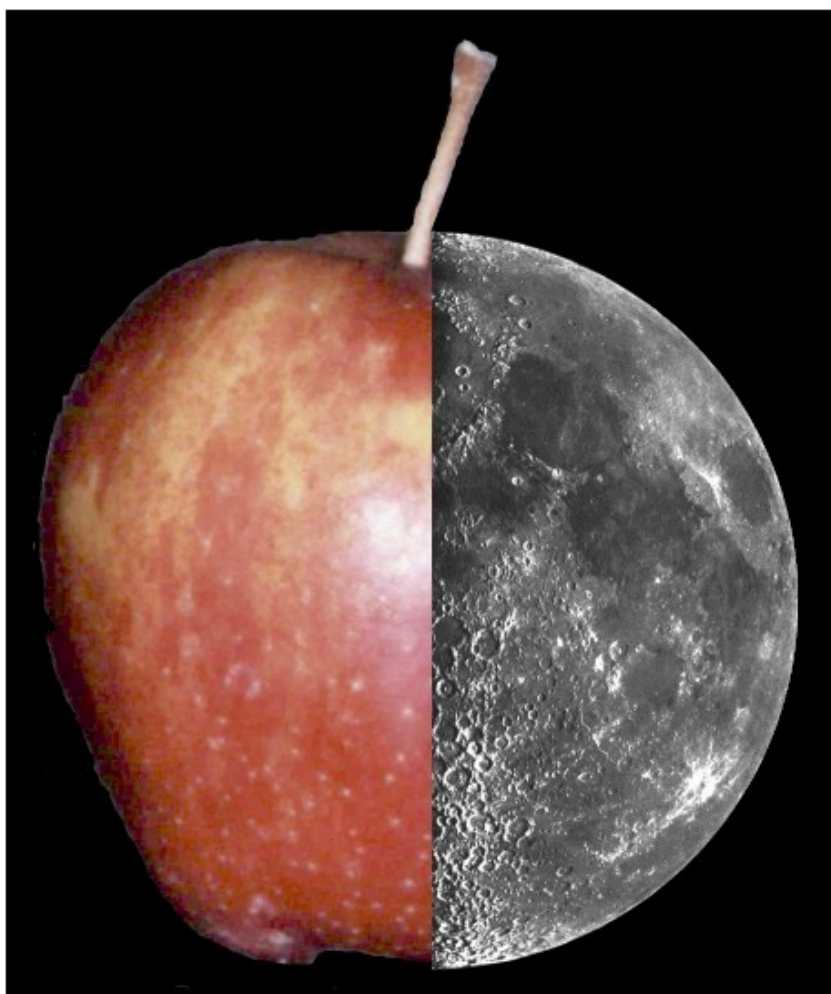


**Benjamin Crowell**

Trần Nghiêm (hiepkhachquay) dịch

# BÀI GIẢNG CƠ HỌC NEWTON



Tài liệu phát hành tại  
[Www.thuvienvatly.com](http://Www.thuvienvatly.com)

An Minh, hè 2008

Tặng Công và Hậu  
Trường THPT U Minh Thượng, Kiên Giang

**Bài giảng Cơ học Newton**

Quyển 1 trong loạt sách vật lí 6 tập của tác giả Benjamin Crowell  
(Quyển 5: Bài giảng Điện học đã phát hành tại [www.thuvienvatly.com](http://www.thuvienvatly.com))

Rất mong nhận được ý kiến đóng góp của các bạn  
[tranngkiem@gmail.com](mailto:tranngkiem@gmail.com)

# MỤC LỤC

Trang

## Chương 0

<b>Giới thiệu và nhận xét</b>	1
0.1 Phương pháp khoa học	2
0.2 Vật lí là gì	4
0.3 Học vật lí như thế nào	8
0.4 Tự đánh giá	9
0.5 Cơ sở của hệ mét	9
0.6 Newton, đơn vị hệ mét của lực	13
0.7 Các tiếp đầu ngữ hệ mét kém thông dụng hơn	14
0.8 Kí hiệu khoa học	15
0.9 Chuyển đổi đơn vị	16
0.10 Những con số có nghĩa	17
Bài tập	20

## Chương 1

<b>Ước tính quy mô và bậc độ lớn</b>	23
1.1 Giới thiệu	23
1.2 Xác định diện tích và thể tích	26
1.3 Sự phân chia tỉ lệ áp dụng cho Sinh học	34
1.4 Ước tính bậc độ lớn	38
Bài tập	40

