

## CƠ HỌC CHẤT ĐIỂM VÀ HỆ (mechanics of particles and systems)

Cơ học, ngành khoa học liên quan đến chuyển động của vật thể dưới tác động của lực, bao gồm cả trường hợp đặc biệt trong đó vật thể đứng yên. Mối quan tâm đầu tiên trong bài toán chuyển động là các lực mà vật thể tác động lên vật khác. Điều này dẫn đến việc nghiên cứu các chủ đề như lực hấp dẫn, điện, và từ tính, tùy theo bản chất của các lực liên quan. Với lực đã cho, người ta tìm hiểu cách mà các vật thể chuyển động dưới tác động của các lực; đây là chủ đề của cơ học thật sự.

Về mặt lịch sử, cơ học là một trong những ngành khoa học chính xác đầu tiên được phát triển. Vẻ đẹp bên trong của nó như là một quy tắc toán học và thành công đáng kể của nó trước tiên là trong việc tính toán chi tiết định lượng cho các chuyển động của Mặt trăng, Trái Đất và các hành tinh khác có ảnh hưởng rất lớn đến tư tưởng triết học và tạo động lực cho sự phát triển có hệ thống của khoa học tiến vào thế kỷ XX.

Cơ học có thể được phân chia theo loại của hệ thống được nghiên cứu. Hệ thống cơ học đơn giản nhất là chất điểm, được định nghĩa là một vật thể đủ nhỏ nên hình dạng và cấu trúc bên trong của nó không có hệ quả trong bài toán được đặt ra. Phức tạp hơn là chuyển động của một hệ thống gồm hai hoặc nhiều chất điểm tác động lên nhau và có thể chịu những lực tác động bởi các vật thể bên ngoài hệ thống.

Các vật rắn có kích thước và hình dạng, nhưng vẫn giữ lại sự đơn giản gần với chất điểm, chỉ thêm một số đại lượng gọi là bậc tự do, chẳng hạn như sự định hướng trong không gian.

Các khái niệm trung tâm trong cơ học cổ điển là lực, khối lượng và chuyển động. Cả lực và khối lượng đều không được định nghĩa rõ ràng bởi Newton, và cả hai đều là chủ đề của nhiều suy đoán triết học kể từ Newton. Cả hai đại lượng đều được biết đến nhiều nhất bởi hiệu ứng của chúng. Khối lượng là độ đo của xu hướng vật thể chống lại sự thay đổi trạng thái chuyển động. Mặt khác, lực tăng tốc vật thể, nghĩa là thay đổi trạng thái chuyển động của vật thể mà chúng tác động. Sự tương tác của các hiệu ứng này là chủ đề chính của cơ học cổ điển.

Mặc dù các định luật của Newton tập trung chú ý vào lực và khối lượng, ba đại lượng khác có sự quan trọng đặc biệt vì tổng lượng của chúng không bao giờ thay đổi. Ba đại lượng này là năng lượng, động lượng, và mô men

động lượng. Bất kỳ một trong số này có thể được chuyển từ một vật thể hoặc hệ thống này sang vật thể hoặc hệ thống khác. Tuy nhiên, tổng năng lượng, động lượng và mô men động lượng trong vũ trụ không bao giờ thay đổi. Thực tế này được thể hiện trong vật lý bằng cách nói rằng năng lượng, động lượng và mô men động lượng được bảo toàn. Ba định luật bảo toàn này phát sinh từ các định luật của Newton, nhưng bản thân Newton đã không diễn tả chúng. Chúng được phát hiện sau đó.

Mục từ này trình bày một số ví dụ về chuyển động của chất điểm.

### *Chuyển động đều*

Theo định luật đầu tiên của Newton (còn gọi là nguyên lý quán tính), một vật thể không có lực tác dụng lên nó sẽ vẫn ở trạng thái nghỉ hoặc tiếp tục chuyển động với tốc độ đều theo một đường thẳng, theo điều kiện ban đầu của chuyển động.

