Lưu ý:** Trong chương này, ta chỉ xét điện trường của các điện tích đứng yên đối với nhau, tức là **điện trường tĩnh**, được gọi tắt là điện trường.

### ➤ Cường độ điện trường

Xét một điện tích điểm  $Q$  đặt tại một vị trí xác định trong không gian. Lần lượt đưa các điện tích thử là những vật nhỏ tích điện dương, có độ lớn khác nhau  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  vào một vị trí xác định trong điện trường do điện tích  $Q$  sinh ra (Hình 12.2). Thực nghiệm cho thấy, lực do điện tích  $Q$  tác dụng lên các điện tích  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  có một số đặc điểm:

+ Có cùng hướng.

+ Có độ lớn khác nhau.

+ Tỉ số  $\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \frac{F_3}{q_3} = \dots = \frac{F_n}{q_n}$ .

Trong đó  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$  là lực do điện tích  $Q$  tác dụng lên các điện tích  $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$  khi chúng được đặt tại cùng một vị trí.

Khi thay đổi vị trí đặt các điện tích thử thì tỉ số  $\frac{F}{q}$  cũng thay đổi. Lúc này, ta thấy rằng tỉ số  $\frac{F}{q}$  đặc trưng cho điện trường tại điểm đang xét về mặt tác dụng lực và được gọi là **cường độ điện trường**.



Cường độ điện trường do điện tích  $Q$  sinh ra tại một điểm là đại lượng đặc trưng cho điện trường về mặt tác dụng lực tại điểm đó. Đây là một đại lượng vector và được xác định bởi biểu thức:

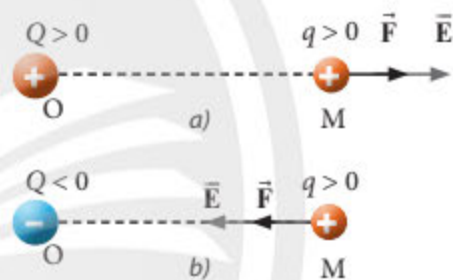
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (12.1)$$

Với  $\vec{F}$  là lực do điện tích  $Q$  tác dụng lên một điện tích  $q$  đặt tại điểm đó. Trong hệ SI, cường độ điện trường có đơn vị là niutơn trên culông (N/C). Ngoài ra, đơn vị thường dùng của cường độ điện trường là vôn trên mét (V/m).



1. Làm thế nào để biết trong một vùng không gian nào đó có sự xuất hiện của điện trường?

2. Làm thế nào để xác định được độ mạnh yếu của điện trường tại một điểm?



▲ Hình 12.2. Vectơ lực do điện tích  $Q$  tác dụng lên điện tích thử  $q$  được đặt tại điểm  $M$  và vectơ cường độ điện trường do  $Q$  sinh ra tại điểm  $M$  trong trường hợp: a)  $Q > 0$ ; b)  $Q < 0$



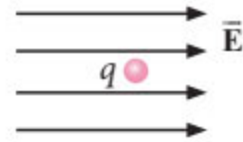
Từ (12.1), ta thấy độ lớn của cường độ điện trường tại một điểm bằng tỉ số giữa độ lớn lực tác dụng lên một điện tích dương đặt tại điểm đó và độ lớn của điện tích đó:

$$E = \frac{F}{q} \quad (12.2)$$



Trong một vùng không gian có điện trường mà các đường sức điện trường có phương nằm ngang, song song với nhau và chiều như Hình 12.3. Hãy xác định hướng của lực điện trường tác dụng lên điện tích  $q$  trong các trường hợp:

- a)  $q > 0$ .
- b)  $q < 0$ .



▲ Hình 12.3. Điện tích điểm  $q$  đặt trong điện trường

## 2 CƯỜNG ĐỘ ĐIỆN TRƯỜNG CỦA ĐIỆN TÍCH ĐIỂM

### ➔ Cường độ điện trường gây ra bởi điện tích điểm

Đặt hai điện tích điểm  $Q$  và  $q > 0$  cách nhau một đoạn  $r$  trong chân không, lực tĩnh điện giữa hai điện tích được xác định bằng định luật Coulomb theo công thức (11.1). Vì điện tích thử  $q > 0$  nên cường độ điện trường tại vị trí đặt  $q$  do điện tích điểm  $Q$  gây ra cùng hướng với lực tĩnh điện do  $Q$  tác dụng lên  $q$ .

Kết hợp công thức (11.1) và (12.2), ta rút ra được công thức xác định độ lớn của cường độ điện trường do điện tích điểm  $Q$  gây ra tại một điểm cách  $Q$  một đoạn  $r$ .



Cường độ điện trường do điện tích điểm  $Q$  gây ra tại một điểm  $M$  cách điện tích một đoạn  $r$  trong chân không có phương nằm trên đường thẳng nối điện tích và điểm  $M$ , có chiều hướng ra xa điện tích nếu  $Q > 0$  và hướng lại gần điện tích nếu  $Q < 0$  (Hình 12.4), có độ lớn là:

$$E = k \frac{|Q|}{r^2} \quad (12.3)$$

với

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}, \quad \epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}.$$



▲ Hình 12.4. Cường độ điện trường của một điện tích điểm:

a)  $Q > 0$ ; b)  $Q < 0$

**Lưu ý:** Cường độ điện trường do điện tích  $Q$  gây ra tại một điểm trong môi trường điện môi sẽ giảm  $\epsilon$  lần so với điểm trong chân không:

$$E = k \frac{|Q|}{\epsilon r^2} \quad (12.4)$$

với  $\epsilon$  là hằng số điện môi.



### Điện trường của hệ điện tích

Xét hệ có  $n$  điện tích điểm  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ . Cường độ điện trường do mỗi điện tích điểm gây ra tại điểm  $M$  là  $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \dots, \vec{E}_n$ . Khi đó, cường độ điện trường tổng hợp tại điểm  $M$  là:

$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n \quad (12.5)$$

### Vận dụng biểu thức cường độ điện trường của điện tích điểm

**Ví dụ:** Đặt hai quả cầu nhỏ có điện tích lần lượt là  $q_1 = 3,2 \cdot 10^{-5}$  C và  $q_2 = -3,2 \cdot 10^{-6}$  C trong chân không tại 2 điểm A, B cách nhau 9,0 cm. Xem hai quả cầu là các điện tích điểm. Xác định vectơ cường độ điện trường tổng hợp do hai quả cầu gây ra tại điểm M. Biết điểm M cách A 3 cm, cách B 6 cm.

#### Bài giải

Độ lớn cường độ điện trường do quả cầu  $q_1$  gây ra tại điểm M:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{AM^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(3,2 \cdot 10^{-5})}{0,03^2} = 3,2 \cdot 10^8 \text{ V/m.}$$

Độ lớn cường độ điện trường do quả cầu  $q_2$  gây ra tại điểm M:

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{BM^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(-3,2 \cdot 10^{-6})}{0,06^2} = 8,0 \cdot 10^6 \text{ V/m.}$$

Vectơ cường độ điện trường tổng hợp tại điểm M:

$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

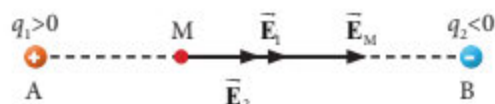
Vì  $\vec{E}_1$  song song cùng chiều với  $\vec{E}_2$  nên:

$$E_M = E_1 + E_2 = 3,3 \cdot 10^8 \text{ V/m.}$$

Vậy vectơ cường độ điện trường tại điểm M có điểm đặt tại M, hướng theo  $\vec{E}_1$  như Hình 12.5 và có độ lớn  $3,3 \cdot 10^8$  V/m.



3. Tại hai điểm A và B trong chân không, người ta đặt hai điện tích trái dấu  $q_1$  và  $q_2$ . Tìm những điểm sao cho hai vectơ cường độ điện trường do hai điện tích  $q_1$  và  $q_2$  gây ra tại đó có đặc điểm:
- Cùng phương, cùng chiều.
  - Cùng phương, ngược chiều.



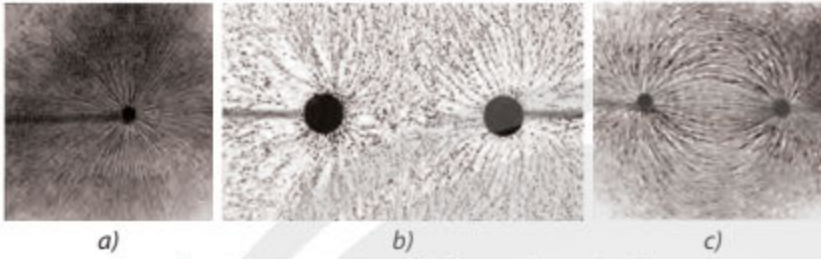
▲ Hình 12.5. Phương, chiều vectơ cường độ điện trường tổng hợp tại M



## ĐƯỜNG SỨC ĐIỆN

### Điện phổ

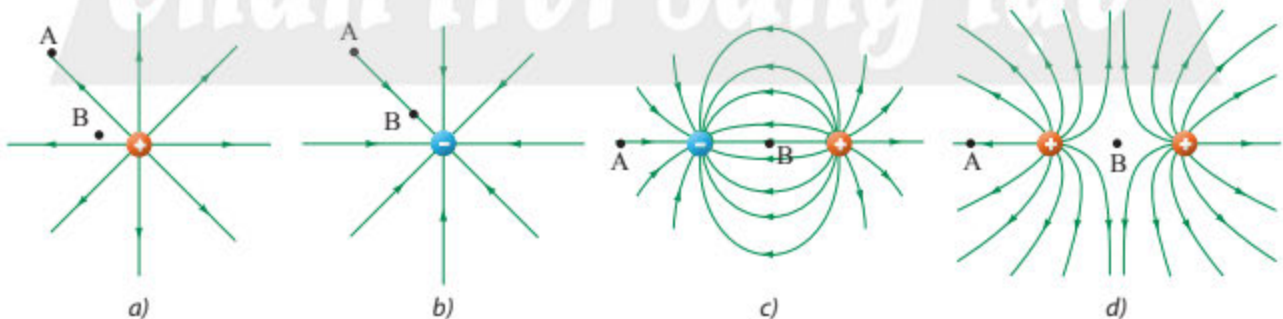
Đặt một quả cầu kim loại nhỏ vào trong một hộp chứa dầu và bột mịn cách điện. Tích điện cho quả cầu. Dùng tay gõ nhẹ vào hộp, ta thấy các hạt bột sắp xếp lại thành những hình dạng đặc biệt. Đây là điện phổ của quả cầu tích điện (Hình 12.6).



▲ Hình 12.6. Điện phổ của: a) điện tích điểm; b) hai điện tích cùng dấu; c) hai điện tích trái dấu

### Khái niệm đường sức điện

Ta đã biết, điện trường không thể quan sát được bằng mắt thường. Do đó, để mô tả điện trường một cách trực quan, ta sử dụng khái niệm **đường sức điện**. Đường sức điện là những đường mô tả “hình dạng” của điện trường và cũng là sự mô hình hoá hình ảnh điện phổ, sao cho tiếp tuyến tại một điểm bất kì trên đường trùng với phương của vectơ cường độ điện trường tại điểm đó, có chiều quy ước trùng với chiều của vectơ cường độ điện trường.



▲ Hình 12.7. Các đường sức điện của:

a) điện tích dương; b) điện tích âm; c) hai điện tích cùng độ lớn nhưng trái dấu; d) hai điện tích dương cùng độ lớn

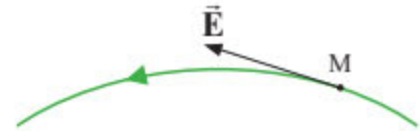


4. Dựa vào hình ảnh điện phổ quan sát được ở Hình 12.6, ta có thể kết luận được dấu của mỗi điện tích không? Vì sao?

5. Thiết kế phương án và thực hiện thí nghiệm để quan sát hình ảnh điện phổ của một vật tích điện.



Đường sức điện là đường mô tả điện trường sao cho tiếp tuyến tại một điểm bất kì trên đường cũng trùng với phương của vectơ cường độ điện trường tại điểm đó (Hình 12.8).



▲ Hình 12.8. Minh họa đường sức điện trường và vectơ cường độ điện trường tại điểm M

Đường sức điện có các đặc điểm sau:

+ Tại mỗi điểm trong điện trường chỉ có một đường sức điện đi qua. Số lượng đường sức điện qua một đơn vị diện tích vuông góc với đường sức tại một điểm trong không gian đặc trưng cho độ mạnh yếu của điện trường tại điểm đó.

+ Các đường sức điện là những đường cong không kín. Đường sức điện phải bắt đầu từ một điện tích dương (hoặc ở vô cực) và kết thúc ở một điện tích âm (hoặc ở vô cực).

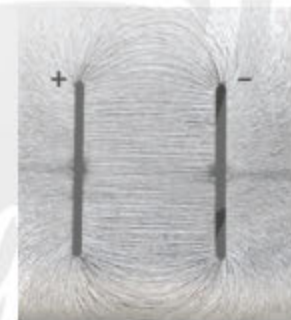
### ►► Khái niệm điện trường đều

Đặt hai tấm kim loại phẳng, rộng, song song với nhau trong đĩa chứa dầu có bột mịn cách điện. Tích điện trái dấu và cùng độ lớn cho hai tấm kim loại và gõ nhẹ vào đĩa dầu, ta quan sát thấy điện phổ ở giữa hai tấm kim loại có hình ảnh như Hình 12.9.

Ở rìa hai tấm kim loại, điện phổ là những đường cong. Trong vùng không gian giữa hai tấm kim loại, điện phổ là những đường thẳng gần như song song và cách đều nhau. Khi đó, điện trường giữa hai tấm kim loại gọi là **điện trường đều**. Thực nghiệm cho thấy, tại mọi điểm trong điện trường đều, vectơ cường độ điện trường bằng nhau.



6. Quan sát Hình 12.7, em hãy mô tả hình dạng, điểm xuất phát, điểm kết thúc của đường sức điện và so sánh độ mạnh yếu của điện trường tại hai vị trí A và B cho mỗi trường hợp.



▲ Hình 12.9. Điện phổ ở hai tấm kim loại phẳng tích điện trái dấu, cùng độ lớn



Điện trường đều là điện trường có vectơ cường độ điện trường tại mọi điểm đều bằng nhau. Điện trường đều có các đường sức điện song song, cách đều nhau.

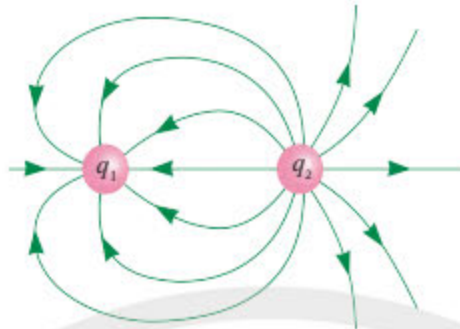
7. Quan sát Hình 12.9, vẽ đường sức điện trường trong vùng không gian giữa hai tấm kim loại phẳng.





Xét đường sức điện của hai điện tích điểm  $q_1$  và  $q_2$  như Hình 12.10.

Em hãy xác định dấu của hai điện tích  $q_1$ ,  $q_2$  và so sánh độ lớn điện tích của chúng.



▲ Hình 12.10. Đường sức điện của hệ hai điện tích  $q_1$  và  $q_2$



Từ các dụng cụ: pin, dây nối, 2 thanh kim loại, dấu cách điện (như dấu máy), thuốc tím ( $KMnO_4$ ), em hãy thiết kế và thực hiện thí nghiệm để quan sát đường sức điện trường giữa hai thanh kim loại.

## BÀI TẬP

1. Trong điều kiện thời tiết bình thường, bên ngoài bề mặt Trái Đất được bao phủ bởi một điện trường. Biết rằng điện trường này có các đường sức điện luôn hướng vào tâm Trái Đất. Hãy xác định dấu của điện tích trên bề mặt Trái Đất trong tình huống này.
2. Đặt lần lượt một electron và một proton vào cùng một điện trường đều. Hạt nào sẽ chịu tác dụng của lực tĩnh điện có độ lớn lớn hơn? Giả sử chỉ xét tương tác tĩnh điện, các tương tác khác được bỏ qua. So sánh gia tốc hai hạt thu được.
3. Đặt hai quả cầu nhỏ có điện tích lần lượt là  $3,0 \mu\text{C}$  và  $-3,5 \mu\text{C}$  tại 2 điểm A và B cách nhau một khoảng  $0,6 \text{ m}$ . Xác định vị trí điểm C sao cho vectơ cường độ điện trường tại đó bằng không.

## Bài 13

# ĐIỆN THỂ VÀ THỂ NĂNG ĐIỆN

- Điện thế, thế năng điện.
- Mối liên hệ giữa cường độ điện trường và điện thế.
- Chuyển động của điện tích bay vào điện trường đều theo phương vuông góc với đường sức và ứng dụng.



Vào ngày 27/5/1994, đường dây cao thế 500 kV Bắc – Nam (Hình 13.1) đã chính thức được đưa vào vận hành. Sự kiện này đánh dấu một cột mốc lịch sử khi tạo ra sự liên kết lưới điện quốc gia. Vậy “thế” trong cụm từ “cao thế” đặc trưng cho khả năng gì về điện?



▲ Hình 13.1. Đường dây 500 kV Bắc – Nam đi qua tỉnh Thanh Hoá

## 1 THỂ NĂNG ĐIỆN. ĐIỆN THẾ

### ➤ Công của lực điện

Xét điện tích điểm  $q > 0$  được bắn vào một vùng không gian có điện trường đều với độ lớn cường độ điện trường là  $E$ . Điện tích  $q$  chuyển động theo quỹ đạo AB như Hình 13.2. Để xác định công của lực điện tác dụng lên  $q$  trong quá trình chuyển động từ A đến B, ta chia đường cong AB thành các đoạn nhỏ sao cho chúng có thể xem là các đoạn thẳng. Xét đoạn NP, công của lực điện tác dụng lên điện tích  $q$  là  $\Delta A_{NP} = qE\overline{N'P'}$ , với  $\overline{N'P'}$  là hình chiếu của NP lên phương của đường sức điện trường.