## Phần I

### Chuyển động trong không gian một chiều

## Chương 2

<b>Vận tốc và chuyển động tương đối</b>	47
2.1 Các loại chuyển động	47
2.2 Mô tả khoảng cách và thời gian	53
2.3 Đồ thị chuyển động, Vận tốc	55
2.4 Nguyên lí quán tính	60
2.5 Cộng vận tốc	63
2.6 Đồ thị vận tốc – thời gian	65
2.7 Áp dụng giải tích	66
Bài tập	68

## Chương 3

<b>Gia tốc và sự rơi tự do</b>	71
3.1 Chuyển động của vật rơi	71
3.2 Gia tốc	74

3.3 Gia tốc dương và âm .....	78
3.4 Gia tốc biến thiên .....	81
3.5 Diện tích bên dưới đồ thị vận tốc – thời gian .....	83
3.6 Kết quả đại số đối với gia tốc không đổi .....	85
3.7 Tác dụng sinh lí của sự không trọng lượng .....	87
3.8 Áp dụng giải tích .....	90
Bài tập .....	91

## Chương 4

<b>Lực và chuyển động</b> .....	98
4.1 Lực .....	99
4.2 Định luật I Newton .....	102
4.3 Định luật II Newton .....	105
4.4 Lực không phải là .....	108
4.5 Hệ quy chiếu quán tính và phi quán tính .....	110
Bài tập .....	112

## Chương 5

<b>Phân tích lực</b> .....	115
5.1 Định luật III Newton .....	115
5.2 Phân loại và hành vi của lực .....	119
5.3 Phân tích lực .....	127
5.4 Sự truyền lực bởi các vật khối lượng thấp .....	129
5.5 Các vật dưới sức căng .....	131
5.6 Máy cơ đơn giản: Ròng rọc .....	132
Bài tập .....	134

## Phần II

### Chuyển động trong không gian ba chiều

## Chương 6

<b>Các định luật Newton trong không gian ba chiều</b> .....	141
6.1 Các lực có tác dụng không vuông góc .....	141
6.2 Hệ tọa độ và các thành phần .....	143
6.3 Các định luật Newton trong không gian ba chiều .....	147
Bài tập .....	149

## Chương 7

<b>Vector</b> .....	151
7.1 Kí hiệu vector .....	151
7.2 Các phép tính với độ lớn và hướng .....	154
7.3 Phương pháp cộng vector .....	155
7.4 Kí hiệu vector đơn vị .....	157
7.5 Bất biến quay .....	157

Bài tập .....	159
---------------	-----

## Chương 8

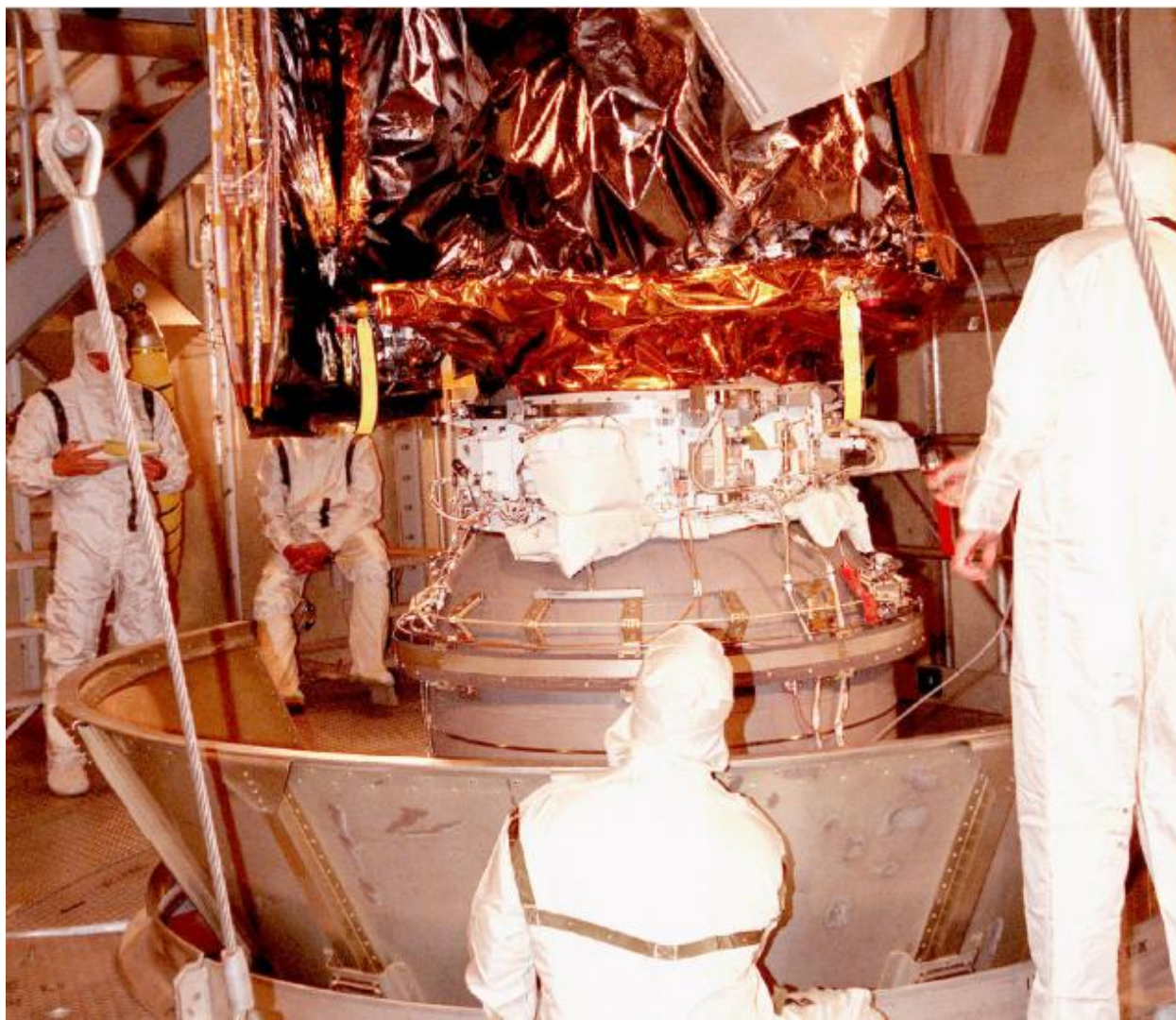
<b>Vector và chuyển động</b> .....	161
8.1 Vector vận tốc .....	162
8.2 Vector gia tốc .....	163
8.3 Vector lực và các máy cơ đơn giản .....	165
8.4 Giải tích vector .....	166
Bài tập .....	170