### *Vật thể rơi và chuyển động gia tốc không đổi*

Trong thế kỷ XIV, học giả người Pháp Nicole Oresme nghiên cứu các tính chất toán học của chuyển động nhanh dần đều. Ông ít quan tâm đến việc liệu loại chuyển động đó có thể được quan sát thấy trong thực tế hay không, nhưng ông đã khám phá ra rằng, nếu một chất điểm tăng tốc đều thì tốc độ của nó tăng theo tỷ lệ trực tiếp với thời gian, và khoảng cách đi được tỷ lệ với bình phương của thời gian dành cho việc tăng tốc. Hai thế kỷ sau, Galileo lặp lại những phát hiện toán học tương tự (có lẽ độc lập) và, cũng quan trọng, xác định rằng loại chuyển động này thực sự được thực hiện bởi các quả cầu lăn xuống các mặt phẳng nghiêng. Khi đường nghiêng của mặt phẳng nghiêng tăng, gia tốc tăng lên, nhưng chuyển động tiếp tục được tăng tốc đều. Từ quan sát này, Galileo đã suy luận ra rằng một vật thể rơi tự do theo hướng thẳng đứng cũng sẽ có sự tăng tốc đều.

### *Chuyển động đầu đạn*

Không ai trước Galileo phát hiện ra rằng đường cong vẽ ra bởi một tên lửa hoặc một đầu đạn là một hình parabol. Galileo đã đi đến kết luận của mình bằng cách nhận ra rằng một vật thể trong chuyển động đạn đạo thực hiện, độc lập, chuyển động của một vật thể tự do rơi theo hướng thẳng đứng và chuyển động quán tính theo hướng ngang. Các thuật ngữ như đạn đạo được áp dụng cho một vật thể mà sau khi phóng không chịu tác dụng của lực nào khác ngoài lực hấp dẫn của trái đất.

Chuyển động của đầu đạn có thể được coi như là một ví dụ về chuyển động trong không gian - tức là chuyển động ba chiều chứ không phải chuyển động dọc theo đường thẳng, hay chuyển động một chiều. Trong một hệ tọa độ Đề các phù hợp, vị trí của đầu đạn vào bất cứ lúc nào có thể được xác định bằng cách cho các giá trị của ba tọa độ,  $x(t)$ ,  $y(t)$  và  $z(t)$ . Theo quy ước được chấp nhận rộng rãi,  $z(t)$  được sử dụng để mô tả hướng thẳng đứng. Với một xấp xỉ rất tốt, chuyển động được giới hạn trong một mặt phẳng thẳng đứng, vì vậy đối với bất kỳ đầu đạn nào cũng có thể chọn một hệ tọa độ sao cho chuyển động là hai chiều [nghĩa là,  $x(t)$  và  $z(t)$ ] chứ không phải ba chiều [ $x(t)$ ,  $y(t)$ , và  $z(t)$ ]. Giả định trong phần này rằng phạm vi của chuyển động là đủ hạn chế để độ cong của bề mặt trái đất có thể bị bỏ qua.

Xét một vật thể có chuyển động thẳng đứng tuân theo phương trình của vật rơi:

$$z = x_0 - \frac{gt^2}{2},$$

đồng thời di chuyển theo chiều ngang với tốc độ không đổi  $v_x$  theo quy luật quán tính của Galileo. Chuyển động theo chiều ngang của vật thể do đó được mô tả bởi  $x(t) = v_x t$ , có thể được viết dưới dạng  $t = \frac{x}{v_x}$ . Sử dụng kết quả này để loại bỏ  $t$  dẫn tới:

$$z = x_0 - \frac{gx^2}{2v_x^2}.$$

Đó là phương trình của quỹ đạo của một đầu đạn trong mặt phẳng z-x, bắn theo chiều ngang từ một chiều cao ban đầu  $z_0$ . Nó có dạng chung