Vậy, công của lực điện tác dụng lên điện tích  $q$  khi  $q$  chuyển động từ A đến B là:

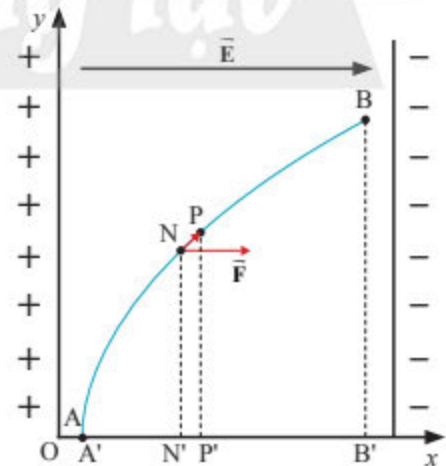
$$A_{AB} = qE\overline{A'B'} \quad (13.1)$$

với  $\overline{A'B'}$  là hình chiếu của AB lên phương của đường sức điện trường.

**Lưu ý:** Trong trường hợp  $q < 0$ , cách xác định công của lực điện là tương tự như trường hợp  $q > 0$ .



1. Liệt kê một số lực thế đã được học. Trình bày đặc điểm về công của lực thế.
2. Quan sát Hình 13.2, xác định công của lực điện tác dụng lên điện tích  $q > 0$  khi  $q$  di chuyển từ A' đến B'.



▲ Hình 13.2. Chuyển động của hạt mang điện  $q > 0$  trong điện trường đều





Công của lực điện tác dụng lên một điện tích không phụ thuộc vào dạng đường đi của điện tích mà chỉ phụ thuộc vào vị trí điểm đầu và điểm cuối của đường đi trong điện trường.

Do đó, lực điện là lực thế và điện trường là một trường thế.

### ➤ Thế năng điện

Tương tự như trường hợp của trọng lực, công của lực điện tác dụng lên điện tích điểm  $q$  để dịch chuyển  $q$  từ điểm A đến điểm B bằng hiệu **thế năng điện** giữa hai điểm này:

$$A_{AB} = W_A - W_B \quad (13.2)$$

Thông thường, gốc thế năng B được chọn ở vô cùng, khi đó  $W_B = 0$  J, ta có:

$$W_A = A_{A\infty} \quad (13.3)$$



Thế năng điện của một điện tích  $q$  tại một điểm trong điện trường đặc trưng cho khả năng sinh công của điện trường để dịch chuyển điện tích  $q$  từ điểm đó ra xa vô cùng.

Trong hệ SI, thế năng điện có đơn vị là jun (J).

### ➤ Điện thế

Ta đã biết độ lớn của lực điện tác dụng lên điện tích  $q$  đặt trong điện trường tỉ lệ thuận với điện tích  $q$ , do đó thế năng điện tại điểm A cũng tỉ lệ thuận với điện tích  $q$ . Chọn gốc thế năng ở vô cùng, ta có:

$$W_A = V_A q \quad (13.4)$$

Trong đó, hệ số tỉ lệ  $V_A$  là đại lượng không phụ thuộc vào điện tích  $q$  mà chỉ phụ thuộc vào điện trường tại vị trí điểm A. Đại lượng  $V_A$  được gọi là điện thế tại điểm A, nó đặc trưng cho điện trường về thế năng của điện tích  $q$  đặt trong điện trường.

Kết hợp (13.3) và (13.4), ta được:

$$V_A = \frac{A_{A\infty}}{q} \quad (13.5)$$

Trong đó,  $A_{A\infty}$  là công của lực điện để dịch chuyển một điện tích  $q$  dương từ A ra vô cực. Ngoài ra, ta có  $A_{A\infty} = A'_{\infty A}$  với

$A'_{\infty A}$  là công mà ta cần thực hiện để đưa điện tích từ vô cực về điểm A. Vậy:



Điện thế tại một điểm trong điện trường là đại lượng đặc trưng cho thế năng điện tại vị trí đó và được xác định bằng công mà ta cần thực hiện để dịch chuyển một đơn vị điện tích dương từ vô cực về điểm đó:

$$V_A = \frac{A'_{\infty A}}{q} \quad (13.6)$$

Trong hệ SI, điện thế có đơn vị là vôn (V).

### Hiệu điện thế

Lấy hiệu điện thế giữa điểm A và điểm B, ta được hiệu điện thế giữa hai điểm A và B trong điện trường:

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (13.7)$$

Kết hợp công thức (13.5), (13.6) và (13.7), ta được  $U_{AB} = \frac{A_{AB}}{q}$ .  
 Vậy, ta rút ra được:



Hiệu điện thế giữa hai điểm A và B trong điện trường là đại lượng đặc trưng cho khả năng thực hiện công của điện trường để dịch chuyển một đơn vị điện tích giữa hai điểm đó và được xác định bằng biểu thức:

$$U_{AB} = \frac{A_{AB}}{q} \quad (13.8)$$

Trong hệ SI, hiệu điện thế có đơn vị là vôn (V).

Công thức (13.8) cho ta thấy: 1 V là hiệu điện thế giữa hai điểm trong điện trường mà công của lực điện để dịch chuyển một điện tích dương 1 C giữa hai điểm đó bằng 1 J.

**Lưu ý:** Điện thế tại một điểm chính là giá trị hiệu điện thế giữa điểm đó với điểm được chọn làm gốc điện thế. Trong một số trường hợp, ta cũng có thể chọn gốc điện thế ở mặt đất.

**Ví dụ:** Ta cần thực hiện một công  $8 \cdot 10^{-5}$  J để dịch chuyển một điện tích  $1,6 \cdot 10^{-4}$  C từ vô cực đến điểm M. Chọn gốc điện thế ở vô cực, tính điện thế tại M.

#### Bài giải

Ta có:  $A'_{\infty M} = 8 \cdot 10^{-5}$  J.

Theo công thức (13.8) ta có điện thế tại M là:

$$V_M = \frac{A'_{\infty M}}{q} = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{1,6 \cdot 10^{-4}} = 0,5 \text{ V.}$$



3. Kết hợp công thức (13.5), (13.6) và (13.7), em hãy rút ra công thức (13.8).

4. Xét hai điểm M và N trong điện trường đều. Biết vectơ cường độ điện trường hướng từ M đến N. Hãy so sánh giá trị điện thế tại điểm M và N.



### ➤ Mối liên hệ giữa cường độ điện trường với hiệu điện thế

Từ các công thức (13.1) và (13.8), ta rút ra:

$$E = \frac{U_{AB}}{A'B'} \quad (13.9)$$

Tổng quát, ta có:

$$E = \frac{U}{d} \quad (13.10)$$

với  $d$  là khoảng cách giữa hai điểm đang xét trên phương của vectơ cường độ điện trường.

**Lưu ý:** Cần xác định dấu của  $\overline{A'B'}$ :

+ Nếu  $\overline{A'B'}$  cùng chiều với  $\vec{E}$ :  $d = \overline{A'B'} > 0$ .

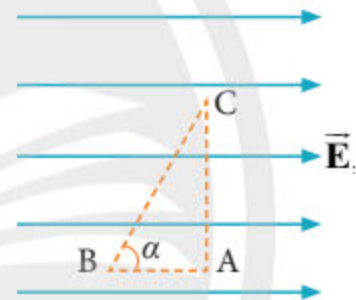
+ Nếu  $\overline{A'B'}$  ngược chiều với  $\vec{E}$ :  $d = \overline{A'B'} < 0$ .



5. Giải thích vì sao cường độ điện trường có thể được đo bằng đơn vị vôn trên mét (V/m).

## 2 VẬN DỤNG CÔNG THỨC LIÊN HỆ GIỮA CƯỜNG ĐỘ ĐIỆN TRƯỜNG VÀ HIỆU ĐIỆN THẾ

**Ví dụ 1:** Trong vùng không gian có điện trường đều  $\vec{E}$ , xét ba điểm A, B và C tạo thành một tam giác vuông tại A, trong đó cạnh AB song song với các đường sức như Hình 13.3. Cho  $BC = 10 \text{ cm}$  và  $\alpha = 60^\circ$ . Biết hiệu điện thế giữa hai điểm B và C bằng 100 V.



▲ Hình 13.3. Ba điểm A, B, C trong điện trường đều

- Tính độ lớn cường độ điện trường  $E$ .
- Tính hiệu điện thế giữa hai điểm A, C và giữa hai điểm A, B.

### Bài giải

a) Từ công thức (13.10), ta có hiệu điện thế giữa hai điểm B, C được xác định:

$$U_{BC} = E \cdot d_{BC} = E \cdot \overline{BA} = E \cdot BC \cdot \cos \alpha$$

Với  $d_{BC}$  là hình chiếu của BC lên phương của đường sức điện.

$$\text{Suy ra } E = \frac{U_{BC}}{BC \cdot \cos \alpha} = \frac{100}{0,1 \cos 60^\circ} = 2000 \text{ V/m.}$$

b) Ta có:

+ Hiệu điện thế giữa hai điểm A, C:

$$U_{AC} = E \cdot d_{AC} = 0 \text{ V.}$$

+ Hiệu điện thế giữa hai điểm A, B:

$$U_{AB} = E \cdot d_{AB} = -E \cdot \overline{BA} = -U_{BC} = -100 \text{ V.}$$

**Ví dụ 2:** Xét hai bản kim loại hình vuông A và B đặt song song cách nhau 5 mm, tích điện bằng nhau nhưng trái dấu. Biết bản A tích điện dương và bản B tích điện âm. Hiệu điện thế giữa hai bản là  $U_{AB} = 25$  V. Xem điện trường giữa hai bản là đều, các đường sức điện vuông góc với các bản.

- a) Xác định độ lớn cường độ điện trường giữa hai bản kim loại.
- b) Xét một hạt electron bắt đầu chuyển động từ bản B. Xác định độ lớn lực điện tác dụng lên electron và tốc độ của electron khi nó đến bản A. Biết khối lượng electron  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$  kg.

**Bài giải**

a) Độ lớn cường độ điện trường giữa hai bản kim loại:

$$E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{25}{5 \cdot 10^{-3}} = 5000 \text{ V/m.}$$

b) Độ lớn lực điện tác dụng lên electron:

$$F = |q_e|E = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5000 = 8 \cdot 10^{-16} \text{ N.}$$

Độ biến thiên động năng bằng công của lực điện trường:

$$W_d - W_{d0} = A \Rightarrow \frac{1}{2} m_e v^2 - 0 = q_e U_{BA}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2q_e U_{BA}}{m_e}} = \sqrt{\frac{2(-1,6 \cdot 10^{-19})(-25)}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 2,96 \cdot 10^6 \text{ m/s.}$$

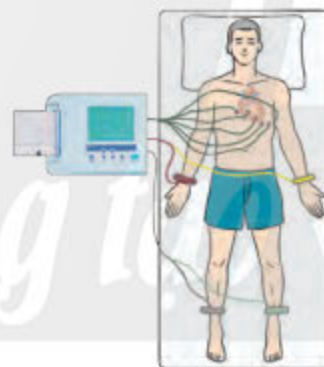
**Lưu ý:**  $U_{BA} = V_B - V_A$ . Do đó, khi electron đi từ bản âm sang bản dương thì  $U_{BA} < 0$ .

Xét hai bản kim loại song song, cách nhau 2,0 cm và có hiệu điện thế 5,0 kV. Tính lực điện tác dụng lên một hạt bụi nằm trong khoảng giữa hai bản, biết hạt bụi có điện tích  $8,0 \cdot 10^{-19}$  C.



**Đo điện tim**

Trong máy đo điện tim, các điện cực được sử dụng để đo hiệu điện thế giữa các điểm khác nhau trên da của bệnh nhân, thường không vượt quá 1 mV đối với người bình thường (Hình 13.4). Đây là một phương pháp có độ nhạy cao để phát hiện sự bất thường của chức năng tim. Dựa vào sách, báo, internet, các em hãy tìm hiểu và trình bày ngắn gọn nguyên lý hoạt động của máy đo điện tim.



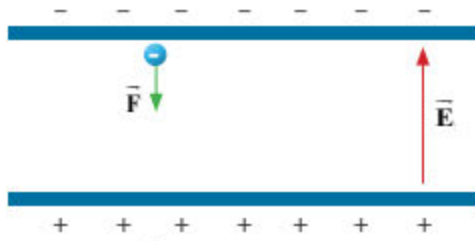
▲ Hình 13.4. Bệnh nhân đang được đo điện tim

**3 CHUYỂN ĐỘNG CỦA ĐIỆN TÍCH TRONG ĐIỆN TRƯỜNG ĐỀU**

➤ **Điện tích chuyển động với vận tốc ban đầu song song với vectơ cường độ điện trường**

Xét điện trường đều được tạo bởi 2 tấm kim loại phẳng, đặt song song cách nhau một khoảng  $d$ , tích điện trái dấu như Hình 13.5. Hạt electron chuyển động với vận tốc ban đầu bằng không từ bản âm.





▲ Hình 13.5. Chuyển động của electron song song với vectơ cường độ điện trường

Dưới tác dụng của lực điện  $\vec{F} = q_e \vec{E}$ , hạt electron được gia tốc và chuyển động theo phương song song nhưng ngược chiều với điện trường. Theo định lí động năng trong chương trình Vật lý 10, ta có vận tốc của hạt electron tại bản dương:

$$v = \sqrt{\frac{2q_e E d}{m}} \quad (13.11)$$

Chuyển động của hạt mang điện song song với điện trường được ứng dụng trong máy gia tốc tuyến tính. Máy gia tốc tuyến tính thường được sử dụng trong quá trình xạ trị để điều trị bệnh ung thư.

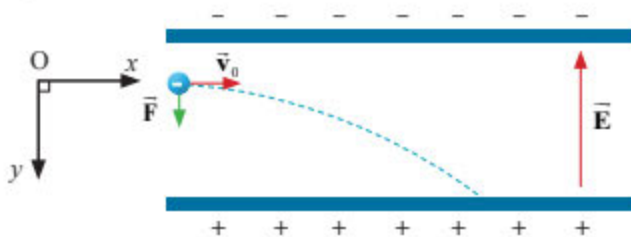
Nguyên tắc hoạt động của máy gia tốc tuyến tính: Các electron với năng lượng thấp được sinh ra do bức xạ nhiệt từ súng điện tử. Chúng được đưa vào buồng gia tốc (Hình 13.6). Dưới tác dụng của lực điện, các electron được gia tốc trở thành electron năng lượng cao. Sau đó, chúng được lái tới vùng cần xạ trị để tiêu diệt tế bào ung thư.



▲ Hình 13.6. Sơ đồ nguyên lí của máy gia tốc tuyến tính dùng electron

### ➤ Điện tích chuyển động với vận tốc ban đầu vuông góc với vectơ cường độ điện trường

Xét một electron chuyển động với tốc độ  $v_0$  vào vùng điện trường đều được tạo bởi 2 tấm kim loại phẳng, đặt song song, tích điện trái dấu sao cho vận tốc đầu của electron song song với 2 tấm kim loại như Hình 13.7.



▲ Hình 13.7. Chuyển động của electron trong điện trường đều



6. Áp dụng định lí động năng, em hãy rút ra công thức (13.11).

7. Xác định các lực tác dụng lên electron trong Hình 13.7. Từ đó, dự đoán chuyển động của electron.

Khi trọng lực của electron có độ lớn rất nhỏ so với lực điện tác dụng lên electron, một cách gần đúng, electron chỉ chịu tác dụng của lực điện  $\vec{F} = q_e \vec{E}$  cùng chiều dương quy ước. Quỹ đạo chuyển động của electron khi này giống với quỹ đạo chuyển động của vật ném ngang đã được phân tích trong chương trình Vật lý 10, gồm 2 thành phần:

+ Trên phương Ox: Electron chuyển động thẳng đều với tốc độ  $v_0$ .

+ Trên phương Oy: Lực điện  $\vec{F}$  gây ra gia tốc  $\vec{a} = \frac{q_e \vec{E}}{m}$ .

Electron chuyển động thẳng nhanh dần đều không vận tốc đầu.



Mô tả chuyển động của proton chuyển động với vận tốc  $\vec{v}_0$  vào vùng điện trường đều như Hình 13.7.



Một electron chuyển động với vận tốc đầu  $4 \cdot 10^7$  m/s vào vùng điện trường đều theo phương vuông góc với các đường sức điện. Biết cường độ điện trường là  $E = 10^3$  V/m. Hãy xác định:

a) Gia tốc của electron.

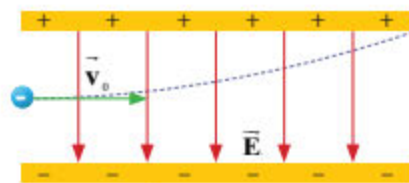
b) Vận tốc của electron khi nó chuyển động được  $2 \cdot 10^{-7}$  s trong điện trường.



Neutron là một hạt không mang điện, có khối lượng xấp xỉ proton. Một hạt neutron tự do có thể tồn tại khoảng 10 đến 15 phút, sau đó phân rã thành electron, proton và phản neutrino (là một hạt không mang điện, có khối lượng rất bé, chuyển động với tốc độ gần bằng tốc độ ánh sáng trong chân không). Em hãy đề xuất phương án để tách hai hạt electron và proton ngay sau khi neutron bị phân rã.