## Chương 9

<b>Chuyển động tròn</b> .....	174
9.1 Khái niệm chuyển động tròn .....	174
9.2 Chuyển động tròn đều .....	179
9.3 Chuyển động tròn không đều .....	181
Bài tập .....	183

## Chương 10

<b>Lực hấp dẫn</b> .....	187
10.1 Các định luật Kepler .....	188
10.2 Định luật hấp dẫn Newton .....	190
10.3 Sự mất trọng lượng biểu kiến .....	195
10.4 Phép cộng vector các lực hấp dẫn .....	196
10.5 Cân nặng trên Trái đất .....	198
10.6 Bằng chứng cho lực hấp dẫn đẩy .....	200
Bài tập .....	203



Phi thuyền Mars Climate Orbiter chuẩn bị cho sứ mệnh của nó. Các định luật vật lý là như nhau ở mọi nơi, kể cả trên Hỏa tinh, nên con tàu có thể được thiết kế trên các định luật vật lý đã phát hiện trên Trái đất. Có một lí do đáng tiếc nữa lí giải vì sao phi thuyền này lại có liên quan tới chủ đề của chương này: nó bị phá hủy khi cố đi vào bầu khí quyển của Hỏa tinh vì các kĩ thuật viên tại Lockheed Martin đã quên đổi số liệu về động cơ đẩy từ pound sang đơn vị hệ mét của lực (newton) trước khi cung cấp thông tin cho NASA. Việc đổi đơn vị thật quan trọng !

## Chương 0

### Giới thiệu và nhận xét

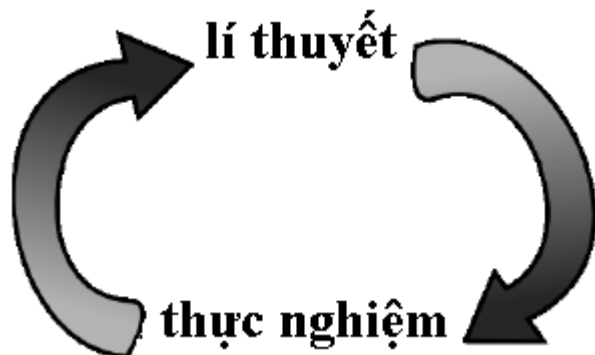
Nếu bạn thả rơi chiếc giày của bạn và một đồng tiền sát bên nhau, chúng sẽ chạm đất cùng một lúc. Tại sao chiếc giày không rơi xuống trước, vì lực hấp dẫn hút nó mạnh hơn mà ? Làm thế nào thủy tinh thể của mắt bạn hoạt động được, và tác dụng cơ mắt của bạn phải nén thủy tinh thể của nó thành những hình dạng khác nhau để hội tụ các vật ở gần hay ở xa ? Đây là những loại câu hỏi mà các nhà vật lý đã cố gắng trả lời về hành vi của ánh sáng và vật chất, hai thứ cấu thành nên vũ trụ.



