

## Phần 1: CƠ HỌC

Vật lý học là một khoa học tự nhiên cơ bản nhất, nghiên cứu các quy luật cơ bản của Vũ Trụ. Nó cùng với các khoa học khác như thiên văn học, sinh học, hóa học và địa lý học tạo thành khoa học cơ bản. Vẻ đẹp của vật lý học chính là sự đơn giản của các thuyết vật lý cơ bản và chỉ một số ít các khái niệm, các phương trình, các giả thuyết cũng có thể mô tả và giải thích được các sự vật hiện tượng của thế giới quanh ta.

Vật lý học có thể được chia thành sáu lĩnh vực chính:

1. *Cơ học cổ điển* nghiên cứu về chuyển động của các vật thể có kích thước lớn hơn nhiều so với kích thước nguyên tử và chuyển động với tốc độ rất nhỏ so với tốc độ ánh sáng.
2. *Cơ học tương đối* là thuyết mô tả chuyển động của vật ở bất kỳ tốc độ nào, thậm chí đạt đến tốc độ ánh sáng.
3. *Nhiệt động học* đề cập đến nhiệt, công, nhiệt độ và những tính chất có tính thống kê của các hệ thống gồm một số lớn các hạt.
4. *Điện từ học* nghiên cứu về điện trường, từ trường và điện từ trường.
5. *Quang học* nghiên cứu những tính chất và sự tương tác của ánh sáng với môi trường vật chất.
6. *Cơ học lượng tử* tập hợp các lý thuyết mô tả các tính chất của vật chất từ vi mô đến vĩ mô.

Các môn học về cơ học và điện từ học là cơ sở cho các ngành khác của vật lý cổ điển (được phát triển trước năm 1900) và vật lý hiện đại (phát triển từ năm 1900 đến nay). Phần đầu của cuốn sách này đề cập đến cơ học cổ điển, đôi khi được gọi là *cơ học Newton* hay đơn giản là *cơ học*. Bắt đầu cuốn sách bằng phần cơ học là rất phù hợp vì, nhiều nguyên lý cơ bản sẽ được sử dụng để hiểu toàn bộ hệ thống cơ học, sau đó có thể sử dụng để mô tả các hiện tượng tự nhiên như là sóng và sự truyền nhiệt. Ngoài ra, các định luật bảo toàn năng lượng và bảo toàn động lượng được giới thiệu trong cơ học còn đóng vai trò quan trọng các lý thuyết cơ bản của các lĩnh vực vật lý khác.

Ngày nay, cơ học cổ điển rất quan trọng để sinh viên học các môn học khác. Nó mô tả hoàn hảo chuyển động của các vật thể khác nhau như các hành tinh, tên lửa hay quả bóng chày. Trong phần đầu của cuốn sách, chúng ta sẽ mô tả các định luật của cơ học cổ điển và khảo sát trên phạm vi rộng các hiện tượng để có thể hiểu những định luật cơ sở này.

(Hình trang 1) Phóng tàu con thoi Colombia. Tai nạn thảm khốc ngày 1 tháng 2 năm 2003 đã cướp đi mạng sống của toàn bộ 7 phi hành gia, ngay trước khi tập 1 cuốn sách này được đưa vào xuất bản. Việc phóng tàu con thoi và sự hoạt động của nó tuân theo nhiều nguyên lý của cơ học cổ điển, nhiệt động học và điện từ học. Chúng ta sẽ tìm hiểu các nguyên lý của cơ học cổ điển trong phần 1 của cuốn sách này và áp dụng các nguyên lý này vào chuyển chuyển động bằng tên lửa trong chương 9 (NASA)

# Chương 1: Vật lý học và hệ thống đo lường

## NỘI DUNG CHÍNH

- 1.1. Các chuẩn chiều dài, khối lượng và thời gian
- 1.2 Vật chất và việc xây dựng các mô hình
- 1.3 Khối lượng riêng và khối lượng nguyên tử
- 1.4 Phân tích thứ nguyên
- 1.5 Chuyển đổi các đơn vị
- 1.6 Sự ước lượng và tính toán bậc của độ lớn
- 1.7 Các chữ số có nghĩa

*(Hình trang 2) Cơ cấu làm việc của một đồng hồ cơ học. Các đồng hồ phức tạp đã được chế tạo cách đây hàng thế kỷ vẫn nỗ lực đo thời gian một cách chính xác. Thời gian là một trong những đại lượng cơ bản mà chúng ta dùng để nghiên cứu chuyển động của các vật thể.*

Giống như các khoa học khác, vật lý học dựa trên việc quan sát các thí nghiệm và đo lường các đại lượng. Mục đích chính của vật lý học là tìm ra một số giới hạn các định luật cơ sở chi phối các hiện tượng tự nhiên và sử dụng các định luật này để phát triển các lý thuyết mà từ đó có thể đoán trước kết quả của các thí nghiệm. Các định luật cơ sở dùng trong việc phát triển các lý thuyết được diễn tả bằng ngôn ngữ toán học, một công cụ như một cầu nối giữa lý thuyết và thực nghiệm.

Khi có sự khác biệt giữa một lý thuyết với thực nghiệm, các lý thuyết khác sẽ được thiết lập để xóa bỏ sự khác biệt đó. Nhiều khi, một lý thuyết chỉ đúng trong một số điều kiện nhất định; lý thuyết tổng quát hơn có thể đúng không cần bất kỳ điều kiện nào. Ví dụ, các định luật về chuyển động được phát hiện vào thế kỷ 17 bởi Isaac Newton (1642 – 1727), mô tả chính xác chuyển động của các vật thể ở các tốc độ thông thường, nhưng không áp dụng được cho các vật chuyển động với tốc độ gần với tốc độ ánh sáng. Ngược lại, thuyết tương đối được Albert Einstein (1879 – 1955) đề xướng vào thập niên 1900 không những cho kết quả giống như các định luật Newton ở các tốc độ thấp mà còn mô tả chính xác chuyển động ở các tốc độ đạt đến tốc độ ánh sáng. Vì vậy, thuyết tương đối của Einstein là lý thuyết tổng quát về chuyển động.

*Vật lý cổ điển* bao gồm các lý thuyết, các định luật và các thí nghiệm của cơ học cổ điển, nhiệt động học, quang học và điện từ học, được phát triển trước năm 1900. Các thành tựu quan trọng của vật lý cổ điển được đóng góp bởi Newton, người đã phát triển cơ học cổ điển thành một hệ thống lý thuyết và là một trong những người sáng tạo ra phép tính vi phân và tích phân như là một công cụ toán học. Các phát triển chính trong cơ học cổ điển còn được tiếp tục trong thế kỷ 18, nhưng các lĩnh vực về nhiệt động học, điện học và từ học thì mãi đến hết nửa đầu của thế kỷ 19 vẫn chưa được phát triển; nguyên nhân chính là do đến thời điểm đó, các thiết bị thí nghiệm còn thô sơ không đáp ứng được.

Một sự thay đổi lớn trong vật lý học, thường được gọi là *vật lý hiện đại*, bắt đầu từ cuối thế kỷ 19. Vật lý hiện đại phát triển mạnh mẽ bởi sự khám phá ra những hiện tượng mới mà vật lý cổ điển không thể giải thích được. Hai trong số những phát triển quan trọng của kỷ nguyên hiện đại này là thuyết tương đối và cơ học lượng tử. Lý thuyết tương đối của Einstein không những mô tả được chuyển động của các vật ở tốc độ so sánh được với tốc độ ánh sáng mà còn làm thay đổi hoàn toàn các khái niệm cổ truyền về không gian, thời gian và năng lượng. Thuyết tương đối cũng chỉ ra rằng tốc độ của ánh sáng là tốc độ tối đa có thể có của các vật; khối lượng và năng lượng là có mối liên hệ với nhau. Cơ học lượng tử được thành lập bởi một số nhà khoa học lỗi lạc, cho phép mô tả các hiện tượng vật lý ở góc độ nguyên tử.

Các nhà khoa học làm việc không ngừng để hoàn thiện những hiểu biết của chúng ta về các định luật cơ sở, và những khám phá mới đã được tìm ra hàng ngày. Nhiều lĩnh vực nghiên cứu lớn nội dung bao hàm cả vật lý học, hóa học, sinh học. Bằng chứng cho sự tích hợp này là xuất hiện các chuyên ngành khoa học như sinh lý, sinh hóa, hóa lý, công nghệ sinh học, .... Nhiều sự tiến bộ của kỹ thuật công nghệ trong thời gian gần đây là kết quả của sự cố gắng của các nhà khoa học, các kỹ sư và các kỹ thuật viên. Một vài phát triển đáng kể trong nửa sau của thế kỷ 20 đó là: (1) thám hiểm không người lái các hành tinh và đổ bộ lên Mặt Trăng; (2) vi mạch và máy tính tốc độ cao; (3) kỹ thuật hình ảnh tinh vi dùng trong nghiên cứu khoa học và y trong học; (4) vài kết quả nổi bật trong công nghệ gen. Ảnh hưởng của những phát hiện và những khám phá này đối với xã hội hiện tại chúng ta là rất tuyệt vời và tương tự như thế, những phát hiện và những khám phá trong tương lai là vô cùng thú vị, đầy thách thức và mang lại lợi ích lớn cho nhân loại.

## 1.1 Các chuẩn chiều dài, khối lượng và thời gian

Các định luật vật lý được biểu diễn bằng quan hệ toán học giữa các đại lượng vật lý mà chúng tôi sẽ giới thiệu và bàn luận xuyên suốt cuốn sách. Hầu hết các đại lượng vật lý đều là các *đại lượng dẫn xuất*, nghĩa là chúng có thể được biểu diễn thông qua một số nhỏ các *đại lượng cơ bản*. Trong cơ học có ba đại lượng cơ bản, đó là chiều dài, khối lượng và thời gian. Tất cả các đại lượng khác trong cơ học đều được biểu diễn thông qua ba đại lượng này.

Nếu chúng ta báo cáo kết quả đo lường cho một người nào đó mà người đó yêu cầu mô phỏng lại việc đo lường này thì một *chuẩn* chắc chắn phải được định nghĩa. Sẽ chẳng có nghĩa gì, nếu như có một vị khách từ một hành tinh khác nói với chúng ta chiều dài vào khoảng 8 “glitches”, trong khi ta không biết nghĩa của đơn vị “glitch”. Trái lại, nếu một người quen thuộc với hệ thống đo lường của chúng ta nói rằng chiều cao của bức tường là 2 mét và đơn vị chiều dài được định nghĩa là mét thì chúng ta biết ngay rằng, chiều cao của bức tường gấp hai lần đơn vị chiều dài cơ bản của chúng ta. Cũng tương tự như vậy, nếu ta nói rằng một người có khối lượng 75 kilôgram và đơn vị đo khối lượng được định nghĩa là kilôgram, thì người đó nặng hơn 75 lần so với đơn vị khối lượng cơ bản.<sup>1</sup> Chọn cái gì làm chuẩn thì cái đó phải dễ dàng sử dụng và nó phải có tính chất giống như cái cần đo. Việc đo lường được thực hiện bởi những người khác nhau ở những nơi khác nhau phải thu được kết quả giống nhau.

Năm 1960, hội nghị khoa học quốc tế đã thiết lập các chuẩn cho các đại lượng khoa học cơ bản. Nó được gọi là **SI** (Système International), trong đó đơn vị chiều dài, khối lượng và thời gian lần lượt là *mét*, *kilôgram* và *giây*. Các chuẩn khác của hệ SI cũng được hội đồng khoa học thiết lập đó là các đơn vị đo nhiệt độ (*kelvin*), cường độ dòng điện (*ampere*), cường độ chiếu sáng (*candela*) và lượng chất (*mole*).

### Chiều dài

Vào thập niên 1120, quốc vương Anh đã ban sắc lệnh rằng chuẩn chiều dài trong vương quốc có tên là *yard* và nó đúng bằng khoảng cách từ đỉnh mũi của ông ấy đến hết cánh tay duỗi dài của ông ta. Tương tự như vậy, chuẩn đầu tiên được người Pháp công nhận là *foot*, đó là chiều dài bàn chân của Vua Louis XIV. Chuẩn này được dùng phổ biến đến năm 1799, khi đó, chuẩn chiều dài hợp pháp của Pháp được đổi là *mét*, nó được định nghĩa là một phần mười triệu khoảng cách từ Xích Đạo đến Cực Bắc dọc theo một kinh tuyến đặc biệt đi ngang qua Pari.