## BÀI TẬP

- Độ chênh lệch điện thế giữa mặt trong và mặt ngoài của màng tế bào trong cơ thể người là 90 mV. Biết mặt trong và mặt ngoài của màng tế bào lần lượt mang điện âm và mang điện dương. Xác định công mà tế bào cần thực hiện để đưa một ion  $\text{Na}^+$  chuyển động từ bên trong ra bên ngoài màng tế bào theo cơ chế chủ động qua kênh protein.
- Một electron chuyển động với tốc độ ban đầu  $v_0 = 1,6 \cdot 10^6$  m/s chuyển động vào vùng điện trường đều theo phương song song với hai bản và ở chính giữa khoảng cách hai bản như Hình 13P.2. Biết chiều dài mỗi bản là 3 cm và khoảng cách giữa hai bản là 1 cm. Giữa hai bản có điện trường hướng từ trên xuống, điện trường bên ngoài hai bản bằng 0. Biết electron di chuyển đến vị trí mép ngoài của tấm bản phía trên, tính độ lớn cường độ điện trường giữa hai bản.



▲ Hình 13P.2.



# Bài 14 TỤ ĐIỆN

- Điện dung, đơn vị đo điện dung.
- Ghép tụ điện nối tiếp, song song.



Màn hình cảm ứng (Hình 14.1) được sử dụng ngày càng phổ biến. Trong đó, màn hình cảm ứng điện dung (sử dụng tụ điện) hoạt động dựa vào khả năng nhường hoặc nhận điện tích của cơ thể con người khi có sự tiếp xúc với các thiết bị điện. Vậy, tụ điện là thiết bị có những đặc tính gì?



▲ Hình 14.1. Màn hình cảm ứng

## 1 ĐIỆN MÔI TRONG ĐIỆN TRƯỜNG

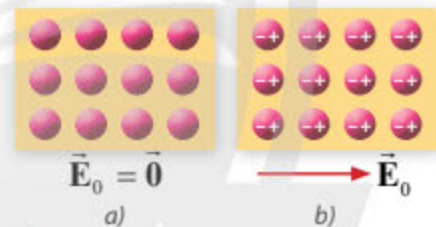
Những vật được cấu tạo từ các chất chứa ít hoặc không có hạt mang điện tự do, không cho điện tích chạy qua được gọi là **điện môi** hay vật cách điện. Ví dụ: nhựa, cao su, sứ, thủy tinh,... Khi tích điện cho khối điện môi, điện tích dư sẽ nằm ngay tại vị trí được đưa vào.

Khi điện môi được đặt vào một vùng không gian có điện trường, mỗi nguyên tử của điện môi bị **phân cực** và làm cho cả khối điện môi bị phân cực với hai mặt tích điện trái dấu nhau như Hình 14.2. Điều này dẫn đến điện trường tổng hợp bên trong khối điện môi có độ lớn nhỏ hơn cường độ điện trường ngoài.

Mỗi chất điện môi được đặc trưng bởi hằng số điện môi, kí hiệu là  $\epsilon$ . Hằng số điện môi và điện trường giới hạn của một số chất điện môi được cho trong Bảng 14.1.



1. Liệt kê một số vật liệu có tính cách điện trong đời sống.



▲ Hình 14.2. Điện môi trước và sau khi đặt vào trong một điện trường

| Điện môi        | Hằng số điện môi ( $\epsilon$ ) | Cường độ điện trường giới hạn ( $10^6$ V/m) |
|-----------------|---------------------------------|---|
| Không khí (khô) | 1,00059                         | 3   |
| Cao su tổng hợp | 6,7                             | 12  |
| Nylon           | 3,4                             | 14  |
| Giấy            | 3,7                             | 16  |
| Sứ              | 6                               | 12  |
| Thủy tinh       | 4 – 6                           | 9   |

▲ Bảng 14.1. Hằng số điện môi và điện trường giới hạn của một số điện môi

## 2 TỤ ĐIỆN

### ➤ Khái niệm tụ điện

Tụ điện là một linh kiện điện tử được sử dụng trong các mạch điện của máy thu thanh, máy tính và các thiết bị điện tử khác. Tụ điện có nhiều hình dạng và kích thước khác nhau (Hình 14.3). Vai trò của tụ điện là tích điện và phóng điện trong mạch.



Tụ điện là một hệ gồm hai vật dẫn đặt gần nhau và ngăn cách nhau bằng một lớp cách điện. Mỗi vật dẫn được gọi là một bản của tụ điện (Hình 14.4).

Dựa vào hình dạng của tụ điện, người ta chia tụ điện thành các loại: tụ điện phẳng, tụ điện trụ và tụ điện cầu.

Ngoài ra, tụ điện còn có thể được phân loại dựa vào môi trường điện môi bên trong tụ: tụ không khí, tụ giấy, tụ mica,...

Trong các sơ đồ mạch điện, tụ điện thường được kí hiệu như Hình 14.5.



▲ Hình 14.5. Kí hiệu tụ điện trong sơ đồ mạch điện

Khi nối hai bản của tụ điện vào hai cực của nguồn điện như Hình 14.4, hai bản này sẽ tích điện bằng nhau về độ lớn nhưng trái dấu. Đây là quá trình  **nạp điện**  (hay tích điện) cho tụ.

Khi nối hai bản của tụ điện đã được nạp điện với một điện trở, một dòng điện sẽ xuất hiện và chạy qua điện trở làm điện tích của tụ giảm dần. Đây là quá trình  **phóng điện**  (hay xả điện) của tụ.

### ➤ Điện dung của tụ điện

Khi nối hai bản của tụ điện với hai cực của nguồn điện có hiệu điện thế  $U$ , một bản của tụ sẽ có điện tích  $Q$ , bản còn lại có điện tích  $-Q$ . Độ lớn điện tích  $Q$  trên mỗi bản của tụ điện khi đã tích điện được gọi là điện tích của tụ điện. Khi nối hai bản của các tụ điện khác nhau vào cùng nguồn điện có hiệu điện thế  $U$ , điện tích của các tụ khác nhau là khác nhau.



▲ Hình 14.3. Một số loại tụ điện



▲ Hình 14.4. Tụ điện nối vào nguồn điện



2. Dựa vào cấu tạo của tụ điện ở Hình 14.4, hãy cho biết tụ điện có cho dòng điện một chiều đi qua không.



Các khảo sát thực nghiệm chứng tỏ, đối với một tụ điện xác định được nối vào nguồn điện, khi thay đổi hiệu điện thế  $U$  thì điện tích  $Q$  của tụ điện cũng thay đổi. Tuy nhiên, tỉ số  $\frac{Q}{U}$  là một hằng số. Thực hiện khảo sát tương tự nhưng cho các tụ điện khác nhau, tỉ số  $\frac{Q}{U}$  có giá trị không đổi tương ứng với từng tụ điện. Mặt khác, tỉ số  $\frac{Q}{U}$  đối với các tụ điện khác nhau là khác nhau. Vậy tỉ số  $\frac{Q}{U}$  đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ.



Điện dung của tụ điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ, kí hiệu là  $C$  và được xác định bởi:

$$C = \frac{Q}{U} \quad (14.1)$$

Trong hệ SI, điện dung có đơn vị là fara (F).

Từ công thức (14.1), ta thấy 1 F là điện dung của một tụ điện mà khi đặt vào giữa hai bản tụ điện một hiệu điện thế 1 V thì điện tích được tích trên tụ là 1 C.

Thông thường, các tụ điện có điện dung rất nhỏ, cỡ từ  $10^{-12}$  F đến  $10^{-6}$  F. Vì vậy, ta thường dùng các ước của fara:

$$1 \text{ micrôfara } (\mu\text{F}) = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ nanôfara } (\text{nF}) = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1 \text{ picôfara } (\text{pF}) = 10^{-12} \text{ F}$$

Mỗi tụ điện đều có một giá trị hiệu điện thế giới hạn. Đó là hiệu điện thế tối đa mà tụ có thể chịu được. Nếu vượt quá giá trị này, tụ điện sẽ bị hỏng. Thông thường, trên vỏ của tụ điện thường ghi giá trị điện dung và hiệu điện thế giới hạn của tụ.

**Lưu ý:** Điện dung của một tụ điện xác định chỉ phụ thuộc vào cấu tạo của tụ điện (dạng hình học của hai bản tụ, vị trí tương đối giữa chúng và môi trường điện môi bên trong tụ) mà không phụ thuộc vào hiệu điện thế giữa hai bản tụ.



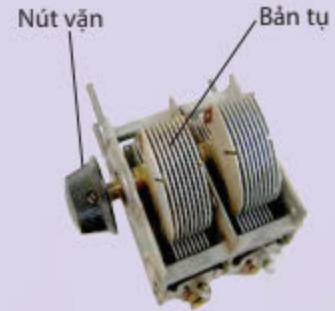
Tụ điện phẳng là một trường hợp riêng của tụ điện. Tụ điện phẳng là hệ gồm hai bản kim loại có diện tích  $S$  bằng nhau, được đặt cách nhau một khoảng  $d$  và tích điện trái dấu.

Các tính toán chứng tỏ điện dung của tụ điện phẳng được xác định bằng công thức:

$$C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd} \quad (14.2)$$

với  $\epsilon$  là hằng số điện môi và  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ .

Trong kĩ thuật, một số tụ điện phẳng được chế tạo sao cho giá trị điện dung của tụ điện có thể điều chỉnh được như tụ điện xoay. Tụ điện xoay có cấu tạo gồm hai hệ kim loại, một hệ cố định và một hệ có thể xoay quanh một trục như Hình 14.6. Khi vặn nút điều khiển, phần diện tích đối diện  $S$  giữa các bản tụ thay đổi, do đó điện dung của tụ cũng thay đổi.



▲ Hình 14.6. Tụ điện xoay



Xét một tụ điện được tích điện. Khi thay đổi điện dung của tụ, hiệu điện thế và điện tích của tụ có thay đổi không trong các trường hợp sau?

- Tụ vẫn còn được mắc vào nguồn điện một chiều.
- Tụ đã được tháo ra khỏi nguồn điện trước khi thay đổi điện dung.



Dựa vào sách, báo, internet, em hãy trình bày ngắn gọn vai trò của tụ điện trong màn hình cảm ứng điện dung của thiết bị điện thoại.

### 3 GHÉP TỤ ĐIỆN

Trong kĩ thuật, để tạo ra tụ điện với điện dung thích hợp, người ta thường ghép các tụ điện thành bộ tụ. Có hai cách ghép cơ bản: ghép nối tiếp và ghép song song.

#### ➤ Bộ tụ ghép nối tiếp

Hình 14.7 mô tả sơ đồ ghép nối tiếp tụ điện. Trong trường hợp này, bản tích điện dương của tụ điện này được nối với bản tích điện âm của tụ điện sát bên. Bản thứ nhất của tụ điện đầu tiên được nối với một cực, bản thứ hai của tụ điện cuối cùng được nối với cực còn lại của nguồn điện.

Gọi  $U$  là hiệu điện thế đặt vào hai đầu của bộ tụ điện;  $U_1, U_2, \dots, U_n$  lần lượt là hiệu điện thế giữa hai đầu tụ điện  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Ta có:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n \quad (14.3)$$

Gọi  $C_b$  là điện dung của bộ tụ điện;  $Q, Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  lần lượt là độ lớn điện tích của cả bộ tụ điện và các tụ điện  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Kết hợp hai công thức (14.3) và (14.1), ta có:



▲ Hình 14.7. Tụ điện ghép nối tiếp



$$\frac{Q}{C_b} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2} + \dots + \frac{Q_n}{C_n} \quad (14.4)$$

Nếu các tụ điện lúc đầu chưa được tích điện, thì điện tích các bản tụ điện mắc nối tiếp sau khi được nối với nguồn sẽ bằng nhau và bằng điện tích của cả bộ tụ điện  $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$



Điện dung của bộ tụ điện ghép nối tiếp được xác định:

$$\frac{1}{C_b} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (14.5)$$

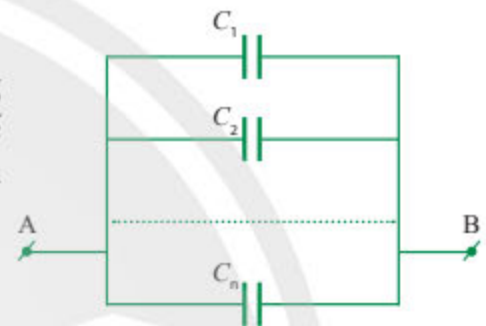
### ► Bộ tụ ghép song song

Hình 14.8 mô tả sơ đồ ghép tụ điện song song. Trong trường hợp này, các tụ điện được mắc vào cùng một hiệu điện thế  $U$ . Gọi  $U_1, U_2, \dots, U_n$  lần lượt là hiệu điện thế đặt vào hai đầu các tụ điện  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Ta có:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad (14.6)$$

Gọi  $Q$  là điện tích của bộ tụ điện;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  lần lượt là độ lớn điện tích các tụ điện  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Do một bản của mỗi tụ điện cùng được ghép vào cực dương của nguồn nên:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n \quad (14.7)$$



▲ Hình 14.8. Tụ điện ghép song song



Điện dung của bộ tụ điện ghép song song được xác định:

$$C_b = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (14.8)$$



3. Xét hai tụ điện có cùng điện dung lần lượt được mắc nối tiếp và song song để tạo ra hai bộ tụ điện khác nhau. Hãy so sánh điện dung của hai bộ tụ điện trên với điện dung của mỗi tụ điện thành phần.



Xét mạch điện như Hình 14.9. Biết hiệu điện thế giữa hai điểm A, B bằng 6 V và điện dung của hai tụ điện lần lượt là  $C_1 = 2 \mu\text{F}$  và  $C_2 = 4 \mu\text{F}$ . Xác định hiệu điện thế và điện tích trên mỗi tụ điện. Giả sử ban đầu các tụ chưa tích điện.



▲ Hình 14.9. Hai tụ mắc nối tiếp



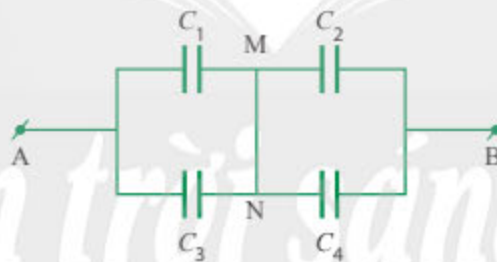
Quan sát Hình 14.10 và cho biết:  
 a) giá trị điện dung của tụ điện.  
 b) ý nghĩa các thông số trên tụ điện.



▲ Hình 14.10. Tụ điện

## BÀI TẬP

- Xét tụ điện như Hình 14.10.
  - Tính điện tích cực đại mà tụ có thể tích được.
  - Muốn tích cho tụ điện một điện tích là  $4,8 \cdot 10^{-4}$  C thì cần phải đặt giữa hai bản tụ một hiệu điện thế là bao nhiêu?
- Hai tụ điện có điện dung lần lượt là  $C_1 = 0,5 \mu\text{F}$  và  $C_2 = 0,7 \mu\text{F}$  được ghép song song rồi mắc vào nguồn điện có hiệu điện thế  $U < 60$  V thì một trong hai tụ có điện tích  $35 \mu\text{C}$ . Tính hiệu điện thế  $U$  của nguồn và điện tích của tụ còn lại.
- Cho các tụ điện  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 3,3 \mu\text{F}$  được mắc thành mạch như Hình 14P.1. Xác định điện dung tương đương của bộ tụ.




▲ Hình 14P.1. Bộ tụ mắc hỗn hợp

Chân trời sáng tạo



# NĂNG LƯỢNG VÀ ỨNG DỤNG CỦA TỤ ĐIỆN

- Năng lượng tụ điện.
- Ứng dụng của tụ điện trong cuộc sống.

 Máy khử rung tim xách tay là thiết bị được các đội y tế thường dùng để cấp cứu bệnh nhân bị rối loạn nhịp tim và tạo nhịp tim ổn định cho bệnh nhân. Khi hoạt động, các điện cực của máy được đặt trên ngực của bệnh nhân để tạo dòng điện đi qua tim bệnh nhân trong thời gian rất ngắn (Hình 15.1), tạo điều kiện cho tim bệnh nhân hoạt động bình thường. Thiết bị này hoạt động dựa vào khả năng tích trữ năng lượng điện của tụ điện bên trong thiết bị. Theo em, tụ điện dự trữ được năng lượng dựa trên nguyên tắc nào?



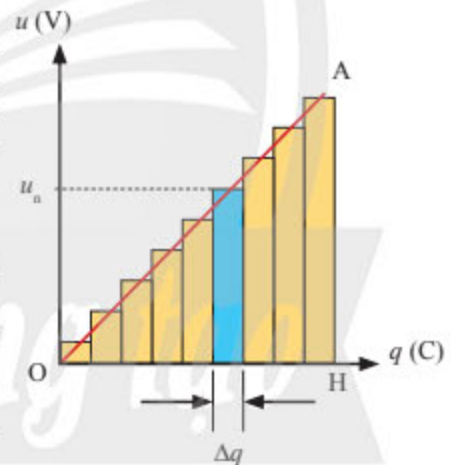
▲ Hình 15.1. Bệnh nhân đang được cấp cứu bằng máy khử rung tim xách tay

## 1 NĂNG LƯỢNG TỤ ĐIỆN

Tụ điện là thiết bị được sử dụng để tích điện và phóng điện dựa vào năng lượng  $W$  mà tụ điện tích lũy được. Lượng năng lượng này chính là công cần thiết  $A$  để di chuyển điện tích đến các bản tụ điện.

Xét một tụ điện ban đầu chưa tích điện. Khi đó, trên mỗi bản tụ điện có nhiều điện tích âm và dương với số lượng bằng nhau, do đó giữa hai bản không xuất hiện điện trường. Để tích điện cho các bản tụ, cần một công để dịch chuyển một lượng điện tích  $q$  từ bản này sang bản kia của tụ điện. Khi đó, giữa hai bản sẽ xuất hiện một hiệu điện thế  $u$  với  $q = uC$ .

Điện tích  $q$  của tụ điện và hiệu điện thế  $u$  giữa hai bản tụ điện tỉ lệ thuận với nhau. Do đó, đồ thị hiệu điện thế – điện tích của tụ điện có dạng đường thẳng, đi qua gốc toạ độ như Hình 15.2 và có hệ số góc bằng  $1/C$  với  $C$  là điện dung của tụ điện.