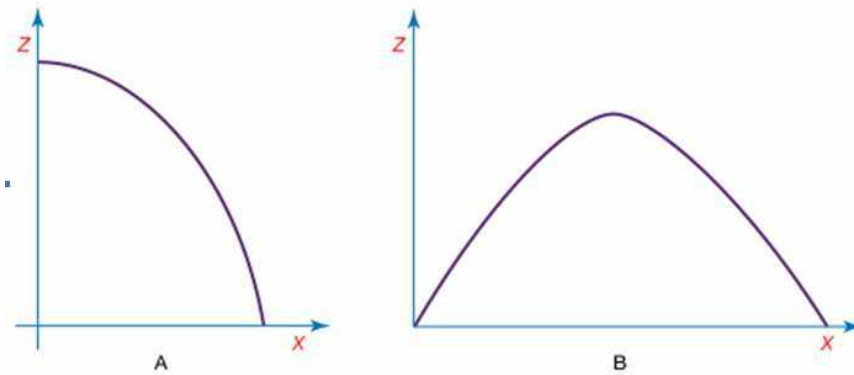
$$z = a + bx^2,$$

trong đó  $a$  và  $b$  là các hằng số.

Phương trình quỹ đạo mô tả một hình parabol (hình 1A), giống như Galileo xác nhận. Hình dạng parabol của quỹ đạo được bảo toàn ngay cả khi chuyển động có thành phần ban đầu của vận tốc theo hướng thẳng đứng (hình 1B).

### *Chuyển động tròn*

Xét một chất điểm di chuyển dọc theo chu vi của một vòng tròn với một tốc độ đều, sao cho nó hoàn thành một vòng trong mỗi giờ. Để mô tả



Hình 1: (A) Đường parabol của một đầu đạn. (B) Đường parabol của một đầu đạn với một thành phần ban đầu đi lên của vận tốc

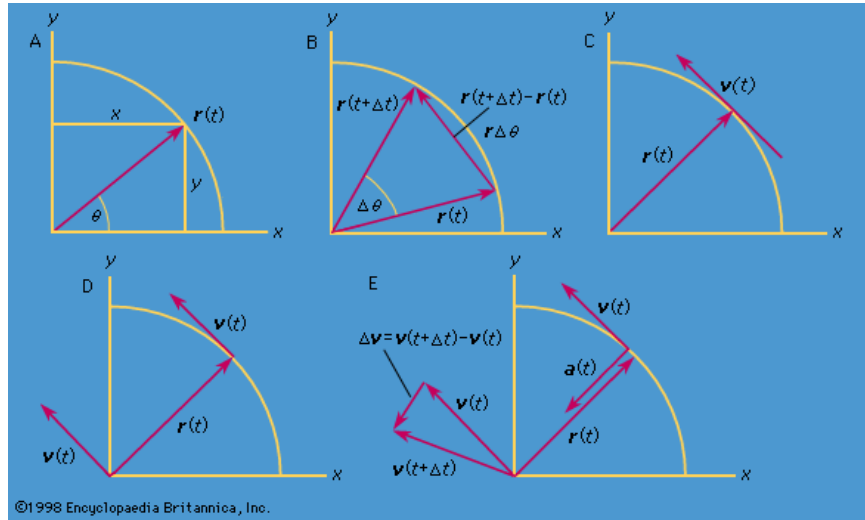
chuyển động một cách toán học, một véc tơ được xây dựng từ tâm của vòng tròn đến chất điểm. Các véc tơ sau đó hoàn thành một vòng quay sau mỗi giờ. Nói cách khác, véc tơ hoạt động chính xác như kim dài trên đồng hồ, một mũi tên có chiều dài cố định hoàn thành một vòng quay sau mỗi giờ. Chuyển động của điểm vector là một ví dụ về chuyển động tròn đều, và khoảng thời gian  $T$  của chuyển động bằng một giờ ( $T = 1$  giờ). Mũi tên quét một góc  $2\pi$  radian (một vòng tròn đầy đủ) mỗi giờ. Tỷ lệ này được gọi là tần số góc và được viết là  $\omega = 2\pi(h^{-1})$ . Tổng quát hơn, đối với chuyển động tròn đều ở tốc độ bất kỳ, có:

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

Xét một hệ tọa độ, như thể hiện trong hình 2A, với tâm vòng tròn là gốc. Tại bất kỳ thời điểm nào, vị trí của chất điểm có thể được xác định bằng cách cho bán kính  $r$  của vòng tròn và góc  $\theta$  giữa véc tơ vị trí và trục  $x$ . Mặc dù  $r$  là hằng số,  $\theta$  tăng đều với thời gian  $t$ , nghĩa là  $\theta = \omega t$ , hoặc  $d\theta/dt = \omega$ , trong đó  $\omega$  là tần số góc. Tuy nhiên, ngược với trường hợp của đồng hồ,  $\omega$  là dương theo quy ước khi xoay theo chiều ngược kim đồng hồ. Véc tơ  $r$  có các thành phần  $x$  và  $y$  được xác định bởi

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta = r \cos \omega t, \\ y &= r \sin \theta = r \sin \omega t. \end{aligned}$$

Trong một thời gian ngắn  $\Delta t$ , chất điểm di chuyển đoạn  $r\Delta\theta$  dọc theo chu



Hình 2: (A) Hệ toạ độ mô tả chuyển động tròn đều. (B) Khoảng cách đi được trong thời gian  $\Delta t$  bởi một chất điểm chuyển động tròn đều. (C) Vận tốc tức thời của chất điểm. (D) Véc tơ vận tốc  $v$  thực hiện chuyển động tròn đều với cùng tần số góc như chất điểm. (E) Véc tơ gia tốc của hạt.

vi của vòng tròn, như thể hiện trong hình 2B. Tốc độ trung bình của chất điểm được cho bởi:

Vận tốc trung bình của chất điểm là một véc tơ được xác định bởi

$$\bar{v} = r \frac{\Delta\theta}{\Delta t}.$$

Thao tác trừ véc tơ này được chỉ ra trong hình 2B. Nó dẫn tới một véc tơ gần vuông góc với  $r(t)$  và  $r(t + \Delta t)$ . Thật vậy, vận tốc tức thời, được tìm bằng cách cho  $\Delta t$  co lại về không, là một véc tơ  $v$  vuông góc với  $r$  tại mỗi thời điểm và độ lớn của nó là:

$$|v| = r \frac{d\theta}{dt} = r\omega.$$

Mối quan hệ giữa  $r$  và  $v$  được biểu diễn trong hình 2C. Nó có nghĩa là vận tốc tức thời của hạt luôn luôn tiếp xúc với vòng tròn.

Chú ý rằng, cũng như véc tơ vị trí  $r$  có thể được mô tả dưới dạng các thành phần  $x$  và  $y$  được cho bên trên, véc tơ vận tốc  $v$  có thể được mô tả

dưới dạng các phép chiếu của nó trên các trục  $x$  và  $y$ , được cho bởi

$$|v| = r \frac{d\theta}{dt} = r\omega.$$

Mặc dù tốc độ của chất điểm là không đổi, chất điểm vẫn được gia tốc vì vận tốc của nó liên tục thay đổi hướng. Gia tốc  $a$  được cho bởi

$$a = \frac{dv}{dt}.$$

Vì  $v$  là một véc tơ có độ dài  $r\omega$  thực hiện chuyển động tròn đều, như minh họa trong hình 2E, dẫn tới:

$$\begin{aligned}\bar{a} &= r\omega \frac{\Delta\theta}{\Delta t}, \\ \bar{a} &= \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t}.\end{aligned}$$

Do đó, người ta có thể kết luận rằng gia tốc tức thời luôn luôn vuông góc với  $v$  và cường độ của nó là

$$|a| = r\omega \frac{d\theta}{dt} = r\omega^2.$$

Vì  $v$  vuông góc với  $r$ , và  $a$  vuông góc với  $v$ , véc tơ  $a$  được quay  $180^\circ$  đối với  $r$ . Nói cách khác, gia tốc song song với  $r$ , nhưng theo hướng ngược lại.

Gia tốc này được gọi là gia tốc hướng tâm, nghĩa là nó hướng vào bên trong, chỉ dọc theo bán kính véc tơ về phía tâm của vòng tròn. Đôi khi sẽ hữu ích khi thể hiện gia tốc hướng tâm theo tốc độ  $v$ . Sử dụng  $v = \omega r$ , ta có thể viết:

$$|a| = \frac{v^2}{r}.$$

**NGUYỄN ĐÔNG ANH**