Nhiều hệ thống đo chiều dài khác cũng đã được phát triển trong suốt nhiều năm qua, nhưng những tiện lợi của hệ thống Pháp làm cho nó được phổ biến rộng rãi ở hầu hết các quốc gia và trong các giới khoa học ở khắp mọi nơi. Đến năm 1960, chiều dài của mét được định nghĩa là khoảng cách giữa hai vạch trên một thanh platinum – iridium đặc biệt, được cất giữ trong những điều kiện nhất định tại Pháp. Sau đó tiêu chuẩn này đã bị hủy bỏ vì nhiều lý do, một lý do chủ yếu là độ chính xác bị hạn chế, không đáp ứng được yêu cầu hiện nay của khoa học và công nghệ. Trong những năm 1960 và 1970, mét đã được định nghĩa là 1650763,73 bước sóng của ánh sáng màu đỏ - da cam phát ra từ đèn krypton – 86. Vào tháng 10 năm 1983, **mét (m) đã được định nghĩa lại là quãng đường đi được trong chân không của ánh sáng trong khoảng thời gian 1/299792458 giây**. Trong thực tế, định nghĩa mới nhất này xác nhận rằng tốc độ ánh sáng trong chân không có giá trị chính xác là 299792458 mét trên giây.

Bảng 1.1 liệt kê các giá trị gần đúng của một vài chiều dài đo được. Bạn nên tìm hiểu bảng này cũng như hai bảng tiếp theo và bắt đầu tạo ra trực giác cho biết chiều dài 20 centimet nghĩa là gì, hay khối lượng 100 kilôgram, hoặc thời gian  $3,2 \cdot 10^7$  giây nghĩa là gì.

<b>Bảng 1.1: Giá trị gần đúng của các chiều dài đã đo được</b>	
	<b>Chiều dài (m)</b>
Khoảng cách từ Trái Đất đến quasar xa nhất	$1.4 \times 10^{26}$
Khoảng cách từ Trái Đất đến thiên hà trung bình xa nhất	$9 \times 10^{25}$
Khoảng cách từ Trái Đất đến thiên hà lớn gần nhất	$2 \times 10^{22}$
Khoảng cách từ Mặt Trời đến ngôi sao gần nhất	$4 \times 10^{16}$
Một năm ánh sáng	$9.46 \times 10^{15}$
Bán kính quỹ đạo trung bình của Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời	$1.5 \times 10^{11}$
Khoảng cách trung bình từ Trái Đất đến Mặt Trăng	$3.84 \times 10^8$
Khoảng cách từ Xích Đạo đến Cực Bắc	$1.00 \times 10^7$
Bán kính trung bình của Trái Đất	$6.37 \times 10^6$
Độ cao điển hình của vệ tinh chuyển động quanh Trái Đất	$4 \times 10^5$
Chiều dài của một sân bóng	$9.1 \times 10^1$
Chiều dài của một con ruồi	$5 \times 10^{-3}$
Kích thước của các hạt bụi nhỏ nhất	$\sim 10^{-4}$
Kích thước của các tế bào sống	$\sim 10^{-5}$

Đường kính nguyên tử hydro	$\sim 10^{-10}$
Đường kính của hạt nhân nguyên tử	$\sim 10^{-14}$
Đường kính của proton	$\sim 10^{-15}$

## Khối lượng

Trong hệ SI, đơn vị của khối lượng là kilôgram, được định nghĩa là khối lượng của một khối trụ bằng hợp kim platinum – iridium đặc biệt, được cất giữ tại văn phòng cân đo quốc tế tại Sèvres, Pháp. Chuẩn khối lượng này được thiết lập vào năm 1887 và không bị thay đổi kể từ lúc đó, bởi vì hợp kim platinum – iridium rất ổn định. Một bản sao của trụ Sèvres thì được giữ tại Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia (NIST) ở Gaithersburg, Maryland (hình 1.1a).

Bảng 1.2 liệt kê các giá trị gần đúng khối lượng của các vật khác nhau.

<b>Bảng 1.2 : khối lượng của các vật khác nhau</b>	
	Khối lượng (kg)
Vũ trụ	$\sim 10^{52}$
Thiên hà Milky Way (Ngân hà)	$\sim 10^{42}$
Mặt Trời	$1.99 \times 10^{30}$
Trái Đất	$5.98 \times 10^{24}$
Mặt Trăng	$7.36 \times 10^{22}$
Cá mập	$\sim 10^3$
Con người	$\sim 10^2$
Con ếch	$\sim 10^{-1}$
Con muỗi	$\sim 10^{-5}$
Vi khuẩn	$\sim 10^{-15}$
Nguyên tử hydro	$\sim 1.67 \times 10^{-27}$
Electron	$\sim 9.11 \times 10^{-31}$

### PHÒNG NGỪA CẠM BÃY

#### 1.1 Không có dấu phẩy trên những số có nhiều chữ số

Chúng ta sẽ sử dụng cách viết chuẩn khoa học cho các số có nhiều chữ số, trong đó các nhóm có ba chữ số sẽ ngăn cách nhau bằng một khoảng trống, thay vì dùng dấu phẩy để ngăn cách. Chẳng hạn 10 000 thay vì dùng dấu phẩy như cách viết của người Mỹ 10,000. Tương tự như thế, số  $\pi = 3,14159265$  được viết là 3.141 592 65.

#### 1.2 Các giá trị hợp lý

Tạo ra trực giác về giá trị về giá trị tiêu biểu của các đại lượng là rất quan trọng. Bởi vì, khi giải các bài toán, bạn phải biện luận kết quả cuối cùng xem có hợp lý hay không. Nếu như bạn tính khối lượng của một con ruồi mà lại thu được kết quả là 100 kg thì kết quả đó là phi lý – đã bị nhầm lẫn ở đâu đó.

## Thời gian

Trước năm 1960, chuẩn thời gian được định nghĩa là *ngày mặt trời trung bình* của năm 1900. (Một ngày mặt trời là thời gian giữa hai lần liên tiếp Mặt Trời xuất hiện tại điểm cao nhất trên bầu trời). *Giây* được định nghĩa là  $\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{60}\right)\left(\frac{1}{24}\right)$  của ngày mặt trời. Tuy nhiên, ngày nay chúng ta biết rằng sự quay của Trái Đất thay đổi theo thời gian, do đó, sử dụng chuyển động này để định nghĩa chuẩn thời gian là không tốt.

Vào năm 1967, lợi dụng độ chính xác cao của một thiết bị gọi là *đồng hồ nguyên tử* (hình 1.1b), đồng hồ dùng tần số đặc trưng của nguyên tử cesium – 133 như là một “đồng hồ tham chiếu”, giây đã được định nghĩa lại. **Giây (s) là thời gian bằng 9192631770 chu kỳ dao động của bức xạ phát ra từ nguyên tử cesium.**

Lấy đồng hồ nguyên tử này làm chuẩn thì tất cả các đồng hồ treo tường và đồng hồ đeo tay phải được thiết lập theo nó – gọi là sự đồng bộ hóa. Vì thế, lâu lâu khi chúng ta phải chỉnh vào đồng hồ của mình vài giây.

Vì sự phát hiện ra mối liên hệ giữa không gian và thời gian của Einstein, nên đôi khi để đo chính xác thời gian, ta phải biết chính xác cả trạng thái chuyển động lẫn vị trí của đồng hồ. Nếu không như vậy, giả sử như bạn đang cần được giải cứu, thì hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu có thể xác định sai vị trí của bạn.

Các giá trị gần đúng của thời gian được trình bày trong bảng 1.3.

<b>Bảng 1.3: Vài giá trị gần đúng của các khoảng thời gian</b>	
	<b>Khoảng thời gian (s)</b>
Tuổi của Vũ Trụ	$5 \times 10^{17}$
Tuổi của Trái Đất	$1.3 \times 10^{17}$
Tuổi trung bình của sinh viên đại học	$6.3 \times 10^8$
Một năm	$3.2 \times 10^7$
Một ngày (thời gian TĐ quay một vòng quanh trục của nó)	$8.6 \times 10^4$
Một tiết học	$3 \times 10^3$
Thời gian giữa các nhịp tim bình thường	$8 \times 10^{-1}$
Chu kỳ của sóng âm thanh	$\sim 10^{-3}$
Chu kỳ của sóng vô tuyến tiêu biểu	$\sim 10^{-6}$
Chu kỳ dao động của nguyên tử trong chất rắn	$\sim 10^{-13}$



Chu kỳ của sóng ánh sáng nhìn thấy	$\sim 10^{-15}$
Thời gian xảy ra một va chạm hạt nhân	$\sim 10^{-22}$
Thời gian ánh sáng đi ngang qua một proton	$\sim 10^{-24}$

Ngoài hệ SI, một hệ đơn vị khác, *hệ truyền thống* của Mỹ, vẫn được dùng ở Mỹ, mặc dù thế giới đã chấp nhận hệ SI. Trong hệ này, đơn vị đo chiều dài, khối lượng và thời gian lần lượt là foot (ft), slug và giây. Trong cuốn sách này, chúng ta sử dụng hệ SI vì nó được chấp nhận hầu hết trong khoa học và trong công nghiệp. Chúng ta hạn chế sử dụng hệ truyền thống của Mỹ trong việc nghiên cứu cơ học cổ điển.

Ngoài các đơn vị cơ bản là mét, kilôgram và giây, trong hệ SI, chúng ta có thể sử dụng các đơn vị khác là milimet, nano giây, ở đó các tiếp đầu ngữ *milli-* và *nano-* chỉ hệ số nhân của đơn vị cơ bản với lũy thừa mười. Bảng 1.4 liệt kê các tiếp đầu ngữ biểu thị các lũy thừa 10 và chữ viết tắt của nó. Ví dụ  $10^{-3}$  m thì bằng với 1 milli met (mm) và  $10^3$  m thì tương ứng với 1 kilômét (km). Tương tự như vậy, 1 kilôgram (kg) là  $10^3$  gram (g) và 1 megavôn (MV) là  $10^6$  vôn (V).

**Bảng 1.4 Tiếp đầu ngữ cho lũy thừa mười**

Lũy thừa	Tiếp đầu ngữ	Viết tắt	Lũy thừa	Tiếp đầu ngữ	Viết tắt
$10^{-12}$	Pico	P	$10^3$	kilo	K
$10^{-9}$	Nano	N	$10^6$	mega	M
$10^{-6}$	Micro	$\mu$	$10^9$	giga	G
$10^{-3}$	Milli	M	$10^{12}$	tera	T
$10^{-2}$	Centi	C	$10^{15}$	peta	P
$10^{-1}$	Deci	D	$10^{18}$	exa	E

## 1.2 Vật chất và việc xây dựng các mô hình

Nếu các nhà vật lý học không thể tương tác trực tiếp với một vài hiện tượng thì họ thường tưởng tượng ra một **mô hình** liên quan đến các hiện tượng này. Trong bối cảnh đó, mô hình là một hệ thống các thành phần vật lý, chẳng hạn như các electron, proton trong một nguyên tử. Một khi chúng ta đã xác định được các thành phần vật lý, chúng ta đưa ra những tiên đoán về hành vi của hệ thống dựa trên sự tương tác giữa các thành phần đó, hoặc sự tương tác giữa hệ thống với môi trường bên ngoài.

Xét một ví dụ về biểu hiện của vật chất. Một khối vàng đặc hình lập phương có cạnh 3.73 cm như ở bên trái hình 1.2. Khoảng giữa hai mặt đối diện có phải là không gian trống rỗng hay không? Nếu cắt đôi khối lập phương thì hai nửa vẫn có những tính chất hóa học như khối vàng ban đầu. Nhưng nếu các mảnh đó lại được cắt nhỏ nữa, nhỏ nữa, vô số lần như thế thì sẽ như thế nào? Các mảnh nhỏ hơn, nhỏ

hơn nữa có phải luôn là vàng? Câu hỏi này đã được các triết gia Hylạp cổ đưa ra. Hai trong số họ là Leucippus và Democritus đã không chấp nhận ý kiến cho rằng có thể chia nhỏ mãi mãi như vậy. Các ông suy luận rằng, quá trình cuối cùng sẽ phải kết thúc khi nó tạo ra một hạt mà không thể phân chia được nữa. Trong tiếng Hylạp, từ *atomos* nghĩa là “không chia cắt”. Từ này chuyển qua tiếng Anh là từ nguyên tử - *atom*.