▲ Hình 15.2. Đồ thị hiệu điện thế – điện tích của tụ điện

Ta đã biết, công để dịch chuyển một lượng điện tích  $\Delta q$  giữa hai điểm có hiệu điện thế  $u_n$  là  $\Delta A = \Delta q \cdot u_n$ , chính là diện tích hình chữ nhật màu xanh trên đồ thị trong Hình 15.2. Nếu chia trục  $q$  thành những đoạn vô cùng bé, thì tổng tất cả diện tích các hình chữ nhật thành phần chính là diện tích của hình tam giác OAH và chính là công tổng cộng để tích điện cho tụ điện từ trạng thái ban đầu đến khi có điện tích  $Q$ . Do đó, ta có:

$$A = \frac{1}{2}QU \quad (15.1)$$

Công này chính là năng lượng được dự trữ trong tụ điện dưới dạng **năng lượng điện trường**.



Năng lượng điện trường được dự trữ bên trong tụ điện:

$$W = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{Q^2}{2C} \quad (15.2)$$



1. Vận dụng kiến thức đã học và công thức (15.1), em hãy rút ra công thức (15.2).



Một tụ điện có điện dung  $C = 2 \text{ pF}$  được tích điện đến điện tích  $3,2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ . Tính năng lượng của tụ điện. Tụ điện này có thể được dùng để duy trì dòng điện trong mạch hay không? Vì sao?

## 2 ỨNG DỤNG CỦA TỤ ĐIỆN

\* **Xây dựng ý tưởng dự án và quyết định chủ đề:**

- *Mục đích:* Nghiên cứu ứng dụng của tụ điện trong cuộc sống.
- *Vấn đề thực tiễn:*

Trong thời đại công nghệ ngày nay, những thiết bị thông minh đang ngày càng phát triển như máy tính xách tay, điện thoại, máy chiếu,... Trong số đó, phải kể đến ô tô điện (Hình 15.3). Ô tô điện có nhiều ưu điểm như chi phí bảo dưỡng thấp hơn xe sử dụng nhiên liệu hoá thạch (xăng, dầu), khả năng vận hành ổn định, tiết kiệm nhiên liệu và đặc biệt là giảm thiểu các vấn đề ô nhiễm môi trường vì xe điện có thể hạn chế phát thải  $\text{CO}_2$ . Tuy nhiên, bên cạnh các lợi ích của xe điện thì vẫn tồn tại một số hạn chế như phạm vi di chuyển, trạm sạc và đặc biệt là chi phí thay pin. Vòng đời pin của xe điện trung bình khoảng 10 năm và chi phí để thay mới lên đến hàng nghìn USD. Do đó, để khắc phục vấn đề này, các nhà nghiên cứu đang tiến hành khảo sát phương án thay thế

2. Tìm hiểu và trình bày một số ứng dụng của tụ điện trong cuộc sống.



▲ Hình 15.3. Xe ô tô đang sạc điện



pin sạc. Trong đó, thiết bị đang được quan tâm nhiều nhất là tụ điện. Các tụ điện có thể sạc, xả hàng triệu lần mà không bị chai, giảm điện dung hoặc bị hỏng. Bên cạnh đó, tốc độ sạc, xả của tụ điện nhanh hơn pin và ắc quy. Ngoài ra, hệ thống năng lượng kết hợp song song giữa pin và tụ điện giúp hỗ trợ kéo dài tuổi thọ sạc, xả của pin, từ đó nâng cao khả năng vận hành của ô tô điện và tiết kiệm chi phí.

Ngoài ra, tụ điện cũng là một linh kiện điện tử có vai trò quan trọng và được ứng dụng rộng rãi trong kĩ thuật. Trong đó có thể kể đến bếp từ, micro với độ nhạy cao khi có sử dụng tụ điện,...

**\* Lập kế hoạch thực hiện dự án:**

- Tìm kiếm nguồn tài liệu đáng tin cậy.
- Tiến hành nghiên cứu ứng dụng của tụ điện trong cuộc sống về vai trò và nguyên lí hoạt động (có thể sử dụng các ứng dụng được cho trong bài).

**\* Báo cáo kết quả:** Công bố sản phẩm và báo cáo kết quả thực hiện dự án.

## BÀI TẬP

1. Xét một đám mây tích điện  $-32\text{ C}$ . Xem đám mây và bề mặt Trái Đất như một tụ điện phẳng, biết điện dung của tụ điện này khoảng  $9,27\text{ nF}$ . Hãy tính:
  - a) Hiệu điện thế giữa hai bản của tụ điện.
  - b) Năng lượng của tụ điện này.
2. Xét một máy khử rung tim xách tay. Để cấp cứu cho bệnh nhân, nhân viên y tế đặt hai điện cực của máy khử rung tim lên ngực bệnh nhân và truyền năng lượng dự trữ trong tụ điện cho bệnh nhân. Giả sử tụ điện trong máy có điện dung  $70\text{ }\mu\text{F}$  và hiệu điện thế giữa hai bản tụ là  $5\text{ 000 V}$ .
  - a) Xác định năng lượng của tụ.
  - b) Giả sử trung bình máy truyền một năng lượng khoảng  $200\text{ J}$  qua bệnh nhân trong một xung có thời gian khoảng  $2\text{ ms}$ . Xác định công suất trung bình của xung.

# TỔNG KẾT CHƯƠNG 3

## 1 CÁC LOẠI ĐIỆN TÍCH

Điện tích được phân thành 2 loại: điện tích dương và điện tích âm. Các điện tích cùng dấu thì đẩy nhau, trái dấu thì hút nhau. Đơn vị đo điện tích là culông (C).

## 2 ĐỊNH LUẬT COULOMB

Lực tương tác tĩnh điện giữa hai điện tích điểm đặt trong chân không có phương trùng với đường thẳng nối hai điện tích điểm đó, có độ lớn tỉ lệ thuận với tích độ lớn của các điện tích và tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng.

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

## 3 ĐIỆN TRƯỜNG – CƯỜNG ĐỘ ĐIỆN TRƯỜNG

– Điện trường là dạng vật chất bao quanh điện tích và truyền tương tác giữa các điện tích. Tính chất cơ bản của điện trường là tác dụng lực điện lên các điện tích khác đặt trong nó.

– Cường độ điện trường do điện tích  $Q$  sinh ra tại một điểm là đại lượng đặc trưng cho điện trường về mặt tác dụng lực tại điểm đó. Đây là một đại lượng vectơ và được xác định bởi biểu thức:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

– Đường sức điện là đường mô tả điện trường sao cho tiếp tuyến tại một điểm bất kì trên đường cũng trùng với phương của vectơ cường độ điện trường tại điểm đó.

– Cường độ điện trường do điện tích điểm  $Q$  gây ra tại một điểm  $M$  cách điện tích một đoạn  $r$  trong chân không có phương nằm trên đường thẳng nối điện tích và điểm  $M$ , có chiều hướng ra xa điện tích nếu  $Q > 0$  và hướng lại gần điện tích nếu  $Q < 0$ , có độ lớn là:

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}$$

## 4 THẾ NĂNG ĐIỆN – ĐIỆN THẾ

– Thế năng điện của một điện tích  $q$  tại một điểm trong điện trường đặc trưng cho khả năng sinh công của điện trường để dịch chuyển điện tích  $q$  từ điểm đó ra xa vô cùng.

– Điện thế tại một điểm trong điện trường là đại lượng đặc trưng cho thế năng điện tại vị trí đó và được xác định bằng công mà ta cần thực hiện để dịch chuyển một đơn vị điện

tích dương từ vô cực về điểm đó:  $V_A = \frac{A'_{\infty A}}{q}$ .

– Mối liên hệ giữa cường độ điện trường và hiệu điện thế:  $E = \frac{U}{d}$ .



## 5 TỤ ĐIỆN – ĐIỆN DUNG

– Tụ điện là một hệ gồm hai vật dẫn đặt gần nhau và ngăn cách nhau bằng một lớp cách điện. Mỗi vật dẫn được gọi là một bản của tụ điện.

– Điện dung của tụ điện là đại lượng đặc trưng cho khả năng tích điện của tụ và được xác

định bởi:  $C = \frac{Q}{U}$ .

## 6 CÁC CÁCH GHÉP TỤ ĐIỆN

– Ghép nối tiếp: Điện dung của bộ tụ điện ghép nối tiếp được xác định:

$$\frac{1}{C_b} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

– Ghép song song: Điện dung của bộ tụ điện ghép song song được xác định:

$$C_b = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

## 7 NĂNG LƯỢNG TỤ ĐIỆN

Năng lượng điện trường được dự trữ bên trong tụ điện:

$$W = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{Q^2}{2C}$$

# DÒNG ĐIỆN KHÔNG ĐỔI

## Chương 4


### Bài 16

## DÒNG ĐIỆN. CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN

- Định nghĩa các khái niệm dòng điện, cường độ dòng điện, đơn vị điện lượng.
- Vận dụng được biểu thức:  $I = \frac{q}{t}$ .



▲ Hình 16.1. Ảnh sáng từ hai bóng đèn sợi đốt cùng loại nhưng có độ sáng khác nhau

 Khi bật công tắc, ta thấy bóng đèn sáng lên gần như ngay lập tức. Phải chăng các hạt tải điện trong dây dẫn nối với bóng đèn đã di chuyển với vận tốc rất lớn? Có thể ước tính vận tốc này bằng cách nào? Ngoài ra, khi so sánh độ sáng hai bóng đèn sợi đốt cùng loại nhưng được đặt vào hai hiệu điện thế khác nhau ta thấy có sự khác biệt (Hình 16.1). Yếu tố nào của dòng điện đã tạo nên sự khác biệt này?

### 1 KHÁI NIỆM DÒNG ĐIỆN

Trong môn Khoa học tự nhiên 8, các em đã biết dòng điện là dòng dịch chuyển có hướng của các điện tích. Khi được đặt vào một điện trường ngoài, các điện tích dương và âm sẽ dịch chuyển theo hai hướng ngược nhau. Chiều dòng điện được quy ước là chiều dịch chuyển có hướng của các điện tích dương (ngược với chiều dịch chuyển có hướng của các điện tích âm).



Dòng điện là dòng dịch chuyển có hướng của các điện tích.  
Chiều dòng điện được quy ước là chiều dịch chuyển có hướng của các điện tích dương (ngược với chiều dịch chuyển có hướng của các điện tích âm).



## 2 CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN

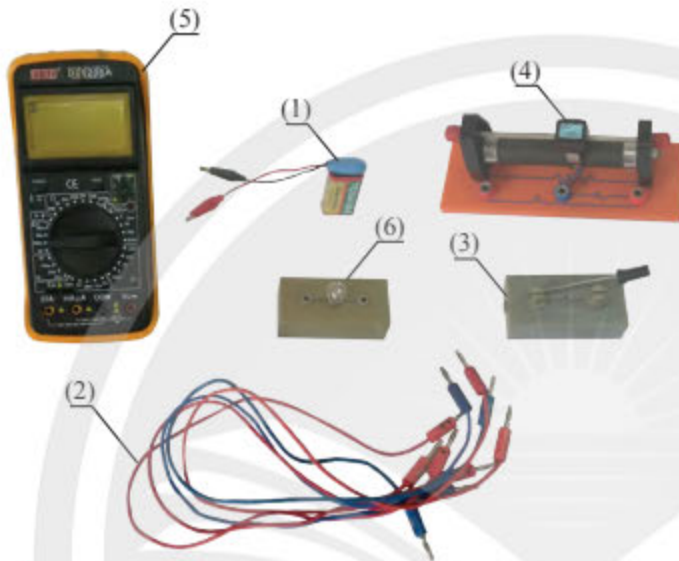
### Thí nghiệm kiểm chứng

#### \* Mục đích:

Kiểm chứng tác dụng mạnh hay yếu của dòng điện.

#### \* Dụng cụ:

- Pin (1), các dây nối (2) và khoá K (3).
- Biến trở (là điện trở có giá trị có thể thay đổi được) (4).
- Ampe kế (5).
- Bóng đèn sợi đốt (6).



▲ Hình 16.2. Bộ dụng cụ thí nghiệm kiểm chứng tác dụng mạnh yếu của dòng điện



1. Dựa vào bộ dụng cụ trong Hình 16.2, em hãy đề xuất phương án thí nghiệm khác để kiểm chứng tính mạnh yếu của dòng điện. Tiến hành thí nghiệm (nếu có điều kiện).

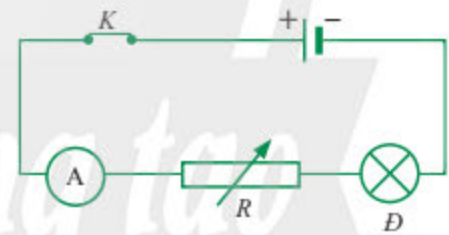
#### \* Tiến hành thí nghiệm:

*Bước 1:* Bố trí thí nghiệm như sơ đồ trong Hình 16.3.

*Bước 2:* Đóng khoá K, điều chỉnh biến trở. Ứng với mỗi giá trị của biến trở, ghi nhận giá trị cường độ dòng điện được đo bởi ampe kế và nhận xét về độ sáng của bóng đèn.

#### \* Báo cáo kết quả thí nghiệm:

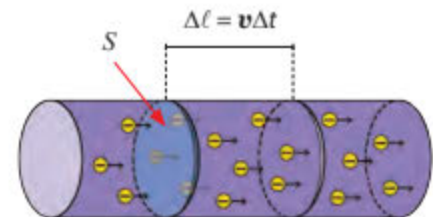
Nhận xét về mối liên hệ giữa độ sáng của đèn và số chỉ của ampe kế khi thay đổi giá trị của biến trở.



▲ Hình 16.3. Sơ đồ kiểm chứng tính chất của cường độ dòng điện

### Khái niệm cường độ dòng điện

Xét một đoạn dây dẫn trong đó có dòng các điện tích dịch chuyển qua tiết diện thẳng  $S$  như Hình 16.4. Giả sử trong khoảng thời gian  $\Delta t$ , lượng điện tích (điện lượng) dịch chuyển qua tiết diện thẳng  $S$  có độ lớn  $\Delta q$ .



▲ Hình 16.4. Điện tích dịch chuyển qua tiết diện thẳng  $S$



Đại lượng vật lý đặc trưng cho tác dụng mạnh hay yếu của dòng điện gọi là **cường độ dòng điện**, được xác định bằng điện lượng dịch chuyển qua tiết diện thẳng  $S$  trong một đơn vị thời gian.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (16.1)$$

Trong hệ SI, cường độ dòng điện có đơn vị là ampe (A).



2. Khi nói về dòng điện, chúng ta thường nhắc tới chiều của nó. Theo em, cường độ dòng điện  $I$  là đại lượng vectơ hay vô hướng?

Trong trường hợp tổng quát, điện lượng dịch chuyển qua tiết diện thẳng  $S$  có thể thay đổi theo thời gian, nghĩa là cường độ dòng điện có thể thay đổi theo thời gian. Do đó, công thức (16.1) chính là giá trị trung bình của cường độ dòng điện trong khoảng thời gian  $\Delta t$ .

Dòng điện có chiều và cường độ không thay đổi theo thời gian được gọi là dòng điện không đổi. Cường độ dòng điện không đổi  $I$  trong một dây dẫn có thể viết đơn giản:

$$I = \frac{q}{t} \quad (16.2)$$

### ► Định nghĩa đơn vị điện tích

Từ công thức (16.1), ta thấy cường độ dòng điện được định nghĩa thông qua tỉ số giữa điện lượng dịch chuyển qua tiết diện thẳng và khoảng thời gian để thực hiện sự dịch chuyển đó. Trong chương trình môn Khoa học tự nhiên 8, các em đã được học đơn vị của cường độ dòng điện trong hệ SI (A) được chọn là đơn vị cơ bản, do đó đơn vị của điện tích (C) được định nghĩa lại như sau:

3. Dựa vào công thức (16.1), hãy lập luận để dẫn dắt ra định nghĩa đơn vị đo điện lượng culông.



1 culông (1 C) là điện lượng chuyển qua tiết diện thẳng của dây dẫn trong 1 s khi có dòng điện không đổi cường độ 1 A chạy qua.

$$1\text{C} = 1\text{A} \cdot 1\text{s} = 1\text{A} \cdot \text{s}$$

### ► Vận dụng

**Ví dụ:** Một dây dẫn bằng đồng có dòng điện 5 A chạy qua. Biết rằng các điện tích dịch chuyển có hướng tạo nên dòng điện này là các electron.

- Hãy xác định điện lượng dịch chuyển qua một tiết diện thẳng của dây dẫn trong 4 phút.
- Tính số electron đã chuyển qua tiết diện thẳng trong câu a.



**Bài giải**

a) Từ công thức định nghĩa:

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = It = 5.4.60 = 1200 \text{ C.}$$

b) Số electron:  $n = \frac{q}{e} = \frac{1200}{1,6.10^{-19}} = 7,5.10^{21}$  hạt.



Hãy so sánh cường độ của hai dòng điện không đổi sau:

Dòng điện 1: Cứ mỗi giây có  $1,25.10^{19}$  hạt electron chuyển qua tiết diện thẳng của dây dẫn.

Dòng điện 2: Cứ mỗi phút có điện lượng 150 C chuyển qua tiết diện thẳng của dây dẫn.



Mỗi khi trời mưa hay giông bão thường kèm theo các tia sét, đó là các dòng điện phóng từ đám mây xuống mặt đất với cường độ trung bình cỡ 300 000 A. Tia sét kéo dài 1,5 s. Hãy tính điện lượng đã di chuyển giữa đám mây và mặt đất trong mỗi tia sét.

**VẬN TỐC TRÔI****➤ Khái niệm vận tốc trôi**

Khi chưa có điện trường ngoài, các hạt tải điện chuyển động nhiệt hỗn loạn theo tất cả các hướng, không có hướng nào là ưu tiên, vì vậy trong vật dẫn không có dòng điện.

Khi có điện trường ngoài, các hạt tải điện vừa chuyển động nhiệt, vừa chuyển động có hướng tạo thành dòng điện. Trong quá trình chuyển động, các hạt tải điện liên tục bị va đập vô số lần với các hạt khác của vật dẫn. Do đó, các hạt tải điện chuyển động hỗn loạn nhưng có xu hướng theo một phương ưu tiên là phương của điện trường ngoài với vận tốc trung bình không đổi, gọi là vận tốc trôi của hạt tải điện.

Để tìm hệ thức xác định độ lớn vận tốc trôi  $v$ , ta xét một dòng điện không đổi, cường độ  $I$  chạy qua một dây dẫn có diện tích tiết diện không đổi  $S$  như Hình 16.4.

Gọi  $n$  là mật độ hạt tải điện trong dây dẫn,  $q$  là điện tích của mỗi hạt tải điện.

Sau khoảng thời gian  $\Delta t$ , toàn bộ điện tích chuyển qua tiết diện  $S$  của dây dẫn chứa trong một hình trụ đứng có đáy  $S$  và chiều dài  $\Delta \ell = v\Delta t$ . Điện lượng của phần này là:

$$\Delta Q = nS\Delta \ell |q| = nSv\Delta t |q|$$

Từ đó:  $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = nSv|q|.$



4. Vì sao khi chưa có điện trường ngoài, các hạt tải điện trong dây dẫn chuyển động nhiệt không ngừng với tốc độ cỡ  $10^6$  m/s mà không có dòng điện trong dây dẫn?



Vận tốc trôi của các hạt tải điện tỉ lệ với cường độ dòng điện chạy trong vật dẫn.

$$v = \frac{I}{nS|q|} \quad (16.3)$$

**Lưu ý:** Thông thường, vật dẫn hay được sử dụng là kim loại, do đó hạt tải điện là electron. Khi đó, công thức 16.3 được viết lại thành:

$$I = nSve \quad (16.4)$$

### ► Vận dụng

**Ví dụ:** Dòng điện không đổi  $I = 1,3 \text{ A}$  chạy trong một dây dẫn bằng đồng có đường kính tiết diện  $d = 1,8 \text{ mm}$ . Khối lượng riêng và nguyên tử lượng của đồng lần lượt là  $\rho = 9 \text{ tấn/m}^3$  và  $A = 64 \text{ g/mol}$ . Giả sử mỗi nguyên tử đồng có một electron tự do. Tính độ lớn vận tốc trôi của các electron tự do tạo nên dòng điện.

#### Bài giải

Vì đồng là kim loại nên hạt tải điện là electron.  
Từ công thức (16.4), ta có:

$$v = \frac{I}{nSe} = \frac{4I}{n\pi d^2 e}$$

Trong đó, mật độ electron  $n$  được xác định bởi:

$$n = \frac{N}{V} = \frac{N_A m}{AV} = \frac{N_A}{A} \cdot \rho \Rightarrow v = \frac{I}{nSe} = \frac{4IA}{\pi d^2 e N_A \rho}$$

Thay số, ta được:

$$v = \frac{4 \cdot 1,3 \cdot 64}{\pi (1,8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 9 \cdot 10^6} \approx 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ m/s} = 0,04 \text{ mm/s.}$$



5. Kết quả tính toán trong ví dụ cho thấy độ lớn vận tốc trôi rất nhỏ (cỡ 0,04 mm/s). Điều này có mâu thuẫn gì với hiện tượng đèn gần như sáng “tức thì” ngay khi bật công tắc hay không?

## BÀI TẬP

- Một ống chứa khí hydrogen bị ion hoá đặt trong điện trường mạnh giữa hai điện cực làm xuất hiện dòng điện. Các electron chuyển động về cực dương, các proton chuyển động về cực âm. Biết mỗi giây có  $3,1 \cdot 10^{18}$  electron và  $1,1 \cdot 10^{18}$  proton chuyển động qua một tiết diện của ống. Hãy tính cường độ dòng điện và xác định chiều của nó.
- Một quả cầu bằng đồng cô lập. Một dây dẫn kim loại mang dòng điện đi vào nó và một dây dẫn kim loại khác mang dòng điện đi ra khỏi nó. Biết cường độ dòng điện đi vào lớn hơn cường độ dòng điện đi ra khỏi quả cầu là  $2 \mu\text{A}$ .
  - Hỏi số electron của quả cầu tăng hay giảm theo thời gian?
  - Tính thời gian để quả cầu tăng (hoặc giảm) một lượng 1 000 tỉ electron.
- Cho dòng điện 4,2 A chạy qua một đoạn dây dẫn bằng kim loại dài 80 cm có đường kính tiết diện 2,5 mm. Mật độ electron dẫn của kim loại này là  $8,5 \cdot 10^{28} \text{ electron/m}^3$ . Hãy tính thời gian trung bình mỗi electron dẫn di chuyển hết chiều dài đoạn dây.



- Định nghĩa điện trở, đơn vị đo điện trở - Các nguyên nhân chính gây ra điện trở.
- Dạng đường đặc trưng  $I - U$  của vật dẫn kim loại ở nhiệt độ xác định.
- Định luật Ohm cho vật dẫn kim loại.
- Sơ lược ảnh hưởng của nhiệt độ lên điện trở của đèn sợi đốt, điện trở nhiệt (thermistor).



Khi vô tình chạm vào đoạn dây có điện bị hở lớp vỏ cách điện, một thợ sửa chữa bị điện giật nhẹ vì có một dòng điện cỡ 10 mA chạy qua người. Nhưng một người khác cũng chạm vào đoạn dây trên thì có thể nguy hiểm đến tính mạng do có dòng điện 90 mA chạy qua người. Điều gì tạo nên sự khác biệt này?

## 1 ĐIỆN TRỞ

### ➤ Khái niệm điện trở

Ta đã biết, khi đặt một hiệu điện thế vào hai đầu của vật dẫn, các hạt mang điện tự do sẽ dịch chuyển có hướng dưới tác dụng của điện trường và tạo ra dòng điện. Quá trình dịch chuyển có hướng này luôn bị cản trở bởi sự tương tác của chúng với các hạt cấu thành vật dẫn và giữa chúng với nhau. Các cấu trúc, sắp xếp khác nhau của các nguyên tử cấu thành vật dẫn cũng như nhiệt độ và kích thước của vật cũng ảnh hưởng rõ rệt lên chuyển động có hướng của các hạt mang điện. Đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng điện của một vật dẫn được gọi là điện trở.



Điện trở của một vật dẫn là đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng điện của vật dẫn. Khi hiệu điện thế đặt vào hai đầu vật dẫn có giá trị  $U$ , dòng điện chạy trong mạch có cường độ  $I$  thì điện trở được xác định theo công thức:

$$R = \frac{U}{I} \quad (17.1)$$

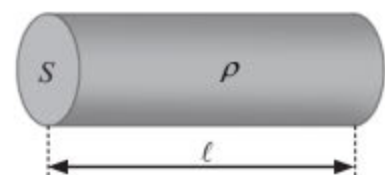
Trong hệ SI, điện trở có đơn vị là ôm ( $\Omega$ ).  $1 \Omega$  là điện trở của một vật dẫn mà khi đặt một hiệu điện thế 1 V vào hai đầu vật dẫn thì dòng điện chạy qua vật dẫn có cường độ 1 A.

### ➤ Điện trở của một đoạn dây kim loại

Ở một nhiệt độ xác định, điện trở của một đoạn dây kim loại phụ thuộc vào hình dạng, kích thước và bản chất vật liệu của nó.



1. Nêu nguyên nhân chính gây ra điện trở của vật dẫn.



▲ Hình 17.1. Một đoạn dây dẫn kim loại



Điện trở của một đoạn dây kim loại hình trụ chiều dài  $\ell$ , diện tích tiết diện  $S$  (Hình 17.1) được xác định theo công thức:

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \quad (17.2)$$

trong đó  $\rho$  là một hệ số tỉ lệ, phụ thuộc vào bản chất vật liệu làm dây dẫn, được gọi là **điện trở suất**.

Điện trở suất của một số kim loại ở 20 °C được liệt kê trong Bảng 17.1.

▼ **Bảng 17.1. Giá trị điện trở suất của một số kim loại ở 20 °C**

| Kim loại | Điện trở suất ở 20 °C ( $\Omega\text{m}$ ) |
|----------|--|
| Bạc      | $1,62 \cdot 10^{-8}$                       |
| Đồng     | $1,69 \cdot 10^{-8}$                       |
| Vàng     | $2,44 \cdot 10^{-8}$                       |
| Nhôm     | $2,75 \cdot 10^{-8}$                       |
| Sắt      | $9,68 \cdot 10^{-8}$                       |



2. Tìm hiểu và giải thích vì sao người ta thường sử dụng đồng để làm dây dẫn điện.



Trong thực tế, điện trở có hình dạng như Hình 17.2. Trong đó, các vạch màu thể hiện giá trị của điện trở với quy ước màu được cho trong Bảng 17.2.



▲ **Hình 17.2. Hình ảnh điện trở trong thực tế**

▼ **Bảng 17.2. Bảng quy ước màu sắc để đọc giá trị của điện trở**

| MÀU          | Vạch 1 | Vạch 2 | Vạch 3 | Hệ số         | Dung sai         |
|--------------|--------|--------|--------|---------------|------------------|
| Đen          | 0      | 0      | 0      | 1 $\Omega$    |                  |
| Nâu          | 1      | 1      | 1      | 10 $\Omega$   | $\pm 1\%$ (F)    |
| Đỏ           | 2      | 2      | 2      | 100 $\Omega$  | $\pm 2\%$ (G)    |
| Cam          | 3      | 3      | 3      | 1k $\Omega$   |                  |
| Vàng         | 4      | 4      | 4      | 10k $\Omega$  |                  |
| Xanh lá cây  | 5      | 5      | 5      | 100k $\Omega$ | $\pm 0,5\%$ (D)  |
| Xanh da trời | 6      | 6      | 6      | 1M $\Omega$   | $\pm 0,25\%$ (C) |
| Tím          | 7      | 7      | 7      | 10M $\Omega$  | $\pm 0,10\%$ (B) |
| Xám          | 8      | 8      | 8      |               | $\pm 0,05\%$     |
| Trắng        | 9      | 9      | 9      |               |                  |
| Hoàng kim    |        |        |        | 0,1           | $\pm 5\%$ (J)    |
| Bạc          |        |        |        | 0,01          | $\pm 10\%$ (K)   |



## 2 ĐỊNH LUẬT OHM

### ➤ Định luật Ohm đối với đoạn mạch chỉ chứa điện trở

Ở một nhiệt độ nhất định, điện trở  $R$  của một đoạn dây kim loại có giá trị hầu như không phụ thuộc vào hiệu điện thế  $U$  giữa hai đầu điện trở hay cường độ dòng điện  $I$  chạy qua nó. Georg Simon Ohm (1789 – 1854) là một nhà vật lý người Đức đã phát biểu định luật mô tả liên hệ giữa cường độ dòng điện chạy qua một điện trở và hiệu điện thế giữa hai đầu của nó mang tên định luật Ohm.





Cường độ dòng điện  $I$  chạy qua một điện trở  $R$  tỉ lệ thuận với hiệu điện thế  $U$  đặt vào hai đầu điện trở:

$$I = \frac{U}{R} \quad (17.3)$$

Khi đó  $U = IR$  còn được gọi là độ giảm thế trên  $R$ .



Đặt hiệu điện thế  $U = 1,5 \text{ V}$  vào hai đầu một sợi dây dẫn bằng đồng có điện trở  $R = 0,6 \Omega$ . Tính cường độ dòng điện chạy qua sợi dây đồng.



3. Các công thức (17.1) và (17.3) có tương đương nhau không? Giải thích.

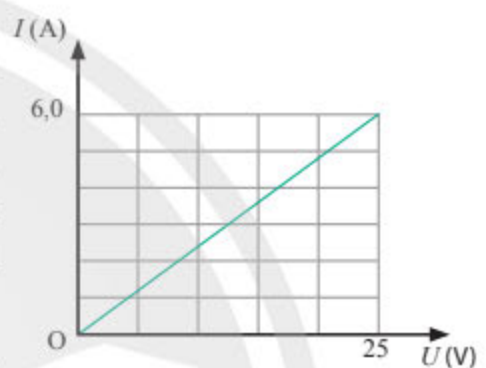
### ➔ Đường đặc trưng vôn – ampe

Đối với nhiều loại vật dẫn, trong đó có kim loại, cường độ dòng điện  $I$  chạy trong vật dẫn luôn tỉ lệ thuận với hiệu điện thế  $U$  đặt vào hai đầu vật dẫn đó ở một nhiệt độ xác định. Nghĩa là điện trở của vật dẫn không phụ thuộc vào  $U$  hay  $I$ . Các vật liệu tạo nên vật dẫn có tính chất này được gọi là vật liệu **thuần trở**, các vật liệu không có tính chất này được gọi là vật liệu **không thuần trở**.

Trong chương trình môn Vật lý ở cấp Trung học phổ thông, ta chỉ xét các vật liệu thuần trở. Khi đó, một đoạn dây dẫn thuần trở được đặc trưng bởi một giá trị điện trở duy nhất ở một nhiệt độ xác định.

Đường biểu diễn sự phụ thuộc của cường độ dòng điện  $I$  chạy qua vật dẫn vào hiệu điện thế  $U$  đặt vào hai đầu vật dẫn được gọi là **đường đặc trưng vôn – ampe** của vật dẫn đó.

Đối với vật dẫn kim loại, ở một nhiệt độ xác định, đường đặc trưng vôn – ampe là một đoạn thẳng như Hình 17.3.



▲ Hình 17.3. Đường đặc trưng vôn – ampe của một đoạn dây kim loại ở  $20^\circ\text{C}$

4. Xác định giá trị điện trở của đoạn dây bằng đồng có đường đặc trưng vôn – ampe như Hình 17.3.



Đặt hiệu điện thế  $U$  ( $U$  có thể điều chỉnh được) vào hai đầu của một điện trở là một đoạn dây bằng đồng dài 10 m, đường kính tiết diện 1 mm và điện trở suất  $1,69 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$  ở  $20^\circ\text{C}$ . Dùng ampe kế đo cường độ dòng điện chạy qua đoạn dây đồng. Điều chỉnh  $U$ , tương ứng với mỗi giá trị của  $U$  ta thu được một giá trị của  $I$ . Kết quả thể hiện trong Bảng 17.3.

|                 |   |      |      |      |      |      |
|-----------------|---|------|------|------|------|------|
| $U \text{ (V)}$ | 0 | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1,0  |
| $I \text{ (A)}$ | 0 | 0,92 | 1,85 | 2,77 | 3,69 | 4,62 |

◀ Bảng 17.3.

a) Dựa vào Bảng 17.3, em hãy vẽ đường đặc trưng vôn – ampe của điện trở trên.

b) Tính điện trở của đoạn dây dẫn. So sánh với giá trị thu được từ đường đặc trưng vôn – ampe.

### 3 ĐÈN SỢI ĐỐT VÀ ĐIỆN TRỞ NHIỆT

#### ➤ Đèn sợi đốt

Khi dòng điện chạy qua một đèn sợi đốt làm bằng dây dẫn kim loại, các electron trong dòng điện thường xuyên va đập, đồng thời truyền năng lượng cho các ion dương tại các nút mạng trong dây dẫn, làm cho các ion dương này dao động mạnh hơn. Kết quả là nhiệt độ của dây dẫn tăng theo, nói cách khác, đèn sợi đốt đã biến năng lượng của dòng điện chạy qua nó thành nhiệt năng và một phần năng lượng nhiệt này được giải phóng dưới dạng ánh sáng.

Mặt khác, khi nhiệt độ đèn sợi đốt càng tăng, dao động của các ion dương tại các nút càng mạnh và sự hỗn loạn đóng góp vào chuyển động của các electron càng tăng. Kết quả là sự va đập giữa các electron và các ion dương xảy ra với tần số lớn hơn, điều này có nghĩa chuyển động có hướng tạo nên dòng điện của các electron bị cản trở nhiều hơn. Nói cách khác, điện trở kim loại của đèn sợi đốt tăng theo.

Đồ thị mô tả sự phụ thuộc của điện trở một đèn sợi đốt vào nhiệt độ được minh họa trong hình 17.4.

Từ đồ thị này, ta có nhận xét: Trong một khoảng nhiệt độ khá rộng, điện trở tăng gần như tuyến tính theo nhiệt độ. Ở vùng nhiệt độ cao, đường biểu diễn hơi cong lên, điều này có nghĩa điện trở tăng theo nhiệt độ nhanh hơn so với vùng nhiệt độ thấp.



Đèn sợi đốt là đèn chiếu sáng khi bị đốt nóng nhờ tác dụng nhiệt của dòng điện trong kim loại. Điện trở của đèn sợi đốt biến thiên chậm theo nhiệt độ.

Đường đặc trưng vôn – ampe của một đèn sợi đốt được thể hiện trong Hình 17.5.

#### ➤ Điện trở nhiệt

Khác với đèn sợi đốt, có một số linh kiện mà điện trở của chúng biến thiên rất nhanh theo nhiệt độ, đó là điện trở nhiệt (thermistor). Chúng thường được dùng làm các cảm biến nhiệt.



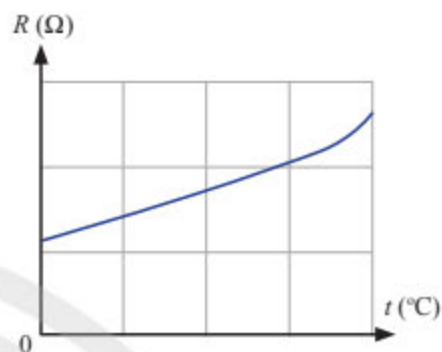
Điện trở nhiệt (Thermistor) là một linh kiện điện tử mà điện trở của nó biến thiên nhanh theo nhiệt độ.