Chúng ta xem lại các mô hình về cấu trúc vật chất. Mô hình của người Hylạp cho rằng vật chất được cấu tạo từ các nguyên tử, như hình phía dưới bên phải khối lập phương trong hình 1.2. Ngoài ra không có cấu trúc nào được nói thêm trong mô hình đó – nguyên tử đóng vai trò như các hạt nhỏ bé, tương tác với nhau, còn cấu trúc nội tại của nguyên tử thì không được nói đến trong mô hình này.

Vào năm 1897, J.J. Thomson xác định được electron là hạt mang điện và là một thành phần của nguyên tử. Điều này dẫn đến mô hình nguyên tử đầu tiên có cấu trúc nội tại. Chúng ta sẽ thảo luận mô hình này ở chương 42.

Trên cơ sở khám phá ra hạt nhân vào năm 1911, một mô hình mới đã được phát triển. Theo mô hình này, mỗi nguyên tử gồm các electron chuyển động xung quanh một tâm là hạt nhân. Một hạt nhân được minh họa trong hình 1.2. Tuy nhiên, mô hình này lại dẫn đến một câu hỏi mới – liệu có cấu trúc hạt nhân hay không? Hạt nhân là một hạt đơn lẻ hay là một bộ gồm nhiều hạt? Thành phần cấu tạo chính xác của hạt nhân, thậm chí đến ngày nay, vẫn chưa được biết tường tận. Nhưng đầu những năm 1930, một mô hình phát triển đã giúp chúng ta hiểu hạt nhân có cấu tạo như thế nào. Cụ thể, các nhà khoa học đã xác định rằng, trong hạt nhân có hai loại hạt cơ bản đó là proton và neutron. Proton mang điện dương, và một nguyên tố hóa học cụ thể được xác định bởi số proton trong hạt nhân của nó. Con số này được gọi là **số hiệu nguyên tử** (hay **nguyên tử số**) của nguyên tố hóa học. Ví dụ, hạt nhân của nguyên tử hydro chứa một proton (và do đó, nguyên tử số của hydro là 1), hạt nhân của nguyên tử heli có hai proton (nguyên tử số là 2), và hạt nhân của nguyên tử uran có 92 proton (nguyên tử số là 92). Ngoài nguyên tử số, còn một số đặc trưng thứ hai là **số khối** – đó là tổng số proton và neutron trong một hạt nhân. Nguyên tử số của một nguyên tố thì không thay đổi (vì số proton không đổi), nhưng số khối có thể thay đổi (vì số neutron thay đổi).

Sự tồn tại của neutron đã được xác nhận một cách chắc chắn vào năm 1932. Neutron không mang điện và có khối lượng gần bằng khối lượng proton. Vai trò chính của neutron như là một “chất keo” để giữ cho hạt nhân bền vững. Nếu không có mặt của các neutron trong hạt nhân thì lực đẩy giữa các hạt mang điện tích dương sẽ làm hạt nhân vỡ ra thành từng mảnh.

Vậy quá trình này khi nào sẽ kết thúc? Ngày nay chúng ta biết rằng, proton, neutron và hàng loạt các hạt kỳ lạ khác là tổ hợp của sáu dạng khác nhau của các hạt **quark**, có tên là *lên* (*up*), *xuống* (*down*), *kỳ lạ* (*strange*), *may mắn* (*charmed*), *dưới* (*bottom*) và *trên* (*top*). Các hạt quark lên, quark may mắn và

quark trên có điện tích là  $+\frac{2}{3}$  điện tích của proton, trong khi đó, các hạt quark xuống, quark kỳ lạ và quark dưới có điện tích là  $-\frac{1}{3}$  điện tích của proton. Proton bao gồm hai quark lên và một quark xuống, như trình bày trong hình 1.2. Bạn có thể dễ dàng thấy rằng, cấu trúc này tiên đoán chính xác điện tích của proton. Tương tự như vậy, neutron gồm có hai quark xuống và một quark lên, và do đó nó không mang điện.

Việc xây dựng các mô hình là một công việc bạn nên phát triển khi bạn nghiên cứu về vật lý học. Bạn cũng sẽ phải đương đầu với những thách thức về nhiều vấn đề toán học để giải quyết công việc nghiên cứu này. Một trong những kỹ thuật quan trọng nhất để xây dựng mô hình cho một bài toán đó là xác định một hệ các thành phần vật lý cho bài toán đó và đưa ra những tiên đoán về những biểu hiện của hệ thống dựa trên tương tác giữa các thành phần trong hệ thống đó hoặc tương tác giữa hệ thống với môi trường xung quanh nó.

### 1.3 Khối lượng riêng và khối lượng nguyên tử

Trong mục 1.1, chúng ta đã tìm hiểu ba đại lượng cơ bản của cơ học. Bây giờ, chúng ta sẽ tìm hiểu một ví dụ về đại lượng dẫn xuất – đó là **khối lượng riêng (mật độ khối lượng)**. Khối lượng riêng  $\rho$  (kí tự Hy Lạp, đọc là rho) của một chất bất kỳ là khối lượng trên một đơn vị thể tích của chất đó:

$$\rho \equiv \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

Ví dụ, nhôm có khối lượng riêng là  $2.70 \text{ g/cm}^3$  và chì có khối lượng riêng là  $11.3 \text{ g/cm}^3$ . Do đó, một miếng nhôm có thể tích  $10.0 \text{ cm}^3$  sẽ có khối lượng  $27.0 \text{ g}$ , trong khi đó, miếng chì có cùng thể tích sẽ có khối lượng là  $113 \text{ g}$ . Bảng 1.5 liệt kê các khối lượng riêng của một số chất khác nhau.

Tổng số proton và neutron trong hạt nhân nguyên tử của một nguyên tố có quan hệ với **khối lượng nguyên tử** của nguyên tố đó. Khối lượng nguyên tử được định nghĩa là khối lượng của một nguyên tử đơn lẻ, đo bằng **đơn vị khối lượng nguyên tử** (u), trong đó  $1 \text{ u} = 1.660\,538\,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ . Khối lượng nguyên tử chì là  $207 \text{ u}$  và khối lượng nguyên tử nhôm là  $27.0 \text{ u}$ . Tuy nhiên, tỉ số giữa các khối lượng nguyên tử  $207 \text{ u} / 27.0 \text{ u} = 7.67$  không bằng với tỉ số giữa các khối lượng riêng  $(11.3 \text{ g/cm}^3) / (2.70 \text{ g/cm}^3) = 4.19$ . Sự khác biệt này là do khác nhau về khoảng cách giữa các nguyên tử và sự sắp xếp các nguyên tử trong cấu trúc tinh thể của hai nguyên tố.

**Bảng 1.5: Khối lượng riêng của một số chất khác nhau**

Chất	Khối lượng riêng $\rho$ ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ )	Chất	Khối lượng riêng $\rho$ ( $10^3 \text{ kg/m}^3$ )
Platinum	21.45	Sắt	7.86
Vàng	19.3	Nhôm	2.70
Uranium	18.7	Mangan	1.75
Chì	11.3	Nước	1.00
Đồng	8.92	Không khí	0.0012

**Vấn đáp nhanh 1.1** Một cửa hàng động cơ có hai cam, một bằng nhôm và một bằng sắt. Cả hai cam có cùng khối lượng. Cam nào lớn hơn?

- A. Cam nhôm.      B. Cam sắt.      C. Hai cam có cùng kích thước.

### Ví dụ 1.1 Có bao nhiêu nguyên tử trong khối lập phương?

Một khối lập phương đặc, bằng nhôm (khối lượng riêng  $2.70 \text{ g/cm}^3$ ), có thể tích  $0,200 \text{ cm}^3$ . Biết rằng  $27.0 \text{ g}$  nhôm chứa  $6.02 \times 10^{23}$  nguyên tử. Có bao nhiêu nguyên tử nhôm chứa trong khối lập phương đó?

**Giải** Vì khối lượng riêng bằng khối lượng trên một đơn vị thể tích nên khối lượng của khối lập phương là  $m = \rho V = 2.70 \text{ g/cm}^3 \times 0.200 \text{ cm}^3 = 0.540 \text{ g}$

Để giải bài này, chúng ta dựa trên thực tế là khối lượng của mẫu vật liệu tỉ lệ thuận với số nguyên tử có trong mẫu đó. Kỹ thuật giải bằng cách lập tỉ số thì rất hữu hiệu, chúng ta nên nghiên cứu và hiểu biết về nó để có thể giải quyết các bài toán trong tương lai. Chúng ta biểu diễn sự tỉ lệ đó là  $m = kN$ , trong đó  $m$  là khối lượng của mẫu vật liệu,  $N$  là số nguyên tử có trong mẫu đó và  $k$  là hằng số tỉ lệ chưa biết. Chúng ta viết mối quan hệ này hai lần, một lần cho mẫu nhôm hiện tại của bài toán và một lần cho mẫu  $27.0 \text{ g}$  nhôm, rồi sau đó chia phương trình thứ nhất cho phương trình thứ hai:

$$m_{\text{sample}} = kN_{\text{sample}} ; \quad m_{27.0\text{g}} = kN_{27.0\text{g}}$$

$$\Rightarrow \frac{m_{\text{sample}}}{m_{27.0\text{g}}} = \frac{N_{\text{sample}}}{N_{27.0\text{g}}}$$

Chú ý rằng, hằng số tỉ lệ  $k$  sẽ được đơn giản mất, do đó chúng ta không cần biết giá trị của nó. Bây giờ chúng ta thay các giá trị và suy ra kết quả:

$$\frac{0.540}{27.0} = \frac{N_{\text{sample}}}{6.02 \times 10^{23}} \Rightarrow N_{\text{sample}} = 1.22 \times 10^{22} \text{ nguyên tử.}$$

## 1.4 Phân tích thứ nguyên

Từ *thứ nguyên* có ý nghĩa đặc biệt trong vật lý. Nó chỉ rõ bản chất vật lý của một đại lượng. Chẳng hạn, khoảng cách được đo bằng đơn vị feet, meters hay fathoms (sải) thì nó vẫn là khoảng cách. Ta nói thứ nguyên của nó là *chiều dài*.

Các ký tự dùng trong sách này để chỉ ra thứ nguyên của chiều dài, khối lượng và thời gian lần lượt là L, M và T. Chúng ta sẽ sử dụng ngoặc [ ] để diễn tả thứ nguyên của một đại lượng vật lý. Ví dụ, kí hiệu vận tốc là ký tự  $v$ , và để nói về thứ nguyên của vận tốc, ta viết  $[v] = L/T$ . Một thí dụ khác, thứ nguyên

### PHÒNG NGỪA CẠM BÃY

#### 1.3 Lập tỉ số

Khi chúng ta sử dụng tỉ số để giải bài toán, hãy *nhớ rằng tỉ số rút ra từ các phương trình*. Nếu bạn xuất phát từ những phương trình đã biết thì có thể chia một trong những phương trình đó cho một phương trình khác như trong ví dụ 1.1 để nhận được tỉ số mong muốn, như vậy sẽ tránh được sai sót. Vì thế hãy viết các phương trình trước khi lập tỉ số.

#### 1.4 Các ký tự cho các đại lượng

Một vài đại lượng có thể được biểu diễn bằng một số các ký tự. Ví dụ, ký tự biểu diễn thời gian luôn luôn là  $t$ . Các đại lượng khác có thể có nhiều ký tự khác nhau, tùy theo người sử dụng. Chiều dài có thể được biểu diễn bằng các ký tự như  $x$ ,  $y$ ,  $z$  (đối với vị trí) hoặc  $r$  (đối với bán kính) hoặc  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (đối với các cạnh của tam giác vuông), hoặc  $\ell$  (đối với chiều dài), hoặc  $d$  (đối với khoảng cách, hoặc  $h$  (đối với chiều cao), v.v ...

của diện tích  $[A] = L^2$ . Thứ nguyên và đơn vị của diện tích, thể tích, vận tốc, gia tốc được liệt kê trong bảng 1.6. Thứ nguyên của các đại lượng khác như lực, năng lượng cũng sẽ được mô tả khi đề cập đến các đại lượng đó.

Trong nhiều tình huống, bạn phải tìm ra nguồn gốc hoặc kiểm tra một phương trình cụ thể nào đó. Một thủ tục (cách làm) hữu ích và mạnh mẽ đó là *phân tích thứ nguyên* có thể tìm ra nguồn gốc hoặc kiểm tra biểu thức cuối cùng của bạn. Việc phân tích thứ nguyên được tiến hành trên cơ sở thực tiễn là **các thứ nguyên có thể xem như các đại lượng đại số**. Chẳng hạn, các đại lượng có thể cộng hoặc trừ được với nhau chỉ khi chúng có cùng thứ nguyên. Ngoài ra, các số hạng trong hai vế của một phương trình phải có cùng thứ nguyên. Theo quy tắc đơn giản này, chúng ta có thể sử dụng việc phân tích thứ nguyên để xác định xem một biểu thức có dạng thức đúng hay không. Một biểu thức diễn tả quan hệ phụ thuộc chỉ đúng khi hai vế của phương trình là cùng thứ nguyên.

**Bảng 1.6: Đơn vị của diện tích, thể tích, vận tốc, tốc độ và gia tốc**

Hệ thống	Diện tích ( $L^2$ )	Thể tích ( $L^3$ )	Tốc độ ( $L/T$ )	Gia tốc ( $L/T^2$ )
SI	$m^2$	$m^3$	$m/s$	$m/s^2$
U.S. customary	$ft^2$	$ft^3$	$ft/s$	$ft/s^2$

Để minh họa cho thủ tục này, giả sử rằng bạn thu được phương trình chuyển động của một chiếc xe bắt đầu chuyển động với gia tốc không đổi. Ở chương 2, chúng ta sẽ tìm ra biểu thức đó là  $x = \frac{1}{2}at^2$ .

Chúng ta sẽ phân tích thứ nguyên để kiểm tra tính đúng đắn của đẳng thức này. Đại lượng  $x$  ở vế bên trái có thứ nguyên chiều dài. Để phương trình đúng về mặt thứ nguyên thì đại lượng bên vế phải cũng phải có thứ nguyên chiều dài. Chúng ta có thể tiến hành kiểm tra thứ nguyên bằng cách thay các thứ nguyên của gia tốc, thời gian (xem bảng 1.6) vào phương trình đó. Ta có dạng thứ nguyên của phương trình  $x = \frac{1}{2}at^2$  là:

$$L = \frac{L}{T^2} \cdot T^2 = L$$

Đơn giản thứ nguyên của thời gian, thu được thứ nguyên của chiều dài ở bên vế phải.

Trường hợp tổng quát, dùng thủ tục phân tích thứ nguyên để thiết lập biểu thức ở dạng dạng

$$x \propto a^n t^m$$

trong đó,  $n$  và  $m$  là số mũ cần phải xác định và kí hiệu  $\propto$  là cho biết sự tỉ lệ. Mỗi qua hệ này chỉ đúng nếu như thứ nguyên của cả hai vế là giống nhau. Vì thứ nguyên của vế bên trái là chiều dài nên thứ nguyên của vế bên phải cũng phải là chiều dài. Do đó

$$[a^n t^m] = L = L^1 T^0$$

Vì thứ nguyên của gia tốc là  $L/T^2$  và thứ nguyên của thời gian là  $T$ , nên ta có

$$(L/T^2)^n T^m = L^1 T^0$$

$$L^n T^{m-2n} = L^1 T^0$$

Các số mũ của  $L$  và  $T$  ở hai vế của phương trình phải bằng nhau. Từ số mũ của  $L$ , ta thấy ngay rằng  $n = 1$ . Từ số mũ của  $T$ , ta thấy  $m - 2n = 0$ , thay giá trị của  $n$  ta tìm được  $m = 2$ . Trở lại biểu thức ban đầu của chúng ta  $x \propto a^n t^m$ , chúng ta kết luận rằng  $x \propto at^2$ . Kết quả này sai khác hệ số khai triển  $\frac{1}{2}$  so với biểu thức đúng  $x = \frac{1}{2}at^2$ .

**Vấn đáp nhanh 1.2** Đúng hay sai? Phân tích thứ nguyên có thể tìm được giá trị số của hằng số tỉ lệ xuất hiện trong biểu thức đại số.

### Ví dụ 1.2 Phân tích một phương trình

Hãy chỉ ra rằng, biểu thức  $v = at$  là đúng về mặt thứ nguyên, trong đó  $v$  là tốc độ,  $a$  là gia tốc và  $t$  là giá trị tức thời của thời gian (thời điểm).

#### *Giải*

Với số hạng vận tốc, ta có thứ nguyên trong bảng 1.6

$$[v] = L/T$$

Tương tự, bảng 1.6 cũng cho ta thứ nguyên của gia tốc là  $L/T^2$ . Vì thế thứ nguyên của  $at$  là

$$[at] = \frac{L}{T^2} T = \frac{L}{T}$$

Do đó biểu thức đã cho đúng về thứ nguyên. (Giả sử biểu thức cho là  $v = at^2$  thì sẽ không đúng về thứ nguyên, bạn thử kiểm tra xem!)

### Ví dụ 1.3 Phân tích một phép tính lũy thừa

Giả sử chúng ta được nói cho biết rằng, gia tốc  $a$  của một chất điểm chuyển động đều với tốc độ  $v$  trên đường tròn bán kính  $r$  thì tỉ lệ với lũy thừa của  $r$ , ta viết  $r^n$ , và lũy thừa của  $v$ , ta viết  $v^m$ . Xác định giá trị của  $n$  và  $m$  và viết dạng phương trình đơn giản nhất của gia tốc.

#### *Giải*

Chúng ta hãy viết  $a$  dưới dạng

$$a = kr^n v^m$$

trong đó,  $k$  là hằng số tỉ lệ không thứ nguyên. Biết các thứ nguyên của  $a$ ,  $r$ ,  $v$  ta tìm được phương trình thứ nguyên là

$$\frac{L}{T^2} = L^n \left( \frac{L}{T} \right)^m = \frac{L^{n+m}}{T^m}$$

Phương trình thứ nguyên này được cân bằng với điều kiện

$$n + m = 1 \text{ và } m = 2$$

Do đó  $n = -1$  và chúng ta có thể viết biểu thức gia tốc dưới dạng

$$a = kr^{-1}v^2 = k \frac{v^2}{r}$$

Khi bàn về chuyển động tròn đều ở chương sau, chúng ta sẽ thấy giá trị của hằng số  $k = 1$  nếu các đơn vị đo trong hệ SI. Nếu các đơn vị đo không đúng với hệ SI, chẳng hạn vận tốc là km/h và gia tốc là  $m/s^2$ , thì hằng số  $k$  có thể không bằng 1.

## 1.5 Chuyển đổi đơn vị

Đôi khi, việc chuyển đổi các đơn vị từ hệ thống đo lường này sang hệ thống khác hoặc chuyển đổi các đơn vị trong cùng một hệ thống, chẳng hạn như từ kilômét sang mét, là rất cần thiết. Sự tương đương của đơn vị chiều dài trong hệ đơn vị SI và hệ đơn vị cổ truyền Mỹ đó là:

$$1 \text{ mile} = 1609 \text{ m} = 1.609 \text{ km}$$

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} = 30.48 \text{ cm}$$

$$1 \text{ m} = 39.37 \text{ in.} = 3.281 \text{ ft}$$

$$1 \text{ in.} = 0.0254 \text{ m} = 2.54 \text{ cm}$$

Danh sách đầy đủ các hệ số chuyển đổi được trình bày trong phụ lục A.

Các đơn vị có thể xem như các đại lượng đại số để có thể giản ước chúng. Ví dụ, giả sử chúng ta cần chuyển đổi 15.0 in. sang centimét. Vì 1 in. được định nghĩa chính xác là 2.54 cm nên chúng ta tìm được rằng:

$$15.0 \text{ in.} = (15.0 \text{ in.}) \left( \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in.}} \right) = 38.1 \text{ cm}$$

trong đó, tỉ số trong dấu ngoặc là bằng 1. Chú ý rằng, chúng ta lựa chọn đặt đơn vị in. ở dưới mẫu thức và nó sẽ giản ước đơn vị của đại lượng ban đầu. Điều đó có nghĩa là đơn vị centimét sẽ xuất hiện trong kết quả của chúng ta.

### PHÒNG NGỪA CẠM BÃY

#### 1.5 Luôn luôn kèm theo đơn vị

Khi thực hiện các tính toán, mỗi đại lượng phải kèm theo đơn vị của nó và phải viết đơn vị trong suốt quá trình tính toán. Tránh loại bỏ các đơn vị sớm và sau đó viết đơn vị mong muốn vào đáp số. Bằng cách kèm theo đơn vị trong mỗi bước, bạn có thể loại bỏ được những sai sót về đơn vị của đáp số.

### Vấn đáp nhanh 1.3

Khoảng cách giữa hai thành phố là 100 dặm. Số kilômét giữa hai thành phố đó thì:

- A. nhỏ hơn 100;      B. lớn hơn 100.      C. bằng 100.

### Ví dụ 1.4 Có phải anh ấy là tốc độ?

Trên một đường xa lộ ở vùng nông thôn Wyoming, một xe con đang đi với tốc độ 38.0 m/s. Chiếc xe này có vượt quá tốc độ cho phép 75 dặm/giờ hay không?

**Giải**

Trước tiên, chúng ta đổi đơn vị từ mét sang dặm

$$(38.0 \text{ m/s}) \left( \frac{1 \text{ mi}}{1609 \text{ m}} \right) = 2.36 \times 10^{-2} \text{ mi/s}$$

Sau đó chúng ta đổi đơn vị từ giây sang giờ

$$(2.36 \times 10^{-2} \text{ mi/s}) \left( \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 85.0 \text{ mi/h}$$

Vậy, chiếc xe này vượt quá tốc độ cho phép, nên giảm tốc độ lại.

Nếu người lái xe đến từ một nước khác không phải Mỹ và chỉ quen với tốc độ đo bằng km/h thì tốc độ của xe tính ra km/h là bao nhiêu?

**Trả lời** Chúng ta có thể đổi kết quả cuối cùng sang đơn vị phù hợp:

$$(85.0 \text{ mi/h}) \left( \frac{1.609 \text{ km}}{1 \text{ mi}} \right) = 137 \text{ km/h}$$

## 1.6 Sự ước lượng và tính bậc của độ lớn

Việc ước lượng và tính bậc của độ lớn thường là hữu ích để tính kết quả gần đúng cho một bài toán vật lý, nhất là khi có ít thông tin cho trước. Kết quả ước lượng có thể sau đó được dùng để xác định xem việc tính toán chính xác hơn nữa là cần thiết hay không. Một xấp xỉ thường dựa trên những giả định mà những giả định đó phải được bổ xung, nếu cần thiết một sự chính xác hơn. Đôi khi chúng ta quy bậc độ lớn của một đại lượng đã biết thành một số lũy thừa mười. Thông thường, khi một tính toán bậc độ lớn được thực hiện thì kết quả đáng tin trong khoảng thừa số 10. Nếu một đại lượng tăng giá trị lên ba bậc độ lớn thì điều này có nghĩa là giá trị của nó tăng lên khoảng  $10^3 = 1000$  lần. Chúng ta dùng ký hiệu ~ để chỉ “vào khoảng”. Vậy

$$0.0086 \sim 10^{-2}; \quad 0.0021 \sim 10^{-3}; \quad 720 \sim 10^3$$

Tinh thần của việc tính bậc của độ lớn đôi khi được gọi là “ước đoán” hay “làm tròn” được cho bởi đoạn trích sau đây: “Hãy ước tính trước mỗi tính, hãy thử một luận cứ vật lý đơn giản trước mỗi nguồn gốc, hãy đoán câu trả lời cho mỗi câu đố”. Những tính sai có nguyên nhân là do ước đoán quá thấp một



số nào đó và nó bị bỏ đi bởi nhưng ước đoán quá cao khác. Với sự rèn luyện, bạn sẽ thấy rằng, sự ước đoán của bạn ngày càng chính xác hơn. Những bài toán ước lượng có thể rất thú vị với công việc như thả tự do những chữ số, xấp xỉ hợp lý cho những số ngẫu nhiên, làm đơn giản hóa những giả định và chuyển đổi câu hỏi xung quanh thành cái mà bạn có thể trả lời trong đầu hoặc với thao tác toán học tối thiểu trên giấy. Vì sự đơn giản của các loại tính toán này mà người ta có thể thực hiện nó trên một mảnh giấy nhỏ, do đó, những ước lượng này thường được gọi là “sự tính toán trên mặt sau phong bì”.

### Ví dụ 1.5 Số hơi thở trong một đời người

Hãy ước tính số hơi thở trong suốt thời gian sống trung bình của con người.