Có hai loại điện trở nhiệt chính:

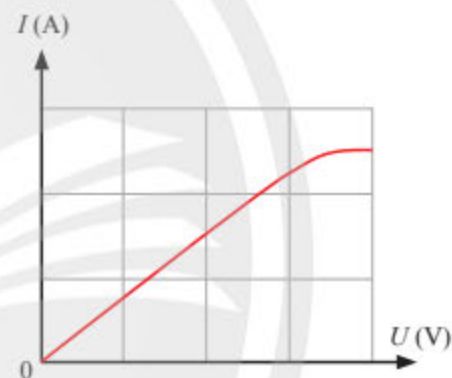
– Điện trở nhiệt hệ số dương PTC (Positive Temperature Coefficient) hay còn gọi là **điện trở nhiệt thuận**: có điện trở tăng khi nhiệt độ tăng (Hình 17.6).



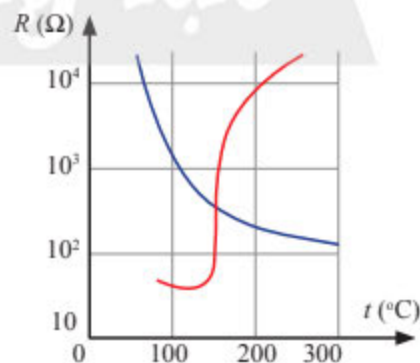
5. Thảo luận về ảnh hưởng của nhiệt độ lên điện trở của đèn sợi đốt.



▲ Hình 17.4. Sự phụ thuộc của điện trở của một đèn sợi đốt vào nhiệt độ



▲ Hình 17.5. Đường đặc trưng vôn – ampe của một đèn sợi đốt



▲ Hình 17.6. Sự phụ thuộc của giá trị điện trở đối với điện trở nhiệt hệ số dương (đường màu đỏ) và hệ số âm (đường màu xanh dương) theo nhiệt độ



– Điện trở nhiệt hệ số âm NTC (Negative Temperature Coefficient) hay còn gọi là **điện trở nhiệt nghịch**: có điện trở giảm khi nhiệt độ tăng (Hình 17.6).

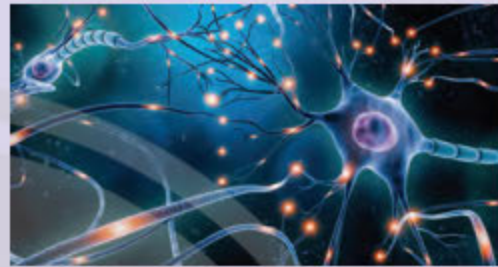


Nêu một vài ứng dụng của điện trở nhiệt.



### Sơ lược về sự dẫn điện trong hệ thống thần kinh con người

Dòng điện có ở khắp nơi và đem lại nhiều lợi ích về mọi mặt của đời sống xã hội. Điều thú vị là ngay trong thế giới sinh vật, trong các cơ thể sống của động vật, dòng điện cũng đóng một vai trò rất quan trọng: Dòng điện trong hệ thống thần kinh giúp con người nhận thức về thế giới, giao tiếp giữa các bộ phận bên trong cơ thể và để kiểm soát các cơ,...



▲ Hình 17.7. Neuron thần kinh con người

Thành phần cơ bản của hệ thần kinh là tế bào thần kinh (neuron) (Hình 17.7).

Khi chưa nhận được kích thích, tế bào ở trạng thái “ngủ”, mặt trong của màng tế bào tích điện âm và mặt ngoài của màng tế bào tích điện dương. Hiệu điện thế giữa mặt trong và mặt ngoài, tùy theo loại tế bào, có giá trị trong khoảng từ  $-60$  mV đến  $-90$  mV. Hiệu điện thế này có thể thay đổi do sự thẩm thấu qua màng tế bào của các ion, phổ biến là  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ .

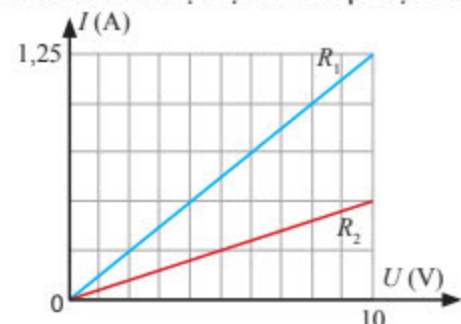
Khi gặp một kích thích như sơ ý chạm tay vào bình nước nóng, nhiệt độ cao làm xáo trộn nồng độ các ion và làm thay đổi hiệu điện thế giữa mặt trong và ngoài của màng tế bào của các đầu dây thần kinh dưới da bàn tay. Tùy theo kích thích mạnh hay yếu mà hiệu điện thế này thay đổi từ khoảng  $-60$  mV đến khoảng  $+40$  mV, tạo thành một xung điện kéo dài khoảng  $1$  ms và lan truyền dọc theo dây thần kinh dưới dạng dòng điện về não với tốc độ từ  $30$  m/s đến  $150$  m/s. Não xử lý bằng cách tạo một xung điện khác truyền dọc theo các dây thần kinh để điều khiển cơ bàn tay lại.

## BÀI TẬP

1. Thông tin kĩ thuật của một loại cáp điện được in trên vỏ sản phẩm như sau: Diện tích tiết diện:  $1,5$  mm<sup>2</sup>, điện trở mỗi km chiều dài:  $12,1$  Ω. Hãy xác định điện trở suất của vật liệu làm cáp điện này.

2. Đường đặc trưng vôn – ampe của hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$  được cho bởi Hình 17P.1.

- Lập luận để xác định điện trở nào có giá trị lớn hơn.
- Tính giá trị mỗi điện trở.



▲ Hình 17P.1. Đường đặc trưng vôn – ampe của hai điện trở

# Bài 18 > NGUỒN ĐIỆN

- Khái niệm nguồn điện.
- Định nghĩa suất điện động.
- Mô tả ảnh hưởng của điện trở trong của nguồn điện lên hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn điện.
- So sánh các khái niệm: suất điện động và hiệu điện thế.



a)



b)



c)

▲ Hình 18.1. a) pin năng lượng mặt trời và điện gió; b) ắc quy; c) pin thông dụng



Dòng điện đem lại rất nhiều lợi ích cho cuộc sống con người cũng như sự phát triển của xã hội. Ở chương trình Trung học cơ sở, trong các thí nghiệm cần có dòng điện, các em đã được làm quen với một số nguồn điện (Hình 18.1) và sử dụng chúng. Vì sao nguồn điện có thể tạo ra và duy trì dòng điện lâu dài? Những đại lượng vật lý nào đặc trưng cho nguồn điện?

## NGUỒN ĐIỆN

### ➤ Khái niệm nguồn điện

Khi nối hai quả cầu kim loại A và B có điện thế khác nhau (giả sử  $V_A > V_B$ ) bằng một dây dẫn kim loại, khi đó sẽ có một dòng các electron dịch chuyển từ B đến A (Hình 18.2), đồng thời hiệu điện thế giữa A và B cũng giảm theo. Khi hiệu điện thế giữa A và B giảm dần về không thì dòng điện cũng giảm dần về không.

Để duy trì dòng điện, ta cần duy trì hiệu điện thế giữa A và B khác không. Điều này có nghĩa, trong khi dòng electron liên tục di chuyển B đến A thì bằng cách nào đó phải liên tục đưa được các electron từ A về B. Thiết bị tạo ra và duy trì hiệu điện thế, từ đó duy trì dòng điện trong mạch gọi là **nguồn điện**.



▲ Hình 18.2. Nối hai quả cầu kim loại A và B có điện thế khác nhau bằng dây dẫn kim loại



Nguồn điện là thiết bị tạo ra và duy trì sự chênh lệch điện thế, nhằm duy trì dòng điện trong mạch kín.

**Lưu ý:** Trong nguồn điện, cực có điện thế cao hơn là cực dương, cực có điện thế thấp hơn là cực âm.



► Suất điện động của nguồn điện

Khi nối hai cực của một nguồn điện bằng dây dẫn kim loại thì bên ngoài nguồn, các electron di chuyển từ cực âm qua dây kim loại về cực dương của nguồn điện. Mặt khác, để duy trì hiệu điện thế giữa hai cực thì bên trong nguồn, các electron này phải tiếp tục được đẩy về cực âm. Vì lực điện trường có xu hướng giữ chặt các electron ở cực dương trong khi cực âm lại đẩy chúng ra xa nó, do đó, để đẩy chúng về cực âm cần có một nguồn năng lượng nào đó thực hiện việc này. Nguồn năng lượng đó có thể là hoá năng trong các pin hoá học, ắc quy,... là cơ năng trong các máy phát điện kiểu cảm ứng, là quang năng trong các pin mặt trời,...

Lực tác dụng lên các electron trong việc di chuyển chúng về cực âm có bản chất không phải lực điện trường và được gọi là lực lạ.

Đối với các điện tích dương thì chiều di chuyển ngược với chiều di chuyển của các electron đã xét ở trên.

Xét một mạch điện kín trong đó có dòng điện. Trong khoảng thời gian  $t$  có lượng điện tích  $q > 0$  di chuyển trong toàn mạch kín thì công của lực lạ  $A$  tỉ lệ bậc nhất với điện tích  $q$ :

$$A = \mathcal{E}_{\text{mạch kín}} q$$

Trong đó,  $\mathcal{E}_{\text{mạch kín}}$  là hằng số và được gọi là suất điện động trong toàn mạch kín.

Nếu mạch chứa nguồn điện và mạch ngoài là điện trở thì nguồn điện là nguyên nhân duy nhất gây ra lực lạ tác dụng lên các điện tích. Khi đó, công của lực lạ  $A$  làm di chuyển điện tích  $q$  trong toàn mạch kín cũng chính bằng công của nguồn điện làm di chuyển điện tích  $q$  từ cực âm đến cực dương trong nguồn. Vì vậy,  $\mathcal{E}_{\text{mạch kín}}$  còn gọi là suất điện động của nguồn điện và kí hiệu là  $\mathcal{E}$ .



Suất điện động  $\mathcal{E}$  của nguồn điện là đại lượng vật lí đặc trưng cho khả năng sinh công của nguồn điện, nó được đo bằng tỉ số giữa công của lực lạ  $A$  làm di chuyển lượng điện tích  $q > 0$  từ cực âm đến cực dương bên trong nguồn điện và điện tích  $q$ .

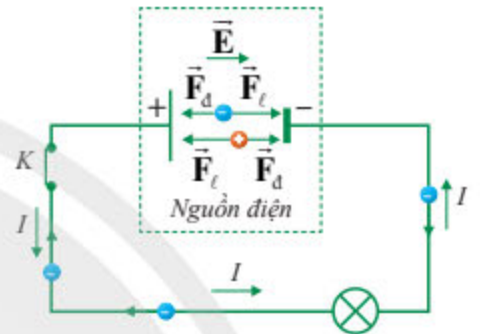
$$\mathcal{E} = \frac{A}{q} \quad (18.1)$$

Trong hệ SI, suất điện động  $\mathcal{E}$  có đơn vị là vôn (V).

Mỗi nguồn điện có một suất điện động nhất định. Giá trị của đại lượng này được ghi trên vỏ của nguồn (pin, ắc quy,...) (Hình 18.4).



1. Quan sát Hình 18.3, mô tả chiều chuyển động của các hạt mang điện trong dây dẫn và bên trong nguồn điện.



▲ Hình 18.3. Dòng dịch chuyển của các điện tích ( $\vec{F}_d$  và  $\vec{F}_l$  lần lượt là lực điện và lực lạ)

2. So sánh sự giống và khác nhau của hai khái niệm: suất điện động và hiệu điện thế.



Xét một nguồn điện có suất điện động 12 V. Xác định công cần thiết của nguồn điện để dịch chuyển một electron từ cực dương sang cực âm của nguồn.



Hình 18.4 thể hiện một số loại pin và ắc quy trên thị trường. Tìm hiểu và trình bày ngắn gọn thông số của các loại pin và ắc quy này.



▲ Hình 18.4. Một số loại pin và ắc quy thông dụng

### ➤ Điện trở trong của nguồn điện

Nguồn điện lí tưởng là nguồn điện không có sự cản trở đối với sự dịch chuyển của các điện tích từ cực này đến cực kia bên trong nguồn điện.

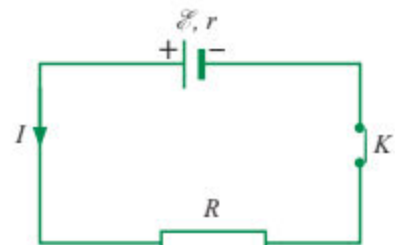
Trong thực tế, khi các điện tích dịch chuyển bên trong nguồn điện về các cực của nguồn dưới tác dụng của lực lạ, chúng luôn va chạm với các hạt vật chất cấu tạo nên nguồn. Do đó, sự dịch chuyển của các điện tích bị cản trở. Đại lượng đặc trưng cho việc cản trở sự dịch chuyển của các điện tích bên trong nguồn điện được gọi là **điện trở trong** của nguồn, thường kí hiệu là  $r$  ( $\Omega$ ).

Khi nguồn điện không được nối với mạch ngoài, nghĩa là không có dòng điện chạy qua nó thì hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn điện có giá trị bằng suất điện động của nguồn.

Khi nối nguồn điện với mạch ngoài để có dòng điện  $I$  như Hình 18.5. Ở mạch ngoài, dòng điện có chiều từ cực dương về cực âm, trong khi ở bên trong nguồn điện, dòng điện chạy từ cực âm đến cực dương. Như vậy, khi đi từ cực âm đến cực dương bên trong nguồn điện, điện thế tăng một lượng đúng bằng suất điện động  $\mathcal{E}$ , điện trở trong của nguồn điện lại làm cho điện thế bị giảm một lượng  $Ir$ .



3. Khi di chuyển bên trong nguồn từ một cực sang cực còn lại dưới tác dụng của lực lạ, sự chuyển động của các điện tích có bị cản trở bởi yếu tố nào không?



▲ Hình 18.5. Nguồn điện phát dòng điện





Hiệu điện thế  $U$  giữa hai cực của nguồn điện có suất điện động  $\mathcal{E}$  và điện trở trong  $r$  khi phát dòng điện cường độ  $I$  chạy qua nguồn được xác định bởi:

$$U = \mathcal{E} - Ir \quad (18.2)$$



Mắc hai cực của một pin có suất điện động 9 V vào hai đầu của một mạch chứa điện trở. Cường độ dòng điện trong mạch và hiệu điện thế giữa hai đầu của mạch lần lượt có giá trị đo được là 0,1 A và 8,9 V. Xác định giá trị điện trở trong của pin.



Em hãy giải thích vì sao lời khuyên khi cất giữ pin là cần để pin nơi khô và thoáng mát.



### Ghép nguồn điện

#### \* Nguồn điện ghép nối tiếp:

Khi có  $n$  nguồn điện được ghép nối tiếp với nhau như Hình 18.7, cực âm của nguồn điện  $\mathcal{E}_1$  nối với cực dương của nguồn điện  $\mathcal{E}_2$ , tương tự với các nguồn điện khác. Khi đó, cực dương của nguồn đầu tiên và cực âm của nguồn cuối cùng là hai cực của bộ nguồn điện.

Suất điện động của bộ nguồn điện được xác định theo công thức:

$$\mathcal{E}_b = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n \quad (18.3)$$

Điện trở trong của bộ nguồn điện được xác định theo công thức:

$$r_b = r_1 + r_2 + \dots + r_n \quad (18.4)$$

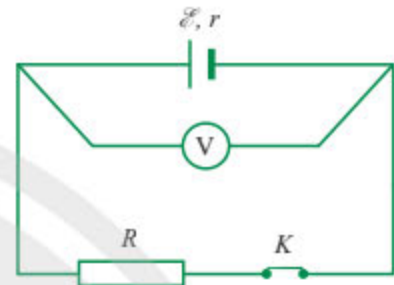
**Lưu ý:** Khi có hai nguồn điện ghép xung đối, tức là cực âm (hoặc cực dương) của nguồn này được nối với cực âm (hoặc cực dương) của nguồn kia như Hình 18.8, điện trở trong của nguồn vẫn được xác định theo công thức (18.4). Giả sử  $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$  thì suất điện động của bộ nguồn điện được xác định theo công thức:

$$\mathcal{E}_b = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 \quad (18.5)$$

Nguồn điện có suất điện động lớn hơn đóng vai trò là nguồn phát, nguồn điện còn lại đóng vai trò là máy thu điện.



4. Mắc hai cực nguồn điện với một điện trở qua một khoá K. Mắc hai đầu một vôn kế vào hai cực của nguồn (Hình 18.6). Bằng lập luận, em hãy so sánh số chỉ của vôn kế trong hai trường hợp khoá K đóng và mở.



▲ Hình 18.6.



▲ Hình 18.7. Nguồn ghép nối tiếp



▲ Hình 18.8. Nguồn ghép xung đối

**\* Nguồn điện ghép song song:**

Khi có  $n$  nguồn điện giống nhau được ghép song song, các cực cùng dấu được nối với nhau như Hình 18.9, suất điện động của bộ nguồn điện được xác định theo công thức:

$$\mathcal{E}_b = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \dots = \mathcal{E}_n \quad (18.6)$$

Điện trở trong của bộ nguồn điện được xác định theo công thức:

$$r_b = \frac{r}{n} \quad (18.7)$$

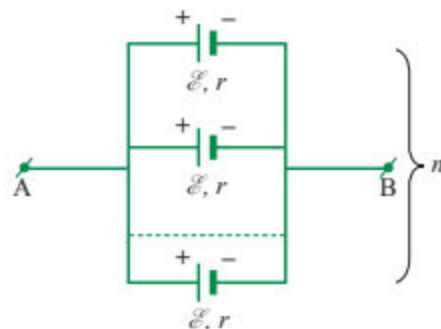
**\* Nguồn điện ghép hỗn hợp đối xứng:**

Khi có  $N$  nguồn điện giống nhau được ghép thành  $n$  dãy, mỗi dãy gồm  $m$  nguồn điện ghép nối tiếp như Hình 18.10. Suất điện động của bộ nguồn điện được xác định theo công thức:

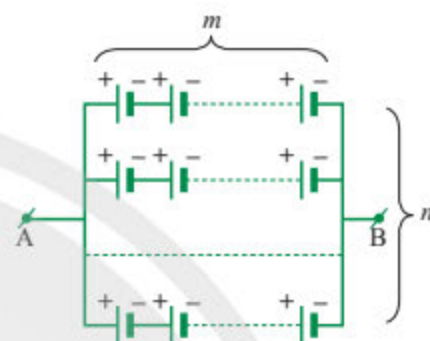
$$\mathcal{E}_b = m\mathcal{E} \quad (18.8)$$

Điện trở trong của bộ nguồn điện được xác định theo công thức:

$$r_b = \frac{mr}{n} \quad (18.9)$$



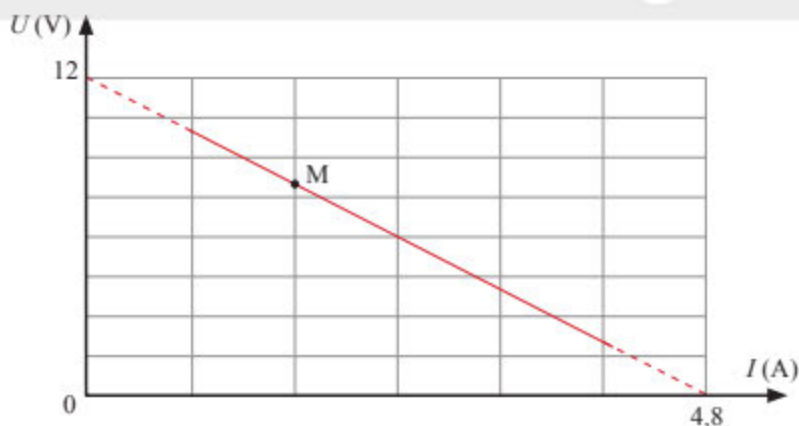
▲ Hình 18.9. Nguồn ghép song song



▲ Hình 18.10. Nguồn ghép hỗn hợp đối xứng

**BÀI TẬP**


- Một nguồn điện có suất điện động 6 V và điện trở trong 0,5 Ω. Khi mắc hai cực của nguồn điện với một vật dẫn thì trong mạch xuất hiện dòng điện 1,4 A. Bỏ qua điện trở các dây nối. Tính hiệu điện thế giữa hai đầu vật dẫn.
- Ghép nối tiếp một biến trở  $R$  với một điện trở  $R_0$  thành bộ rồi nối hai đầu vào hai cực của một nguồn điện không đổi. Điều chỉnh  $R$ , người ta thu được đồ thị đường biểu diễn sự phụ thuộc của hiệu điện thế giữa hai đầu biến trở vào cường độ dòng điện như Hình 18P.1.
  - Xác định giá trị suất điện động của nguồn điện.
  - Xác định giá trị biến trở  $R$  ứng với điểm M trên đồ thị.



▲ Hình 18P.1.



- Khái niệm năng lượng tiêu thụ điện của đoạn mạch.
- Khái niệm công suất tiêu thụ điện của đoạn mạch.
- Tính năng lượng điện và công suất tiêu thụ điện của một đoạn mạch.

 Khi hoạt động, các thiết bị tiêu thụ điện biến đổi điện năng thành các dạng năng lượng khác. Chẳng hạn, bóng đèn (Hình 19.1a) biến đổi một phần điện năng thành quang năng, quạt máy (Hình 19.1b) biến đổi một phần điện năng thành cơ năng, bàn là (Hình 19.1c) biến đổi điện năng thành nhiệt năng,...

Năng lượng điện mà các thiết bị tiêu thụ phụ thuộc vào các yếu tố nào?



**▲ Hình 19.1. Một số thiết bị điện gia dụng:**  
a) đèn bàn; b) quạt máy; c) bàn là

## 1 NĂNG LƯỢNG VÀ CÔNG SUẤT TIÊU THỤ ĐIỆN CỦA ĐOẠN MẠCH

### ➤ Năng lượng tiêu thụ điện của một đoạn mạch

Khi đặt hiệu điện thế  $U$  vào hai đầu một đoạn mạch, lực điện thực hiện công làm cho các điện tích tự do dịch chuyển có hướng tạo thành dòng điện. Giả sử trong khoảng thời gian  $t$  có lượng điện tích  $q$  chạy qua đoạn mạch. Từ công thức (13.8), công của dòng điện đã thực hiện trong khoảng thời gian  $t$  là:

$$A = Uq = UIt$$

Tùy theo loại thiết bị tiêu thụ điện mà công của dòng điện thực hiện sẽ chuyển thành các dạng năng lượng khác nhau. Chẳng hạn, với điện trở thì công của dòng điện thực hiện chuyển thành nhiệt toả ra trên biến trở. Tổng năng lượng mà thiết bị tiêu thụ chính bằng công của dòng điện đã thực hiện trên thiết bị đó.



Năng lượng tiêu thụ của một đoạn mạch bằng tích của hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch với cường độ dòng điện chạy qua đoạn mạch và với thời gian dòng điện chạy qua.

$$A = UIt \quad (19.1)$$

Trong hệ SI, năng lượng có đơn vị là jun (J).



1. Dùng các dây dẫn (có điện trở không đáng kể) nối hai đầu một điện trở với hai cực của một nguồn điện thành mạch kín. Khi này, dòng điện có sinh công trên các đoạn dây nối không? Vì sao?

## ► Công suất tiêu thụ điện của một đoạn mạch

Khi so sánh năng lượng tiêu thụ điện của hai thiết bị khác nhau, chúng ta sẽ không thể xác định được thiết bị nào “mạnh” hơn nếu chỉ dựa vào giá trị năng lượng tiêu thụ điện của chúng.

Để so sánh, ta cần xét năng lượng tiêu thụ của các thiết bị trong cùng một khoảng thời gian.



Công suất tiêu thụ của một đoạn mạch là năng lượng mà đoạn mạch tiêu thụ trong một đơn vị thời gian.

$$P = \frac{A}{t} = UI \quad (19.2)$$

Trong hệ SI, công suất có đơn vị là oát (W).

## ► Trường hợp đoạn mạch là điện trở

Khi dòng điện chạy từ đầu này đến đầu kia của một điện trở, thế năng của các điện tích giảm. Việc các hạt tải điện bị mất năng lượng liên quan đến sự va chạm giữa chúng với các hạt cấu thành điện trở, làm điện trở nóng lên và toả nhiệt ra môi trường. Như vậy, năng lượng dòng điện cung cấp đã chuyển thành nhiệt lượng toả ra trên điện trở. Kết luận này đã được Joule (James Prescott Joule) tìm ra lần đầu tiên vào năm 1840.



2. Xét hai điện trở  $R_1$  và  $R_2$  ( $R_2 > R_1$ ) được ghép song song thành bộ và nối vào hai cực của một nguồn điện. Hãy cho biết công suất tiêu thụ điện của điện trở nào lớn hơn. Giải thích.



Nhiệt lượng toả ra trên điện trở  $R$  được xác định bởi:

$$Q = A = UI t = RI^2 t = \frac{U^2}{R} t \quad (19.3)$$

Công suất toả nhiệt được xác định bởi:

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (19.4)$$



Đặt một hiệu điện thế 12 V vào hai đầu một điện trở 8  $\Omega$ .

- Tính công suất toả nhiệt trên điện trở.
- Tính nhiệt lượng toả ra trên điện trở sau 1 phút.

## 2 NĂNG LƯỢNG VÀ CÔNG SUẤT CỦA MỘT NGUỒN ĐIỆN

### ► Sự biến đổi năng lượng trong một nguồn đang phát điện

Xét một nguồn điện có suất điện động  $\mathcal{E}$  và điện trở trong  $r$  nối với mạch ngoài thành mạch kín. Trong mạch, nguồn đang phát dòng điện  $I$ .



Bên trong nguồn, dòng điện chạy từ cực âm sang cực dương với hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn là  $U$ . Giả sử trong khoảng thời gian  $t$ , có một lượng điện tích  $q > 0$  đi từ cực âm sang cực dương của nguồn. Khi đó, thế năng tĩnh điện của lượng điện tích này tăng thêm một lượng:

$$W = qU = UIt \quad (19.5)$$

Phần năng lượng tăng thêm này bằng với phần năng lượng mà nguồn điện cung cấp cho mạch ngoài. Trong trường hợp mạch ngoài chỉ có điện trở thì chuyển hoá thành nhiệt lượng toả ra trên điện trở tương tự như công thức (19.3).

Kết hợp công thức (19.5) với công thức (18.2) khi nguồn đang phát điện, ta suy ra năng lượng tiêu thụ điện trong mạch ngoài khi được nối vào một nguồn đang phát điện được tính theo công thức:

$$A = W = \mathcal{E}It - rI^2t \quad (19.6)$$

Công suất tiêu thụ điện của mạch ngoài được tính theo công thức:

$$\mathcal{P} = \frac{A}{t} = \mathcal{E}I - rI^2 \quad (19.7)$$



Một phần năng lượng của nguồn phát ra dòng điện cung cấp cho mạch ngoài, phần còn lại chuyển thành nhiệt lượng toả ra bên trong nguồn.

### ► Năng lượng và công suất điện

Trong công thức (19.6), số hạng thứ nhất là năng lượng toàn phần do nguồn điện sinh ra trên toàn mạch:

$$A_0 = \mathcal{E}It \quad (19.8)$$

Công suất của nguồn điện là đại lượng đặc trưng cho tốc độ sản sinh năng lượng của nguồn điện và được tính theo công thức:

$$\mathcal{P}_0 = \frac{A_0}{t} = \mathcal{E}I \quad (19.9)$$

Công suất của một số nguồn điện được cho trong Bảng 19.1. Như vậy, công suất toàn phần của nguồn điện bằng tổng công suất tiêu thụ ở mạch ngoài (có ích) và công suất toả nhiệt trên điện trở  $r$  bên trong nguồn:  $rI^2$ . Hiệu suất của nguồn điện được xác định bằng tỉ số:

$$H = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_0} = \frac{U}{\mathcal{E}} \quad (19.10)$$



3. Khi nguồn điện được nối với mạch ngoài và phát ra dòng điện, nhiệt độ của nguồn điện có tăng lên không? Năng lượng của nguồn điện có thể được biến đổi thành những dạng năng lượng nào?

▼ Bảng 19.1. Công suất của một số nguồn điện

| Nguồn điện                       | Công suất (W)       |
|----------------------------------|---------------------|
| Nhà máy thủy điện Sơn La         | $2,4 \cdot 10^9$    |
| Nhà máy nhiệt điện Phả Lại 2     | $0,6 \cdot 10^9$    |
| Máy phát điện cỡ nhỏ             | $\sim 2 \cdot 10^3$ |
| Bộ kích điện ô tô sử dụng ắc quy | $\sim 10^3$         |
| Sạc dự phòng                     | $\sim 10$           |
| Pin AAA                          | $\sim 2,5$          |



Một nguồn điện có suất điện động  $11,5\text{ V}$  và điện trở trong  $0,8\ \Omega$  được nối với mạch ngoài gồm các điện trở tạo thành một mạch kín. Nguồn phát dòng điện có cường độ  $1\text{ A}$ . Tính công suất điện mà nguồn cung cấp cho mạch ngoài.



Một pin hay ắc quy khi lưu hành trên thị trường sẽ có thêm thông số cho biết về khả năng cung cấp điện của nó cho các thiết bị khác, đơn vị Ah (ampe giờ). Ví dụ: Một ắc quy có thông số  $10\text{ Ah}$  có nghĩa nó có khả năng cung cấp dòng điện  $1\text{ A}$  trong  $10$  giờ, hoặc cung cấp dòng điện  $5\text{ A}$  trong  $2$  giờ, hoặc cung cấp dòng điện  $10\text{ A}$  trong  $1$  giờ, ... Hiện nay, pin sạc dự phòng (Hình 19.2) đang được sử dụng phổ biến để nạp điện cho các thiết bị như điện thoại thông minh, máy tính bảng. Xét một pin sạc dự phòng có thông số  $15\ 000\text{ mAh}$  đã tích đầy điện, khi được kết nối với một thiết bị di động sẽ hoạt động ở công suất  $10\text{ W}$  và hiệu điện thế giữa hai cực của pin bằng  $5\text{ V}$ . Tính điện lượng còn lại trong pin sạc dự phòng khi sử dụng nó để sạc thiết bị trên trong  $30$  phút.

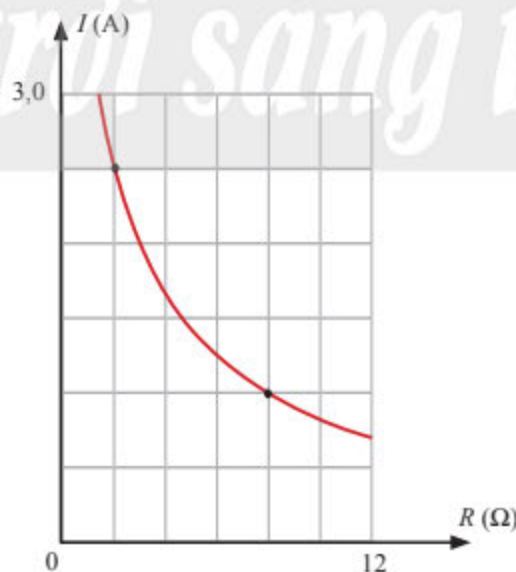


▲ Hình 19.2. Pin sạc dự phòng

## BÀI TẬP

- Mắc hai cực của một nguồn điện không đổi có suất điện động  $6,0\text{ V}$  và điện trở trong  $0,50\ \Omega$  vào hai đầu một điện trở  $R = 3,5\ \Omega$  để tạo thành mạch kín. Bỏ qua điện trở các dây nối. Tính nhiệt lượng toả ra trên điện trở  $R$  trong  $1$  phút.
- Mắc hai cực của một nguồn điện không đổi vào hai đầu biến trở  $R$ . Điều chỉnh  $R$  người ta thu được đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc cường độ dòng điện chạy qua biến trở vào giá trị biến trở (Hình 19.1P). Xác định suất điện động và điện trở trong của nguồn điện.

*Chân trời sáng tạo*



▲ Hình 19P.1. Đồ thị mô tả sự phụ thuộc của cường độ dòng điện vào giá trị biến trở



# THỰC HÀNH XÁC ĐỊNH SUẤT ĐIỆN ĐỘNG VÀ ĐIỆN TRỞ TRONG CỦA PIN

Đo suất điện động và điện trở trong của pin bằng dụng cụ thực hành.



Ta đã biết, suất điện động và điện trở trong là hai đại lượng đặc trưng của một nguồn điện. Trong quá trình sử dụng, suất điện động và điện trở trong của nguồn điện có thay đổi không? Làm thế nào để đo suất điện động và điện trở trong của một nguồn điện?

## Thí nghiệm đo suất điện động và điện trở trong của nguồn điện

### \* Mục đích:

Đo suất điện động và điện trở trong của pin chưa qua sử dụng và pin đã qua sử dụng.

### \* Cơ sở lý thuyết:

Xét mạch điện gồm một nguồn điện có suất điện động  $\mathcal{E}$  và điện trở trong  $r$  mắc nối tiếp với mạch ngoài gồm điện trở  $R_0$  có giá trị đã biết và biến trở  $R$  mắc nối tiếp như Hình 20.1. Xem điện trở của các dây dẫn không đáng kể.

Khi đóng khoá K, trong mạch xuất hiện dòng điện có cường độ là  $I$  được xác định theo công thức:

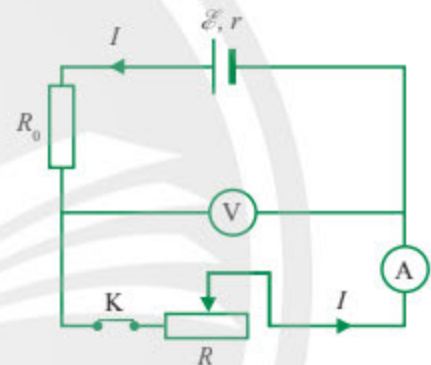
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_0 + r} \quad (20.1)$$

Từ (20.1), ta suy ra công thức xác định hiệu điện thế giữa hai đầu điện trở  $R$  là:

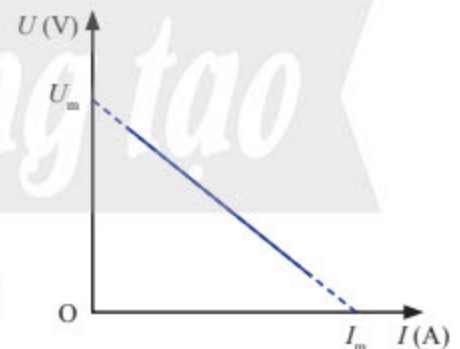
$$U = IR = \mathcal{E} - I(r + R_0) \quad (20.2)$$

Từ (20.1) và (20.2), ta thấy khi thay đổi  $R$  thì  $I$  và  $U$  cũng thay đổi. Theo (20.2), đồ thị mô tả mối quan hệ giữa  $I$  và  $U$  là một đoạn thẳng như Hình 20.2. Đoạn thẳng này có đường kéo dài cắt trục tung OU (khi  $I = 0$ ) tại điểm có giá trị  $U_m = \mathcal{E}$  và cắt trục hoành OI (khi  $U = 0$ ) tại điểm có giá trị

$$I_m = \frac{\mathcal{E}}{r + R_0}.$$



▲ Hình 20.1. Sơ đồ mạch điện



▲ Hình 20.2. Đồ thị mô tả mối quan hệ giữa cường độ dòng điện  $I$  chạy trong mạch và hiệu điện thế  $U$  giữa hai đầu điện trở  $R$

**Lưu ý:** Khi mạch hở, hiệu điện thế giữa hai cực của nguồn điện có giá trị đúng bằng suất điện động  $\mathcal{E}$ . Nếu mắc hai cực của nguồn điện với một vôn kế có điện trở rất lớn (cỡ  $M\Omega$ ) thì số chỉ của vôn kế gần đúng bằng  $\mathcal{E}$ .