#### *Giải*

Chúng ta bắt đầu bằng việc đoán rằng thời gian sống của con người khoảng 70 năm. Chỉ một ước lượng khác nữa chúng ta phải thực hiện trong ví dụ này đó là số hơi thở trung bình của một người trong một phút. Con số này thay đổi tùy theo người đó có đang tập thể dục, đang ngủ, đang giận dữ, đang thanh thản, vv hay không. Để gần với bậc của độ lớn nhất, chúng ta sẽ chọn 10 hơi thở trên một phút là ước lượng trung bình của chúng ta. (Dĩ nhiên, con số này gần với giá trị thực hơn là 1 hơi thở trên một phút hoặc 100 hơi thở trên một phút) Số phút trong một năm xấp xỉ bằng

$$1 \text{ năm} \left( \frac{400 \text{ ngày}}{1 \text{ năm}} \right) \left( \frac{25 \text{ giờ}}{1 \text{ ngày}} \right) \left( \frac{60 \text{ phút}}{1 \text{ g}} \right) = 6 \times 10^5 \text{ phút}$$

Chú ý rằng, trong biểu thức trên, ta lấy  $400 \times 25$  thì sẽ đơn giản hơn nhiều so với việc lấy  $365 \times 24$ . Giá trị xấp xỉ về số ngày trong một năm và số giờ trong một ngày là thỏa mục đích của chúng ta. Vậy 70 năm sẽ có  $(70 \text{ năm})(6 \times 10^5 \text{ phút/năm}) = 4 \times 10^7 \text{ phút}$ . Với tốc độ 10 hơi thở/phút, trong suốt cuộc đời sẽ thực hiện  $4 \times 10^8$  hơi thở hay vào bậc  $10^9$  hơi thở.

**Nếu như đời sống trung bình của con người được ước lượng là 80 năm thay vì 70 năm thì kết quả cuối cùng của chúng ta sẽ thay đổi như thế nào?**

**Trả lời** Chúng ta chú ý rằng  $(80 \text{ năm})(6 \times 10^5 \text{ phút/năm}) = 5 \times 10^7 \text{ phút}$ , do đó, kết quả cuối cùng của chúng ta sẽ là  $5 \times 10^8$  hơi thở. Kết quả này vẫn ở trong bậc  $10^9$  hơi thở. Vậy, ước lượng bậc của độ lớn vẫn không đổi. Ngoài ra, 80 năm lớn hơn 70 năm 14%, nhưng chúng ta đã đánh giá tổng thời gian bằng cách sử dụng 400 ngày một năm thay vì 365 ngày và 25 giờ một ngày thay vì 24 giờ. Hai số này cho kết quả cao hơn 14% cho nên dù tuổi thọ tăng lên cũng không ảnh hưởng tới kết quả ước lượng của ta.

### Ví dụ 1.6 Hành trình dài tới San Jose

Hãy ước lượng số bước chân của người đi bộ từ New York tới Los Angeles.

#### *Giải*

Bạn có thể nhớ từ một lớp học địa lý rằng khoảng cách giữa hai thành phố này vào khoảng 3000 dặm. Xấp xỉ tiếp theo chúng ta phải ước lượng đó là chiều dài của mỗi bước chân. Dĩ nhiên, chiều dài này tùy theo người đi bộ, nhưng chúng ta có thể ước lượng rằng mỗi bước chân khoảng hơn 2 ft. Với kích thước bước chân đã ước lượng, chúng ta sẽ xác định được số bước chân trong một dặm. Vì đây là sự

tính gần đúng nên ta làm tròn 5280 ft/mi thành 5000 ft/mi (Sai số phạm phải là bao nhiêu phần trăm?). Từ đó ta có:

$$\frac{5000 \text{ ft / mi}}{2 \text{ ft / step}} = 2500 \text{ steps / mi}$$

Bây giờ chúng ta chuyển sang các ký hiệu khoa học để có thể tính nhẩm

$$(3 \times 10^3 \text{ mi})(2.5 \times 10^3 \text{ steps/mi}) = 7.5 \times 10^6 \text{ steps} \sim 10^7 \text{ steps}$$

Như vậy, nếu chúng ta có ý định đi bộ ngang qua Mỹ, chúng ta phải thực hiện khoảng  $10^7$  bước chân. Dĩ nhiên, ước lượng này là quá nhỏ bởi vì chúng ta đã không tính đến đường cong, đường lên dốc, xuống dốc của núi đồi. Tuy nhiên, bậc độ lớn của câu trả lời gần như là chính xác.

### **Ví dụ 1.7 Chúng ta đã sử dụng hết bao nhiêu xăng?**

Hãy ước lượng số gallons xăng mà tất cả các xe hơi của Mỹ đã dùng trong mỗi năm.

#### ***Giải***

Có khoảng 280 triệu người Mỹ và có khoảng 100 triệu xe hơi trên đất nước này (cứ khoảng hai đến ba người một xe). Chúng ta cũng ước lượng khoảng cách trung bình mỗi xe đã đi qua trong một năm là 10000 dặm. Nếu chúng ta giả thiết rằng cứ tiêu thụ một gallon xăng thì đi được 20 dặm hay mỗi dặm thì tiêu thụ 0,05 gallon (0.05 gal/mi), thì mỗi xe sử dụng khoảng 500 gallon/năm. Nhân giá trị này với tổng số xe hơi trên toàn nước Mỹ, chúng ta có lượng xăng tiêu thụ trong một năm vào khoảng

$$5 \times 10^{10} \text{ gal} \sim 10^{11} \text{ gal.}$$

## **1.7 Các chữ số có nghĩa**

Khi đo các đại lượng xác định, các giá trị đo được nằm trong các giới hạn của sai số thực nghiệm. Giá trị sai số này phụ thuộc vào nhiều yếu tố, như chất lượng của dụng cụ đo, kỹ năng của người đo, và số lượng các phép đo được thực hiện. Số chữ số có nghĩa trong một phép đo có thể được dùng để diễn tả đôi điều về sai số.

Xét một ví dụ về các chữ số có nghĩa. Giả sử rằng, chúng ta được yêu cầu vào một phòng thí nghiệm để đo diện tích của một nhãn đĩa máy tính, sử dụng thước mét làm dụng cụ đo. Chúng ta giả định rằng độ chính xác của phép đo chiều dài là  $\pm 0.1$  cm. Nếu chiều dài của nhãn đĩa đo được là 5.5 cm thì ta có thể khẳng định chiều dài của nó chỉ có thể nằm giữa 5.4 cm và 5.6 cm. Trong trường hợp này chúng ta nói rằng, giá trị đo được có hai chữ số có nghĩa. Lưu ý rằng, các chữ số có nghĩa bao gồm cả chữ số gần đúng đầu tiên. Tương tự như vậy, nếu chiều rộng của nhãn đĩa đo được là 6.4 cm thì giá trị thực tế nằm giữa 6.3 cm và 6.5 cm. Vậy chúng ta có thể viết các giá trị đo được là  $(5.5 \pm 0.1)$  cm và  $(6.4 \pm 0.1)$  cm.

Bây giờ muốn tìm diện tích của nhãn đĩa thì chúng ta chỉ việc nhân hai giá trị đo được với nhau. Nếu chúng ta khẳng định diện tích này là  $(5.5 \text{ cm})(6.4 \text{ cm}) = 35.2 \text{ cm}^2$  thì câu trả lời của chúng ta sẽ là vô lý

vì nó chứa tới ba chữ số có nghĩa, lớn hơn số chữ số có nghĩa trong phép đo hai đại lượng trước. Một quy tắc dùng để xác định số chữ số có nghĩa trong phép nhân hoặc phép chia như sau:

***Khi nhân nhiều thừa số với nhau thì số chữ số có nghĩa trong kết quả cuối cùng là bằng với số chữ số có nghĩa của thừa số có ít chữ số có nghĩa nhất. Tương tự đối với phép chia.***

Áp dụng quy tắc này cho phép nhân ở ví dụ trước, chúng ta thấy rằng, câu trả lời cho diện tích chỉ có thể có hai chữ số có nghĩa, vì các đại lượng đo được chỉ có hai chữ số có nghĩa. Do đó chúng ta có thể khẳng định rằng, diện tích của nhãn đĩa là  $35 \text{ cm}^2$  và dao động trong khoảng giữa  $(5.4 \text{ cm})(6.3 \text{ cm}) = 34 \text{ cm}^2$  và  $(5.6 \text{ cm})(6.5 \text{ cm}) = 36 \text{ cm}^2$ .

Số không có thể là chữ số có nghĩa, cũng có thể không có nghĩa. Những chữ số không dùng để xác định vị trí của dấu chấm thập phân như trong các số 0.03 và 0.0075 là không có nghĩa. Vì chỉ có một và hai chữ số có nghĩa tương ứng trong hai số trên. Tuy nhiên, khi những chữ số không đứng sau những chữ số khác có khả năng bị hiểu sai. Ví dụ, giả sử khối lượng của một vật được cho là 1500g. Giá trị này là mơ hồ bởi vì, chúng ta không biết hai chữ số không ở cuối được dùng để xác định vị trí của dấu chấm thập phân hay là diễn tả chữ số có nghĩa của phép đo. Để xóa bỏ điều mơ hồ này, chúng ta sử dụng ký hiệu khoa học để chỉ ra số chữ số có nghĩa. Khi đó, chúng ta biểu diễn khối lượng là  $1.5 \times 10^3 \text{ g}$  nếu có hai chữ số có nghĩa trong giá trị đo được, hoặc  $1.50 \times 10^3 \text{ g}$  nếu có ba chữ số có nghĩa, hoặc  $1.500 \times 10^3 \text{ g}$  nếu có bốn chữ số có nghĩa. Một quy tắc tương tự đối với các số nhỏ hơn 1, đó là  $2.3 \times 10^{-4}$  có hai chữ số có nghĩa (và có thể viết là 0.00023) và  $2.30 \times 10^{-4}$  có ba chữ số có nghĩa (và có thể viết là 0.000230). Nói chung, **chữ số có nghĩa trong một phép đo là chữ số đáng tin (trừ số không được dùng để xác định vị trí dấu chấm thập phân) hoặc chữ số gần đúng đầu tiên.**

Đối với phép cộng hoặc phép trừ, bạn phải cân nhắc đến số chữ số thập phân khi xác định có bao nhiêu chữ số có nghĩa để báo cáo:

***Khi các số được cộng hoặc trừ với nhau thì số chữ số thập phân trong kết quả phải bằng số chữ số thập phân nhỏ nhất trong các số hạng của tổng.***

Ví dụ, nếu chúng ta tính  $123 + 5.35$  thì kết quả là 138, không phải 138.35. Nếu chúng ta tính tổng  $1.0001 + 0.0003 = 1.0004$ , kết quả có năm chữ số có nghĩa mặc dù một số hạng của tổng là 0.0003 chỉ có một chữ số có nghĩa. Tương tự như vậy, nếu chúng ta thực hiện phép trừ  $1.002 - 0.998 = 0.004$ , kết quả chỉ có một chữ số có nghĩa mặc dù một số hạng có bốn chữ số có nghĩa và số hạng kia có ba chữ số có nghĩa. Trong cuốn sách này, hầu hết các ví dụ bằng số, các bài tập cuối chương và đáp số của chúng sẽ có ba chữ số có nghĩa. Khi thực hiện các ước lượng, chúng ta sẽ thường làm việc với một chữ số có nghĩa.

Nếu số chữ số có nghĩa trong kết quả của phép cộng hoặc phép trừ phải giảm xuống thì có một quy tắc chung để làm tròn số, đó là, chữ số giữ lại cuối cùng sẽ tăng lên 1 đơn vị nếu chữ số bỏ đi sau cùng lớn hơn 5. Nếu chữ số bỏ đi sau cùng có giá trị nhỏ hơn 5 thì chữ số giữ lại cuối cùng là chính nó. Nếu chữ số sau cùng bỏ đi bằng 5 thì chữ số còn lại nên làm tròn đến số chẵn gần nó nhất. (Làm như vậy sẽ tránh được sự chông chênh sai số trong các quá trình xử lý toán học).

Một kỹ thuật để tránh sự chông chênh sai số đó là làm tròn lấy nhiều chữ số có nghĩa trong các phép tính trung gian cho đến khi có kết quả cuối cùng. Khi đó bạn sẽ làm tròn đến số chữ số có nghĩa cần thiết.

## Vấn đáp nhanh 1.4

Giả sử bạn đo vị trí của một cái ghế bằng thước mét và thu được kết quả rằng tâm của ghế cách bức tường là 1.0438605642 m. Người đọc sẽ kết luận gì về kết quả của phép đo này?

### Ví dụ 1.8 Trải thảm

Một tấm thảm được trải trong một căn phòng có chiều dài 12.71 m và chiều rộng 3.46 m. tìm diện tích của căn phòng.

#### *Giải*

Nếu bạn nhân 12.71 m với 3.64 m trên máy tính của bạn thì sẽ thấy câu trả lời là 43.9766 m<sup>2</sup>. Bạn muốn lấy bao nhiêu số? Luật chi phối đối với phép nhân chỉ cho phép ta giữ lại số chữ số có nghĩa trong kết quả bằng với số chữ số có nghĩa của thừa số có ít chữ số có nghĩa nhất. Trong ví dụ này, thừa số có ít chữ số nhất là 3.46 m, có ba chữ số có nghĩa, vì thế chúng ta nên viết kết quả cuối cùng của chúng ta là 44.0 m<sup>2</sup>.

## TÓM LẠI

Ba đại lượng vật lý cơ bản của cơ học là chiều dài, khối lượng và thời gian mà trong hệ SI chúng có đơn vị lần lượt là mét (m), kilôgram (kg) và giây (s). Các tiếp đầu ngữ chỉ hệ số nhân với các lũy thừa mười được dùng kèm với ba đơn vị cơ bản này.

Khối lượng riêng của một chất được định nghĩa là khối lượng trên một đơn vị thể tích của chất đó. Các chất khác nhau thì khối lượng riêng cũng khác nhau vì chúng khác nhau về khối lượng nguyên tử và sự sắp xếp các nguyên tử.

Phương pháp phân tích thứ nguyên là một phương pháp hữu hiệu để giải quyết các bài toán vật lý. Các thứ nguyên được coi như những đại lượng đại số. bằng việc thực hiện ước lượng và tính bậc độ lớn, bạn có thể tính gần đúng kết quả khi không đủ thông tin để giải chính xác.

Khi tính kết quả từ vài số liệu đo được, mỗi số liệu đó có một độ chính xác nhất định, bạn nên biểu diễn kết quả với số chữ số có nghĩa phù hợp. Khi nhân các đại lượng, số chữ số có nghĩa trong kết quả cuối cùng phải bằng số chữ số có nghĩa của thừa số có ít chữ số có nghĩa nhất. Đối với phép chia, cũng áp dụng quy tắc tương tự như vậy. Khi cộng hoặc trừ các số với nhau, số chữ số thập phân trong kết quả phải bằng số chữ số thập phân ít nhất trong các số hạng của tổng.

## CÁC CÂU HỎI

1. Các loại hiện tượng tự nhiên nào có thể dùng làm chuẩn thời gian?
2. Giả sử rằng ba chuẩn cơ bản của hệ mét là chiều dài, khối lượng riêng và thời gian, thay vì là chiều dài, khối lượng và thời gian. Chuẩn khối lượng riêng của hệ thống này được định nghĩa là khối lượng riêng của nước. Điều kiện gì của nước cần phải thỏa mãn để chuẩn khối lượng riêng được chính xác hơn?

3. Chiều cao của một con ngựa đôi khi được đo bởi “gang tay”. Tại sao chuẩn này là chuẩn chiều dài không tốt?
4. Sử dụng tiếp đầu ngữ trong bảng 1.4 để biểu diễn các đại lượng sau đây:  
a)  $3 \times 10^{-4} \text{ m}$       b)  $5 \times 10^{-5} \text{ s}$       c)  $72 \times 10^2 \text{ g}$ .
5. Cho hai đại lượng A và B có thứ nguyên khác nhau. Xác định xem phép toán nào sau đây là có ý nghĩa vật lý?  
a)  $A + B$       b)  $A/B$       c)  $A - B$       d)  $AB$
6. Nếu một phương trình đúng về thứ nguyên thì phương trình đó có chắc chắn đúng không?
7. Hãy thực hiện các tính toán bậc độ lớn cho các hoạt động hàng ngày của bạn. Ví dụ, bạn đi bộ hoặc lái xe bao xa mỗi ngày?
8. Tìm bậc độ lớn của tuổi bạn theo đơn vị giây.
9. Mức độ chính xác nào thì được áp dụng trong việc tính toán bậc độ lớn?
10. Hãy ước tính khối lượng cuốn sách này theo đơn vị kilôgram. Nếu có một cái cân thì hãy kiểm tra kết quả ước lượng của bạn.
11. Trả lời câu hỏi của một sinh viên, người bảo vệ bảo tàng lịch sử tự nhiên đã nói về những vật hóa thạch gần chỗ ông ta rằng “khi tôi bắt đầu làm việc ở đây, 24 năm về trước, thì chúng nó đã được tám triệu năm tuổi, nên anh có thể cộng thêm vào”. Chàng sinh viên nên kết luận thế nào về tuổi của các hóa thạch đó?

## CÁC BÀI TẬP

### Mục 1.2 Vật chất và việc xây dựng mô hình

**Lưu ý:** Tra cứu ở các trang cuối các phụ lục, bảng biểu khi cần thiết. Trong chương này, thường sử dụng phụ lục B.3. Cuối sách có đáp số của những bài tập đánh số lẻ.

1. Chất rắn kết tinh gồm nhiều nguyên tử xếp chồng tạo thành mạng tinh thể tuần hoàn. Xét một tinh thể như trong hình P1.1a. Các nguyên tử nằm trong góc khối dọc theo cạnh cách nhau một khoảng  $L = 0.200 \text{ nm}$ . Chẽ và tách tinh thể ra bằng một mặt phẳng sẽ thấy được sự sắp xếp đều đặn của các nguyên tử. Giả sử tinh thể được chẽ dọc theo mặt phẳng chéo như trong hình P1.1b. Hãy tính khoảng cách d giữa hai mặt phẳng nguyên tử (hai mặt mạng) kề nhau.

### Mục 1.3 Mật độ khối lượng (khối lượng riêng) và khối lượng nguyên tử

2. Sử dụng những thông tin ở những trang cuối của cuốn sách này để tính mật độ khối lượng trung bình của Trái Đất. Giá trị đó có phù hợp với các giá trị được liệt kê trong bảng 1.5 hay không? Hãy tìm kiếm mật độ khối lượng của một loại đá điển hình như đá granite trong một tài liệu khác và so sánh mật độ khối lượng của Trái Đất với nó.

3. Chuẩn kilôgam là khối lượng của khối hợp kim platinum – iridium hình trụ, có chiều cao 39.0 mm và đường kính 39.0 mm. Khối lượng riêng của vật liệu này là bao nhiêu?
4. Một công ty động cơ lớn đã trưng bày một mô hình đúc ô tô đầu tiên của mình, được làm từ 93.5 kg sắt. Để chào mừng kỷ niệm 100 năm kinh doanh của công ty, các công nhân sẽ đúc lại mô hình đó bằng vàng giống như mô hình ban đầu. Cần bao nhiêu khối lượng vàng để đúc mô hình mới?
5. Tính khối lượng cần thiết của vật liệu có khối lượng riêng  $\rho$  để chế tạo một vỏ cầu rỗng có bán kính trong  $r_1$  và bán kính ngoài  $r_2$ .
6. Hai quả cầu được cắt ra từ một khối đá đồng nhất. Một quả có bán kính 4.50 cm. Quả kia có khối lớn hơn quả thứ nhất 5 lần. Tìm bán kính của nó.
7. Hãy tính khối lượng của nguyên tử a) heli, b) sắt, c) chì. Viết câu trả lời trong đơn vị gram. Cho biết các khối lượng nguyên tử của ba nguyên tố này lần lượt là 4.00 u, 55.9 u và 207 u.
8. Đoạn văn trước ví dụ 1.1 trong cuốn sách cho biết rằng khối lượng nguyên tử của nhôm là  $27.0 \text{ u} = 27.0 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ . Ví dụ 1.1 cũng nói rằng khối lượng của 27.0 g nhôm chứa  $6.02 \times 10^{23}$  nguyên tử. a) Hãy chứng tỏ rằng trong hai phát biểu trên, mỗi phát biểu hàm ý khác nhau. b) Sẽ như thế nào nếu đó không phải là nhôm? Gọi  $M$  là giá trị khối lượng nguyên tử của một nguyên tố hóa học bất kỳ tính bằng đơn vị khối lượng nguyên tử. Hãy chứng minh rằng  $M$  gram chất chứa một số nguyên tử xác định, không thay đổi đối với mọi nguyên tố. Hãy tính con số này một cách cẩn thận từ những giá trị  $u$  được trích dẫn trong sách. Số nguyên tử trong  $M$  gram của một nguyên tố được gọi là *số Avogadro*  $N_A$ . Ý tưởng này có thể được mở rộng: Số Avogadro phân tử là số phân tử của một chất hóa học có trong  $M$  gram, với  $M$  là giá trị khối lượng phân tử của chất đó tính bằng đơn vị khối lượng phân tử. Số Avogadro nguyên tử hay phân tử được gọi là một *mol*, ký hiệu là 1 mol. Bảng hệ thống tuần hoàn các nguyên tố hóa học được cho trong phụ lục C, và công thức hóa học của một hợp chất chứa đựng đủ thông tin để tìm ra khối lượng phân tử của chất đó. c) Tính khối lượng của một mol nước  $\text{H}_2\text{O}$ . d) Tìm khối lượng của phân tử  $\text{CO}_2$ .
9. Trong ngày cưới của bạn, người yêu bạn trao cho bạn một cái nhẫn vàng khối lượng 3.80 g. Năm mươi năm sau, khối lượng của nó còn 3.35 g. Trong suốt thời gian kết hôn của bạn, trung bình mỗi giây có bao nhiêu nguyên tử bị mài mòn? Cho biết khối lượng nguyên tử vàng là 197 u.
10. Một khối lập phương nhỏ bằng sắt được quan sát bằng kính hiển vi. Cạnh của khối lập phương là  $5.00 \times 10^{-6} \text{ cm}$ . Tìm a) khối lượng của khối lập phương; b) số nguyên tử sắt có trong khối lập phương. Cho biết khối lượng nguyên tử sắt là 55.9 u và khối lượng riêng của sắt là  $7.86 \text{ g/cm}^3$ .
11. Một cái xà có cấu trúc hình chữ I, được làm bằng thép. Mặt cắt ngang và kích cỡ của nó được ghi trong hình P1.11. Khối lượng riêng của thép là  $7.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . a) Khối lượng của thanh xà dài 1.50 m là bao nhiêu? b) Giả sử rằng phần lớn các nguyên tử là sắt, với khối lượng nguyên tử sắt là 55.9 u. Có bao nhiêu nguyên tử trong thanh xà này?
12. Một đứa bé ở bãi biển đào một cái hố trong cát và dùng một cái xô đổ 12 kg nước vào hố. Khối lượng của một phân tử nước là 18.0 u. a) Tìm số phân tử nước trong xô nước này. Giả sử lượng nước trên Trái Đất là  $1.32 \times 10^{21} \text{ kg}$  là không đổi. Có bao nhiêu phân tử nước trong có lượng nước mà xưa

kia đã đổ vào đầu chân trái của con khủng long để lại ở một bãi biển tương tự? (Tính số phân tử nước có trên Trái Đất)

### Mục 1.4 Phân tích thứ nguyên

**13.** Vị trí của một chất điểm chuyển động với gia tốc không đổi là hàm của thời gian và gia tốc. Giả sử chúng ta viết quan hệ này là  $s = ka^m t^n$ , trong đó  $k$  là hằng số không thứ nguyên. Bằng cách phân tích thứ nguyên, hãy chỉ ra rằng, biểu thức chỉ thỏa mãn nếu  $m = 1$  và  $n = 2$ . Việc phân tích thứ nguyên này có thể tìm được giá trị của  $k$  không?

**14.** Hình P1.14 cho thấy một hình chóp cụt. Theo những biểu thức đo đạc (hình học) dưới đây, biểu thức nào mô tả a) tổng chu vi của các mặt đáy? b) thể tích hình nón? c) diện tích xung quanh hình nón?

$$\text{i) } \pi(r_1 + r_2)[h^2 + (r_1 - r_2)^2]^{1/2} \quad \text{ii) } 2\pi(r_1 + r_2) \quad \text{iii) } \pi h(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$$

**15.** Phương trình nào dưới đây là đúng về thứ nguyên?

$$\text{a) } v_f = v_i + ax \quad \text{b) } y = (2 \text{ m})\cos(kx), \text{ trong đó } k = 2 \text{ m}^{-1}.$$

**16.** a) Một định luật về trạng thái chuyển động của vật là gia tốc của vật tỉ lệ thuận với hợp lực tác dụng vào vật và tỉ lệ nghịch với khối lượng của vật. Nếu hằng số tỉ lệ được xác định là không có thứ nguyên, hãy xác định thứ nguyên của lực. b) Newton là đơn vị của lực trong hệ SI. Theo kết quả câu a), đơn vị newton của lực được biểu diễn như thế nào theo các đơn vị cơ bản?