**\* Dụng cụ:**

- 2 pin: 1 pin chưa sử dụng và 1 pin đã qua sử dụng, hộp đựng pin (1).
- 1 biến trở  $R$  (2).
- 1 điện trở  $R_0$  đã biết giá trị (3).
- 2 đồng hồ đo điện đa năng hiện số dùng làm ampe kế một chiều và vôn kế một chiều (4).
- Khoá K (5).
- Bảng điện (6) và dây nối (7).



1. Dựa vào cơ sở lí thuyết và dụng cụ trong Hình 20.3, hãy thảo luận nhóm để đưa ra một phương án thí nghiệm xác định  $\mathcal{E}$  và  $r$  của pin.
2. Tìm hiểu và thảo luận vai trò của điện trở  $R_0$  trong mạch điện.



▲ Hình 20.3. Bộ dụng cụ đo suất điện động và điện trở trong của nguồn điện

**\* Tiến hành thí nghiệm:**

**Bước 1:** Lắp mạch điện như Hình 20.1.

**Lưu ý:** Đồng hồ đo thứ nhất dùng làm ampe kế được mắc nối tiếp với biến trở và điện trở  $R_0$ , đồng hồ đo thứ hai dùng làm vôn kế được mắc song song với biến trở.

**Bước 2:** Chọn pin cần đo để lắp vào hộp đựng pin.

**Bước 3:** Chọn thang đo thích hợp cho hai đồng hồ đo điện đa năng và để biến trở ở giá trị lớn nhất.



**Bước 4:** Đóng khoá K. Đọc giá trị của cường độ dòng điện  $I$  chạy trong mạch và hiệu điện thế  $U$  giữa hai đầu biến trở, ghi số liệu vào Bảng 20.1.

**Bước 5:** Thay đổi giá trị  $R$  của biến trở, ứng với mỗi giá trị của biến trở, đọc giá trị của  $I$  và  $U$  tương ứng, ghi số liệu vào Bảng 20.1.

**Lưu ý:**

+ Cần ngắt khoá K sau mỗi lần lấy số liệu.

+ Ứng với mỗi pin, cần lấy ít nhất 5 cặp số liệu ( $I$ ,  $U$ ) để giảm sai số trong quá trình xử lý số liệu.

\* **Báo cáo kết quả thí nghiệm:**

– Dựa vào bảng số liệu, vẽ đồ thị mô tả mối quan hệ giữa  $I$  và  $U$ .

– Xác định suất điện động  $\mathcal{E}$  và điện trở trong  $r$  của pin từ đồ thị.



3. Hãy nêu các nguyên nhân gây ra sai số trong phương án thí nghiệm lựa chọn và cách khắc phục.

▼ **Bảng 20.1.** Bảng số liệu đo cường độ dòng điện trong mạch và hiệu điện thế giữa hai đầu biến trở

| Lần      | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---|---|---|---|---|
| $I$ (mA) | - | - | - | - | - |
| $U$ (V)  | - | - | - | - | - |



Pin chưa sử dụng thường có điện trở trong nhỏ nên đồ thị thu được sẽ có độ dốc nhỏ. Do đó, để xác định được giao điểm với trục hoành, ta cần phải lấy một dải số liệu rộng hơn. Hãy đề xuất một cách xác định  $r$  mà không phải kéo dài đồ thị.



Dựa vào phần lưu ý trong cơ sở lý thuyết, hãy đề xuất một phương án khác để đo suất điện động của nguồn điện. Tiến hành thí nghiệm cho hai pin đã thực hiện đo và so sánh với kết quả đã nhận được.



### Cách tính sai số của đồng hồ đo điện đa năng hiện số

Việc xác định sai số của dụng cụ đo khi sử dụng đồng hồ đo điện đa năng hiện số được trình bày trong Bảng 20.2 và 20.3 lần lượt cho phép đo hiệu điện thế một chiều và cường độ dòng điện một chiều.

▼ **Bảng 20.2. Sai số của dụng cụ đo hiệu điện thế một chiều**

| Giới hạn đo | Độ chia nhỏ nhất (ĐCNN) | Sai số   |
|-------------|-------------------------|--|
| 200 mV      | 100 $\mu$ V             | $\pm (0,8\% \text{ số đọc} + 10 \times \text{ĐCNN})$ |
| 2 V         | 1 mV                    | $\pm (0,5\% \text{ số đọc} + 10 \times \text{ĐCNN})$ |
| 20 V        | 10 mV                   |  |
| 200 V       | 100 mV                  |  |
| 1000 V      | 1 V                     | $\pm (1,0\% \text{ số đọc} + 5 \times \text{ĐCNN})$  |

▼ **Bảng 20.3. Sai số của dụng cụ đo cường độ dòng điện một chiều**

| Giới hạn đo | Độ chia nhỏ nhất (ĐCNN) | Sai số   |
|-------------|-------------------------|--|
| 20 $\mu$ A  | 10 nA                   | $\pm (2,0\% \text{ số đọc} + 10 \times \text{ĐCNN})$ |
| 200 $\mu$ A | 0,1 $\mu$ A             |  |
| 2 mA        | 1 $\mu$ A               | $\pm (1,2\% \text{ số đọc} + 10 \times \text{ĐCNN})$ |
| 20 mA       | 10 $\mu$ A              |  |
| 200 mA      | 100 $\mu$ A             | $\pm (1,5\% \text{ số đọc} + 10 \times \text{ĐCNN})$ |
| 2 A         | 1 mA                    |  |
| 20 A        | 10 mA                   | $\pm (3,5\% \text{ số đọc} + 10 \times \text{ĐCNN})$ |

**Ví dụ:**

– Khi dùng thang 20 V để đo hiệu điện thế một chiều, ta đọc được giá trị 12,36 V.

Sai số của phép đo này là:  $\pm (0,5\% \times 12,36 + 10 \times 0,01) = \pm (0,06 + 0,1) = \pm 0,16 \text{ V}$ .

– Khi dùng thang 200 mA để đo cường độ dòng điện một chiều, ta đọc được giá trị 15,7 mA.

Sai số của phép đo này là:  $\pm (1,5\% \times 15,7 + 10 \times 0,1) = \pm (0,235 + 1,0) = \pm 1,2 \text{ mA}$ .



# TỔNG KẾT CHƯƠNG 4

## 1 DÒNG ĐIỆN. CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN

- Dòng điện là dòng chuyển dời có hướng của các điện tích. Chiều dòng điện được quy ước là chiều dịch chuyển có hướng của các điện tích dương (ngược với chiều dịch chuyển có hướng của các điện tích âm).
- Đại lượng vật lý đặc trưng cho tác dụng mạnh hay yếu của dòng điện gọi là cường độ dòng điện, được xác định bằng điện lượng dịch chuyển qua tiết diện thẳng  $S$  trong một đơn vị thời gian.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Trong hệ SI, cường độ dòng điện có đơn vị là ampe (A).

Trong hệ SI, điện tích có đơn vị là culông (C):  $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$ .

## 2 SỰ PHỤ THUỘC CƯỜNG ĐỘ DÒNG ĐIỆN VÀO VẬN TỐC TRÔI

Vận tốc trôi của các hạt tải điện tỉ lệ với cường độ dòng điện chạy trong vật dẫn.

$$v = \frac{I}{nS|q|}$$

## 3 ĐIỆN TRỞ – ĐÈN SỢI ĐỐT VÀ ĐIỆN TRỞ NHIỆT

– Điện trở của một vật dẫn là đại lượng đặc trưng cho khả năng cản trở dòng điện của vật dẫn. Khi hiệu điện thế đặt vào hai đầu vật dẫn có giá trị  $U$ , dòng điện chạy trong mạch có cường độ  $I$  thì điện trở được xác định theo công thức:

$$R = \frac{U}{I}$$

Trong hệ SI, điện trở có đơn vị là ôm ( $\Omega$ ):  $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$ .

- Đèn sợi đốt là đèn chiếu sáng khi bị đốt nóng nhờ tác dụng nhiệt của dòng điện lên dây dẫn kim loại. Điện trở của đèn sợi đốt tăng gần như tuyến tính với nhiệt độ.
- Điện trở nhiệt là linh kiện điện tử mà giá trị điện trở của nó biến thiên rất nhạy theo nhiệt độ.

## 4 SUẤT ĐIỆN ĐỘNG – ĐỊNH LUẬT OHM CHO CÁC ĐOẠN MẠCH

– Suất điện động của nguồn điện đặc trưng cho khả năng sinh công của nguồn.

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q}$$

– Đoạn mạch chứa điện trở  $R$ : Hiệu điện thế  $U$  và cường độ dòng điện  $I$  thoả:

$$I = \frac{U}{R}$$

– Đoạn mạch chứa nguồn đang phát dòng điện  $I$ : Hiệu điện thế và cường độ dòng điện  $I$  thoả:

$$U = \mathcal{E} - rI$$

### 5 NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ VÀ CÔNG SUẤT TIÊU THỤ CỦA MỘT MẠCH ĐIỆN

– Năng lượng tiêu thụ của một đoạn mạch bằng tích của hiệu điện thế giữa hai đầu đoạn mạch với cường độ dòng điện chạy qua đoạn mạch và với thời gian dòng điện chạy qua.

$$A = UIt$$

Trong hệ SI, năng lượng có đơn vị là jun (J).

– Công suất của dòng điện đặc trưng cho tốc độ sinh công của dòng điện.

$$\mathcal{P} = \frac{A}{t} = UI$$

Trong hệ SI, công suất có đơn vị là oát (W).

### 6 ĐỊNH LUẬT JOULE – LENZ

– Nhiệt lượng toả ra trên điện trở  $R$ :

$$Q = UIt = RI^2t = \frac{U^2}{R}t$$

– Công suất toả nhiệt trên điện trở  $R$ :

$$\mathcal{P} = \frac{Q}{t} = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$$

### 7 NĂNG LƯỢNG VÀ CÔNG SUẤT CỦA NGUỒN ĐIỆN

– Năng lượng toàn phần của nguồn điện:

$$A_0 = \mathcal{E}It = UIt + rI^2t$$

– Công suất toàn phần của nguồn điện:

$$\mathcal{P}_0 = \frac{A_0}{t} = \mathcal{E}I$$

– Hiệu suất của nguồn điện:

$$H = \frac{\mathcal{P}}{\mathcal{P}_0} = \frac{U}{\mathcal{E}}$$



# GIẢI THÍCH THUẬT NGỮ

| CHƯƠNG | THUẬT NGỮ               | GIẢI THÍCH THUẬT NGỮ  | TRANG |
|--------|-------------------------|---|-------|
| 2      | Cảm ứng từ              | Cảm ứng từ tại một điểm trong từ trường là đại lượng đặc trưng cho độ mạnh yếu của từ trường tại điểm đó.                                   | 46    |
| 4      | Chuyển động nhiệt       | Chuyển động hỗn loạn không ngừng về mọi phía.   | 101   |
| 4      | Công suất toả nhiệt     | Nhiệt lượng toả ra môi trường trong một đơn vị thời gian.   | 114   |
| 3      | Điện cực                | Điện cực là phần tử dẫn điện được sử dụng để tạo ra kết nối điện giữa mạch điện và môi trường, có thể trao đổi electron với môi trường đó.  | 84    |
| 4      | Điện tích tự do         | Điện tích không liên kết với phân tử, nguyên tử hay ion và có thể chuyển động tự do.  | 113   |
| 4      | Đồng hồ đo điện đa năng | Thiết bị đo điện dùng để đo hiệu điện thế, cường độ dòng điện, điện trở, điện dung, kiểm tra diot, kiểm tra thông mạch,...                  | 118   |
| 2      | Hoạ âm                  | Những âm có tần số là bội số của tần số âm cơ bản.  | 60    |
| 3      | Ion hóa                 | Quá trình một nguyên tử hay phân tử nhận thêm hay mất đi electron để tạo thành các ion âm hay dương.  | 72    |
| 3      | Lực điện                | Lực do điện trường tác dụng lên các hạt điện tích đặt trong nó.   | 73    |
| 3      | Lực tĩnh điện           | Lực giữa hai vật mang điện tích đứng yên.   | 72    |
| 2      | Mật độ môi trường       | Lượng vật chất trong một đơn vị thể tích môi trường (rắn, lỏng, khí).   | 41    |
| 4      | Máy thu điện            | Chuyển hoá một phần điện năng tiêu thụ thành các dạng năng lượng khác, ngoài nhiệt năng.  | 111   |
| 3      | Năng lượng điện         | Năng lượng được sinh ra bởi sự chuyển động có hướng của dòng điện tích.   | 93    |
| 4      | Nguyên tử lượng         | Khối lượng của một nguyên tử tính bằng đơn vị carbon (đvC).   | 102   |
| 3      | Nhiễm điện              | Sự tích tụ của các điện tích trên bề mặt của một vật. Vật nhiễm điện có thể hút, hoặc đẩy hoặc phóng tia lửa điện qua các vật khác.         | 68    |
| 4      | Nhiệt lượng             | Nhiệt lượng là phần nhiệt năng mà vật nhận được hay mất đi trong quá trình truyền nhiệt.  | 114   |
| 3      | Phân rã                 | Sự biến đổi tự phát của một hạt không bền thành các hạt khác.   | 86    |
| 2      | Sóng âm                 | Sóng cơ truyền trong các môi trường vật chất (rắn, lỏng, khí), khi đến tai người, sóng âm sẽ làm cho màng nhĩ dao động tạo nên cảm giác âm. | 34    |

---

Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam xin trân trọng cảm ơn  
các tác giả có tác phẩm, tư liệu được sử dụng, trích dẫn  
trong cuốn sách này

---

**Chịu trách nhiệm xuất bản:**

Tổng Giám đốc HOÀNG LÊ BÁCH

**Chịu trách nhiệm nội dung:**

Tổng biên tập PHẠM VĨNH THÁI

*Biên tập nội dung:* NGUYỄN BÔNG – PHẠM TRƯỜNG THỊNH

*Biên tập kĩ – mỹ thuật:* PHẠM THỊ HẠ LIÊN

*Thiết kế sách:* PHẠM THỊ HẠ LIÊN

*Trình bày bìa:* TỐNG THANH THẢO – ĐẶNG NGỌC HÀ

*Minh họa:* ANH NHÂN – TRÚC LINH

*Sửa bản in:* NGUYỄN BÔNG – PHẠM TRƯỜNG THỊNH

*Chế bản tại:* CÔNG TY CỔ PHẦN DỊCH VỤ XUẤT BẢN GIÁO DỤC GIA ĐỊNH

---

**Bản quyền thuộc Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.**

---

Tất cả các phần của nội dung cuốn sách này đều không được sao chép, lưu trữ, chuyển thể dưới bất kì hình thức nào khi chưa có sự cho phép bằng văn bản của Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam.

---

**VẬT LÍ 11 (Chân trời sáng tạo)**

Mã số: .....

In.....bản, (QĐ in số...) Khổ 19x26,5 cm.

Đơn vị in:.....

Cơ sở in:.....

Số ĐKXB: .....

Số QĐXB: ... ngày ... tháng ... năm 20 ...

In xong và nộp lưu chiểu tháng ... năm 20...

Mã số ISBN: .....





HUÂN CHƯƠNG HỒ CHÍ MINH

## BỘ SÁCH GIÁO KHOA LỚP 11 – CHÂN TRỜI SÁNG TẠO

1. Toán 11, Tập một
2. Toán 11, Tập hai
3. Chuyên đề học tập Toán 11
4. Ngữ văn 11, Tập một
5. Ngữ văn 11, Tập hai
6. Chuyên đề học tập Ngữ văn 11
7. Tiếng Anh 11  
Friends Global - Student Book
8. Lịch sử 11
9. Chuyên đề học tập Lịch sử 11
10. Địa lí 11
11. Chuyên đề học tập Địa lí 11
12. Giáo dục kinh tế và pháp luật 11
13. Chuyên đề học tập Giáo dục kinh tế và pháp luật 11
14. Vật lí 11
15. Chuyên đề học tập Vật lí 11
16. Hoá học 11
17. Chuyên đề học tập Hoá học 11
18. Sinh học 11
19. Chuyên đề học tập Sinh học 11
20. Âm nhạc 11
21. Chuyên đề học tập Âm nhạc 11
22. Hoạt động trải nghiệm, hướng nghiệp 11 (1)
23. Hoạt động trải nghiệm, hướng nghiệp 11 (2)
24. Giáo dục quốc phòng và an ninh 11

### Các đơn vị đầu mối phát hành

- **Miền Bắc:** CTCP Đầu tư và Phát triển Giáo dục Hà Nội  
CTCP Sách và Thiết bị Giáo dục miền Bắc
- **Miền Trung:** CTCP Đầu tư và Phát triển Giáo dục Đà Nẵng  
CTCP Sách và Thiết bị Giáo dục miền Trung
- **Miền Nam:** CTCP Đầu tư và Phát triển Giáo dục Phương Nam  
CTCP Sách và Thiết bị Giáo dục miền Nam  
CTCP Sách và Thiết bị Giáo dục Cửu Long

**Sách điện tử:** <http://hanhtrangso.nxbgd.vn>

Kích hoạt để mở học liệu điện tử: Cào lớp nhũ trên tem để nhận mã số. Truy cập <http://hanhtrangso.nxbgd.vn> và nhập mã số tại biểu tượng chia khoá.