**17.** Định luật hấp dẫn của Newton được diễn tả bởi phương trình  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ . Trong đó  $F$  là độ lớn của lực hấp dẫn của một vật nhỏ này lên một vật nhỏ khác,  $M$  và  $m$  là khối lượng của các vật,  $r$  là khoảng cách giữa chúng. Lực có đơn vị trong hệ SI là  $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ . Đơn vị của hằng số tỉ lệ  $G$  trong hệ SI là gì?

### 1.5 Sự chuyển đổi đơn vị.

**18.** Một công nhân phải sơn các bức tường cao 8.00 ft của một căn phòng hình vuông mỗi cạnh dài 12.0 ft. Diện tích bề mặt tính ra đơn vị mét vuông mà người ấy cần phải quét sơn là bao nhiêu?

**19.** Giả sử tóc bạn dài ra với tốc độ 1/32 in mỗi ngày. Tìm tốc độ đó theo đơn vị nanomet trên giây. Vì khoảng cách giữa các nguyên tử trong một phân tử vào khoảng 0.1 nm, nên câu trả lời của bạn sẽ nhanh chóng cho biết số lớp nguyên tử nối tiếp nhau trong chuỗi protein này.

**20.** Thể tích của một cái ví da là 8.50 in<sup>3</sup>. Đổi giá trị này ra mét khối, sử dụng định nghĩa 1 in = 2.54 cm.

**21.** Một mảnh đất xây dựng hình chữ nhật kích thước 100 ft và 150 ft. Xác định diện tích của mảnh đất này theo đơn vị m<sup>2</sup>.

**22.** Một phòng nghe nhạc có kích thước đo được là 40.0 m × 20.0 m × 12.0 m. Mật độ không khí là 1.2 kg/m<sup>3</sup>. a) Thể tích của căn phòng theo đơn vị feed khối là bao nhiêu? b) khối lượng không khí trong phòng là bao nhiêu pound?



- 23.** Giả sử rằng phải mất 7 phút để bơm đầy dầu vào thùng 30.0 gallon. a) Tính tốc độ mà thùng nhận được ra đơn vị gallon trên giây. b) Tính tốc độ mà thùng nhận được ra đơn vị mét khối trên giây. c) Xác định khoảng thời gian cần thiết theo đơn vị giờ để có thể bơm được  $1 \text{ m}^3$  với cùng tốc độ bơm đó. ( $1 \text{ gal} = 231 \text{ in}^3$ ).
- 24.** Tìm chiều dài hoặc chiều cao của các kỳ quan thiên nhiên sau đây ra đơn vị kilômet, mét, centimet: a) Hệ thống hang động dài nhất thế giới là hệ thống hang Mammoth ở trung tâm Thổ Nhĩ Kỳ. Nó có chiều dài tính theo bản đồ là 348 dặm. b) Ở Mỹ, thác nước cao nhất là thác Ribbol, cao 1612 ft. c) Ngọn núi Mckinley ở Công viên Quốc gia Denaly, Alaska là ngọn núi cao nhất nước Mỹ. cao 20230 ft. d) Hẻm núi sâu nhất của Mỹ là hẻm núi Nữ Hoàng ở California, với độ sâu 8200 ft.
- 25.** Một mẫu chì có khối lượng 23.94 g và thể tích là  $2.10 \text{ cm}^3$ . Tính khối lượng riêng của chì ra đơn vị  $\text{kg/m}^3$ .
- 26.** Một công đất (*section*) là diện tích đất bằng một dặm vuông và bằng 640 mẫu. Xác định số mét vuông trong một mẫu.
- 27.** Một băng truyền tải quặng từ hầm mỏ lên mặt đất với công suất 1200 tấn/giờ. Hãy đổi tốc độ này ra pound/giây ( $\text{lb/s}$ ), biết 1 tấn = 2000 lb.
- 28.** a) Hãy tìm hệ số chuyển đổi từ dặm trên giờ sang kilômet trên giờ. b) Trước đây luật liên bang quy định rằng, tốc độ giới hạn trên đường quốc lộ là 55 mi/h. Sử dụng hệ số chuyển đổi của câu a) để tìm tốc độ này ra đơn vị kilômet trên giờ. Tốc độ lớn nhất trên đường quốc lộ tại một số nơi bây giờ là 65 mi/h. So với giới hạn 55 mi/h thì tốc độ này đã tăng thêm bao nhiêu kilômet trên giờ?
- 29.** Khi cuốn sách này đang được in, số nợ của nước Mỹ khoảng 6 nghìn tỉ đôla. a) Nếu việc trả nợ được tiến hành với tốc độ 1000 đôla trên giây thì sau bao nhiêu năm sẽ trả hết nợ, giả sử không phát sinh thêm lãi? b) Tờ một đôla dài khoảng 15.5 cm. Nếu sáu nghìn tỉ tờ đôla được rải kín đường xích đạo của Trái Đất thì sẽ rải được mấy vòng? Lấy bán kính Trái Đất là 6378 km. (Lưu ý, trước khi thực hiện bất kỳ phép tính nào của bài này, hãy dự đoán trước kết quả, bạn sẽ rất ngạc nhiên).
- 30.** Khối lượng của Mặt Trời là  $1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$  và khối lượng của nguyên tử hydro là  $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ , Mặt trời hầu như chỉ chứa hydro. Có bao nhiêu nguyên tử hydro trên Mặt Trời?
- 31.** Một gallon sơn (thể tích  $3.78 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ), thì sơn kín diện tích  $25.0 \text{ m}^2$ . Bề dày của lớp sơn trên bức tường là bao nhiêu?
- 32.** Một kim tự tháp có chiều cao 481 ft và đáy của nó chiếm diện tích 13.0 mẫu (hình P1.32). Biết thể tích của kim tự tháp được tính bằng công thức  $V = \frac{1}{3}Bh$ , trong đó B là diện tích đáy, h là chiều cao, hãy tìm thể tích của kim tự tháp này ra đơn vị mét khối. ( $1 \text{ mẫu} = 43560 \text{ ft}^2$ ).
- 33.** Kim tự tháp trong bài 32 chứa khoảng 2 triệu khối đá mà trung bình mỗi khối nặng 2.50 tấn. Hãy tính trọng lượng của kim tự tháp này ra đơn vị pound.
- 34.** Giả sử rằng 70% bề mặt Trái Đất được bao phủ bởi nước với độ sâu trung bình là 2.3 mi. Hãy ước tính khối lượng của nước trên Trái Đất ra kilôgram.



**35.** Một nguyên tử hydro có đường kính xấp xỉ bằng  $1.06 \times 10^{-10}$  m, đó là đường kính của đám mây electron hình cầu bao quanh hạt nhân. Đường kính của hạt nhân khoảng  $2.40 \times 10^{-15}$  m. a) Với một mô hình tỉ lệ, biểu diễn đường kính của nguyên tử hydro bằng chiều dài của một sân bóng đá của Mỹ ( $100 \text{ yd} = 300 \text{ ft}$ ), hãy xác định đường kính của hạt nhân ra đơn vị millimét. b) Thể tích của nguyên tử lớn gấp mấy lần thể tích của hạt nhân?

**36.** Những ngôi sao gần Mặt Trời nhất là hệ thống sao Alpha Centauri, cách Mặt Trời khoảng  $4 \times 10^{13}$  km. Nếu Mặt Trời, đường kính  $1.4 \times 10^9$ , và cả Alpha Centauri đều được biểu diễn bằng các vết màu đỏ anh đào đường kính 7.0 mm thì khoảng cách giữa chúng sẽ được biểu diễn bằng vết dài bao nhiêu với cùng tỉ lệ xích?

**37.** Đường kính của thiên hà hình đĩa của chúng ta, dải Ngân Hà (Milky Way), vào khoảng  $1.0 \times 10^5$  năm ánh sáng (ly). Khoảng cách đến Thiên hà 31 Andromeda, thiên hà xoắn ốc gần dải Ngân Hà nhất, là 2.0 triệu năm ánh sáng. Nếu mô hình tỉ lệ biểu diễn các thiên hà Milky Way và Andromeda là hai cái đĩa đường kính 25 cm thì khoảng cách giữa 2 đĩa là bao nhiêu?

**38.** Bán kính trung bình của Trái Đất là  $6.37 \times 10^6$  m, và của Mặt Trăng là  $1.74 \times 10^8$  cm. Từ các số liệu này hãy tính a) tỉ số giữa diện tích bề mặt của Trái Đất so với Mặt Trăng. b) Tỉ số giữa thể tích của Trái Đất so với Mặt Trăng. Cho biết diện tích bề mặt của quả cầu là  $4\pi r^2$  và thể tích của quả cầu là  $\frac{4}{3}\pi r^3$ .

**39.** Một mét khối ( $1.00 \text{ m}^3$ ) nhôm có khối lượng  $2.70 \times 10^3$  kg, và  $1.00 \text{ m}^3$  sắt có khối lượng  $7.86 \times 10^3$  kg. Tìm bán kính của quả cầu nhôm mà nó cùng khối lượng với quả cầu sắt có bán kính 2.00 cm.

**40.** Gọi  $\rho_{\text{Al}}$  là khối lượng riêng của nhôm và  $\rho_{\text{Fe}}$  là khối lượng riêng của sắt. Hãy tìm bán kính của quả cầu nhôm có cùng khối lượng với quả cầu sắt có bán kính  $r_{\text{Fe}}$ .

### Mục 1.6 Ước lượng và tính bậc độ lớn.

**41.** Hãy ước tính số quả bóng bàn lấp đầy một căn phòng nào đó (không làm bẹp quả bóng). Trong lời giải của bạn, các giá trị của đại lượng bạn đo hoặc ước lượng coi như đã biết.

**42.** Một lớp ô tô được thiết kế đi nhiều nhất trong 50000 dặm. Bậc độ lớn của số vòng quay là bao nhiêu thì nó sẽ bị hủy bỏ? Trong lời giải của bạn, các giá trị của đại lượng bạn đo hoặc ước lượng coi như đã biết.

**43.** Cỏ mọc dày đặc trên  $\frac{1}{4}$  mẫu đất. Bậc độ lớn của số lá cỏ trên miếng đất này là bao nhiêu? Diễn giải lý lẽ của bạn. Lưu ý rằng  $1 \text{ mẫu} = 43560 \text{ ft}^2$ .

**44.** Một cách gần đúng, có bao nhiêu giọt mưa rơi xuống mảnh đất một mẫu trong trận mưa có lượng mưa là một Inch. Diễn giải lý lẽ của bạn.

**45.** Tính bậc độ lớn khối lượng của một bồn tắm đầy một nửa nước. Tính bậc độ lớn khối lượng của bồn tắm chứa đầy một nửa các đồng xu. Trong lời giải của bạn, hãy liệt kê các đại lượng bạn cần lấy số liệu và giá trị bạn đo hay ước lượng.

**46.** Nước giải khát thường được bán trong các lon nhôm. Bậc độ lớn của số lượng lon là bao nhiêu mà người tiêu dùng Mỹ đã vứt bỏ hoặc tái chế mỗi năm? Có bao nhiêu tấn nhôm để sản xuất ra số lon này? Trong lời giải của bạn, các giá trị của đại lượng bạn đo hoặc ước lượng coi như đã biết.

**47.** Bậc độ lớn của số dụng cụ chỉnh đàn piano trong thành phố New York là bao nhiêu? Nhà vật lý học Enrico Fermi đã từng có những câu hỏi nổi tiếng như vậy trong vòng loại thi vấn đáp tiến sĩ. Cơ sở riêng của ông ấy về thực hiện các ước tính bậc độ lớn được minh họa trong bài tập 45.48.

### Mục 1.7 Các chữ số có nghĩa

**Lưu ý:** Phụ lục B8 nói về sai số có thể hữu ích trong việc giải các bài tập phần này.

**48.** Một tấm phẳng hình chữ nhật có chiều dài  $(21.3 \pm 0.2)$  cm và chiều rộng  $(9.8 \pm 0.1)$  cm. Tính diện tích của tấm phẳng này, kèm theo sai số của nó.

**49.** Bán kính của một vòng tròn đo được là  $(10.5 \pm 0.2)$  m. Tính diện tích và chu vi của vòng tròn và kèm theo sai số của mỗi giá trị.

**50.** Có bao nhiêu chữ số có nghĩa trong các số dưới đây? a)  $78.9 \pm 0.2$       b)  $3.788 \times 10^9$       c)  $2.46 \times 10^{-6}$       d) 0.0053.

**51.** Bán kính của một quả cầu rắn đo được là  $(6.50 \pm 0.20)$  cm và khối lượng của nó đo được là  $(1.85 \pm 0.02)$  kg. Xác định khối lượng riêng của quả cầu theo đơn vị kilôgram trên mét khối và kèm theo sai số của nó.

**52.** Thực hiện các phép tính số học sau đây: a) tổng các giá trị đo được 756, 37.2, 0.83 và 2.5; b) tích  $0.0032 \times 356.3$ ; c) tích  $5.620 \times \pi$ .

**53.** Năm dương lịch, khoảng thời gian từ điểm xuân phân này đến xuân phân tiếp theo, là cơ sở cho lịch của chúng ta. Nó chứa 365.242 199 ngày. Tính số giây trong một năm dương lịch.

**54.** Một bác nông dân đo chu vi một thửa ruộng hình chữ nhật. Cạnh dài của nó có số đo là 38.44 m; cạnh kia là 19.5 m. Tìm chu vi của thửa ruộng.

**55.** Một vỉa hè được xây dựng quanh hồ bơi có kích thước đo là  $(10.0 \pm 0.1)$  m và  $(17.0 \pm 0.1)$  m. Nếu vỉa hè có độ rộng là  $1.00 \pm 0.001$  m và bề dày là  $(9.0 \pm 0.1)$  cm thì thể tích của bê tông cần thiết là bao nhiêu? Sai số của thể tích này xấp xỉ bao nhiêu?

### Các bài khác

**56.** Trong trường hợp số liệu có ba chữ số có nghĩa, chúng ta viết  $6.379 \text{ m} = 6.38 \text{ m}$  và  $6.374 \text{ m} = 6.37 \text{ m}$ . Khi chữ số tận cùng là 5 thì chúng ta tùy ý chọn cách viết  $6.375 \text{ m} = 6.38 \text{ m}$ ; hoặc chúng ta cũng có thể viết  $6.375 = 6.37$ , “làm tròn xuống” thay vì “làm tròn lên”, bởi vì sự thay đổi giá trị của số 6.375 trong hai trường hợp là như nhau. Khi ước lượng bậc của độ lớn, chúng ta xét đến thừa số nhân hơn là sự gia tăng. Chúng ta sẽ viết  $500 \text{ m} \sim 10^3 \text{ m}$  bởi vì 500 khác với 100 thừa số 5, trong khi nó khác với 1000 chỉ là thừa số 2. Chúng ta viết  $437 \text{ m} \sim 10^3 \text{ m}$  và  $305 \text{ m} \sim 10^2 \text{ m}$ . Độ sai lệch so với 100 và so với 1000 có thừa số nào mà chúng ta có thể chọn diễn đạt bậc độ lớn là  $\sim 10^2$  hay  $\sim 10^3$  cũng được?

**57.** Đối với nhiều các ứng dụng điện tử, như chip máy tính chẳng hạn, người ta mong muốn các thành phần càng nhỏ càng tốt để có thể giữ nhiệt độ của các thành phần thấp làm gia tăng tốc độ của thiết bị.

Một lớp phủ kim loại (màng kim loại) có thể được dùng thay cho dây nối. Vàng thì đặc biệt hữu ích vì nó không dễ bị oxy hóa. Khối lượng nguyên tử của vàng là 197 u. Một lớp màng vàng không thể mỏng hơn kích thước nguyên tử vàng. Hãy tính bề dày nhỏ nhất của lớp phủ, giả sử rằng một nguyên tử vàng chiếm một thể tích lập phương trong lớp màng cũng giống như thể tích mà nó chiếm trong tấm kim loại lớn. Mô hình hình học này mang lại kết quả đúng về bậc độ lớn.

**58.** Chức năng cơ bản của bộ chế hòa khí xe ô tô là phun xăng trộn với không khí để thúc đẩy quá trình đốt cháy nhanh chóng. Giả sử rằng  $30 \text{ cm}^3$  xăng được phun thành  $N$  giọt hình cầu, mỗi giọt có bán kính  $2.00 \times 10^{-5} \text{ m}$ . Tổng diện tích bề mặt của  $N$  giọt hình cầu này là bao nhiêu?

**59.** Sự tiêu thụ khí đốt tự nhiên của một công ty thỏa mãn phương trình thực nghiệm:  $V = 1.50t + 0.00800t^2$ , trong đó  $V$  là thể tích tính bằng triệu feet khối và  $t$  là thời gian tính bằng tháng. Hãy thể hiện phương trình này theo đơn vị feet khối và giây. Nói rõ đơn vị của các hệ số. Cho biết một tháng có 30.0 ngày.

**60.** Trong vật lý học, việc dùng xấp xỉ toán học là rất quan trọng. Chứng minh rằng, với những góc nhỏ ( $< 20^\circ$ ) thì  $\tan \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha = \pi \alpha' / 180^\circ$ , trong đó  $\alpha$  tính bằng radian và  $\alpha'$  tính bằng độ. Dùng máy tính để tìm góc  $\alpha$  lớn nhất có thể xấp xỉ  $\tan \alpha \approx \sin \alpha$ , với sai số nhỏ hơn 10%.

**61.** Một vòi phun nước cao được đặt tại tâm của một hồ nước hình tròn như hình P1.61. Một sinh viên đi bộ vòng quanh hồ và đo được chu vi của nó là 15.0 m, mà không bị nước làm ướt chân. Sau đó, người sinh viên đứng tại mép hồ dùng thước đo độ, đo góc tạo bởi mặt nước với phương qua đỉnh vòi phun nước. Độ cao của vòi phun là bao nhiêu?

**62.** Các đồng xu sưu tập đôi khi được mạ vàng để tăng vẻ đẹp và giá trị của nó. Một đồng  $\frac{1}{4}$  dollar kỉ niệm được rao bán với giá 4.98\$. Nó có đường kính 24.1 mm, bề dày 1.78 mm và được phủ hoàn toàn bởi một lớp vàng tinh khiết dày  $0.18 \mu\text{m}$ . Thể tích của vàng bằng bề dày lớp phủ nhân với diện tích bề mặt mà nó phủ. Coi các mô hình trên bề mặt đồng xu và các rãnh ở cạnh nó không ảnh hưởng đến diện tích bề mặt đồng xu. Giả sử giá vàng là 10.0\$ một gam. Tìm giá trị của vàng đã thêm vào đồng xu. Giá trị của vàng có làm tăng đáng kể giá trị của đồng xu hay không?

**63.** Có khoảng gần  $\pi \times 10^7$  giây trong một năm. Tìm sai số phần trăm (sai số tương đối) trong xấp xỉ này, trong đó “sai số phần trăm” được định nghĩa

$$\text{Percentage error} = \frac{[\text{assumed value} - \text{true value}]}{\text{true value}} \times 100\%$$

**64.** Một vật có diện tích đáy  $A$  và chiều cao  $h$  không đổi. Nếu tiết diện ngang của nó cũng không đổi tại mọi điểm giống như chiều cao thì thể tích của vật sẽ được tính bởi công thức  $V = Ah$ . a) Chứng tỏ rằng  $V = Ah$  là đúng về thứ nguyên. b) Chứng tỏ rằng thể tích của trụ và của hộp chữ nhật có thể viết ở dạng  $V = Ah$ , xác định  $A$  trong từng trường hợp. (Lưu ý rằng trong trường hợp tổng quát, diện tích  $A$  đôi khi được gọi là “dấu chân” của vật thể có hình dạng bất kỳ, và chiều cao có thể thay thế bằng độ dày trung bình).

**65.** Một đứa bé thích xem bạn đổ dầu gội vào một chai nhựa. Mỗi mặt cắt ngang là một hình tròn có bán kính khác nhau, vì thế cái chai có chỗ rộng, chỗ hẹp. Bạn giót dầu gội màu xanh vào trong chai với

tốc độ không đổi  $16.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Tính tốc độ dâng lên của mực dầu trong chai a) tại điểm có bán kính tiết diện là  $6.30 \text{ cm}$ ; b) tại điểm có bán kính tiết diện  $1.35 \text{ cm}$ .

**66.** Một centimet khối nước có khối lượng  $1.00 \times 10^{-3} \text{ kg}$ . a) Xác định khối lượng của  $1.00 \text{ m}^3$  nước. b) Các chất sinh học có 98% là nước. Giả sử rằng chúng có cùng khối lượng riêng với nước, hãy ước tính khối lượng một tế bào có đường kính  $1 \mu\text{m}$ , của quả thận người và của một con ruồi. Mô hình quả thận như là quả cầu bán kính  $4.0 \text{ cm}$  và con ruồi như một trụ dài  $4.0 \text{ mm}$  và đường kính  $2 \text{ mm}$ .

**67.** Giả sử có 100 triệu xe du lịch tại Mỹ và mức tiêu thụ nhiên liệu trung bình là 20 dặm/ 1 gallon xăng. Nếu quãng đường trung bình mỗi xe đi là 10000 dặm/năm thì có bao nhiêu xăng sẽ được tiết kiệm trong một năm khi tốc độ tiêu thụ nhiên liệu trung bình tăng đến 25 dặm/gallon?

**68.** Một sinh vật di chuyển ở tốc độ  $5.00 \text{ furlong/fortnight}$  (đây không phải là đơn vị phổ biến của tốc độ). Cho rằng  $1 \text{ furlong} = 220 \text{ yard}$  và  $1 \text{ fortnight} = 14 \text{ ngày}$ . Xác định tốc độ của sinh vật này ra đơn vị m/s. Bạn nghĩ đó là sinh vật nào?

**69.** Khoảng cách từ Mặt Trời đến ngôi sao gần nhất vào khoảng  $4 \times 10^{16} \text{ m}$ . Dải Ngân hà giống như một cái đĩa đường kính  $\sim 10^{21} \text{ m}$  và dày  $\sim 10^{19} \text{ m}$ . Tìm bậc độ lớn của số lượng ngôi sao trong dải Ngân hà. Giả sử khoảng cách giữa Mặt Trời và ngôi sao gần nó nhất là khoảng cách tiêu biểu.

**70.** Các số liệu trong bảng dưới đây là kết quả đo khối lượng và kích thước của một khối trụ đặc bằng nhôm, đồng, đồng thau, thiếc, và sắt. Sử dụng số liệu này để tính khối lượng riêng của các chất đó. So sánh kết quả tính của bạn với số liệu trong bảng 1.5.

**71.** a) Có bao nhiêu giây trong một năm? b) Nếu cứ mỗi giây, mỗi mét vuông bề mặt Mặt Trăng có một vi thiên thạch (quả cầu đường kính  $1.00 \times 10^{-6} \text{ m}$ ) rụng vào thì sau bao nhiêu năm sẽ phủ kín hết Mặt Trăng với độ dày  $1.00 \text{ m}$ ? Để giải bài này, bạn có thể coi mỗi mét vuông bề mặt Mặt Trăng là một cái hộp hình lập phương cạnh  $1.00 \text{ m}$  và tìm xem bao lâu đá sẽ đầy cái hộp đó.

### Đáp án của các câu vấn đáp nhanh

1.1 a). Bởi vì khối lượng riêng của nhôm nhỏ hơn khối lượng riêng của sắt nên cùng một khối lượng cho trước thể tích của nhôm sẽ lớn hơn.

1.2 False. Việc phân tích thứ nguyên cho biết đơn vị của hằng số tỉ lệ nhưng không cho biết giá trị số của nó. Để xác định giá trị số của nó phải dựa vào các số liệu thực nghiệm hoặc luận điểm hình học. Ví dụ, trong dạng tổng quát của phương trình  $x = \frac{1}{2}at^2$ , vì thừa số  $\frac{1}{2}$  không có thứ nguyên nên dùng phép phân tích thứ nguyên sẽ không xác định được nó.

1.3 b). Bởi vì kilômét thì ngắn hơn dặm, nên cùng một khoảng cách số kilômét sẽ lớn hơn số dặm.

1.4 Theo báo cáo, tất cả các chữ số này đều có nghĩa nên bạn có thể xác định vị trí trung tâm của ghế ngồi chính xác đến  $0.000\,000\,000\,1 \text{ m}$ . Điều này gần như đồng nghĩa với việc có thể đếm được các nguyên tử bằng thước thước của bạn, vì kích thước nguyên tử cùng cỡ đó! Sẽ tốt hơn nếu kết quả đo được ghi lại là  $1.044 \text{ m}$ : điều này cho thấy rằng bạn có thể biết vị trí chính xác đến hàng millimét, nếu thang đo trên thước mét được chia đến hàng millimet.