## 0.1 Phương pháp khoa học

Mãi cho đến rất gần đây trong lịch sử, không có tiến bộ nào được thực hiện trong việc trả lời những câu hỏi như thế này. Tệ hại hơn nữa, những câu trả lời sai viết ra bởi các nhà tư tưởng như nhà vật lý người Hi Lạp cổ đại Aristotle đã được chấp nhận mà không hề nghi ngờ trong hàng nghìn năm. Tại sao kiến thức khoa học tiến triển kể từ thời Phục hưng lại tiến bộ hơn toàn bộ thiên niên kỷ trước đó kể từ khi có lịch sử ghi lại? Rõ ràng cuộc cách mạng công nghiệp là một phần của câu trả lời. Việc phát triển các khẩu pháo, động cơ hơi nước, đòi hỏi những kỹ thuật cải tiến cho xây dựng và đo lường chính xác. (Ngay từ sớm, nó đã được xem là một tiến bộ lớn khi các cửa hàng máy móc ở Anh học được cách chế tạo piston và xilanh và lắp vào nhau với một khe hẹp hơn bề dày của đồng penny) Nhưng trước cả cách mạng công nghiệp, đã có các bước khám phá, chủ yếu vì đưa ra phương pháp khoa học hiện đại. Mặc dù nó tiến triển theo thời gian, nhưng đa số nhà khoa học ngày nay thống nhất với nhau về một số điều như liệt kê dưới đây về các nguyên tắc cơ bản của phương pháp khoa học:

(1) *Khoa học là một chu trình của lý thuyết và thực nghiệm.* Các lý thuyết khoa học được đưa ra để giải thích kết quả thí nghiệm tạo ra dưới những điều kiện nhất định. Một lý thuyết thành công cũng sẽ đưa ra những tiên đoán mới về những thí nghiệm mới dưới những điều kiện mới. Tuy vậy, cuối cùng, điều luôn xảy ra là một thí nghiệm mới xuất hiện, cho thấy dưới những điều kiện nhất định, lý thuyết đó không hẳn là một sự gần đúng tốt hay thậm chí không còn giá trị nữa. Quả bóng khi đó được đá trở lại sân của các nhà lý thuyết. Nếu một thí nghiệm không ăn khớp với lý thuyết hiện tại, thì lý thuyết đó phải thay đổi, chứ không phải thí nghiệm.



a/ Khoa học là một chu trình của lý thuyết và thực nghiệm

(2) *Lý thuyết phải vừa có tính tiên đoán vừa có tính giải thích.* Yêu cầu của sức mạnh dự đoán có nghĩa là một lý thuyết sẽ chỉ có đầy đủ ý nghĩa nếu như nó có khả năng tiên đoán cái gì đó có thể kiểm tra trên cơ sở các phép đo thực nghiệm mà lý thuyết đó không với tới ngay. Nghĩa là, một lý thuyết phải có thể kiểm tra được. Giá trị giải thích có nghĩa là nhiều hiện tượng phải được xem xét đối với vài nguyên lý cơ bản. Nếu bạn trả lời mỗi câu hỏi “tại sao” rằng “bởi vì nó là như thế” thì lý thuyết của bạn không có giá trị giải thích. Su tập nhiều số liệu mà không có khả năng tìm ra bất kỳ nguyên lý nền tảng cơ sở nào thì không phải là khoa học.

(3) *Các thí nghiệm phải có thể lặp lại được.* Một thí nghiệm sẽ bị xem xét với sự hoài nghi nếu như nó chỉ hoạt động đối với một người, hoặc chỉ hoạt động trong một bộ phận của thế giới. Bất kỳ ai có kỹ năng và trang thiết bị cần thiết đều có thể thu được kết quả như nhau từ



những thí nghiệm như nhau. Điều này ngụ ý rằng nền khoa học vượt qua ranh giới quốc gia và tôn giáo; bạn có thể chắc chắn rằng chẳng có ai đang làm khoa học thật sự khi họ khẳng định công việc của họ là “Aryan, không phải Do Thái,” “mác-xít, không phải tư bản,” hay “Công giáo, không phải vô thần”. Một thí nghiệm không thể tái dựng lại được nếu như nó là bí mật, cho nên khoa học nhất thiết phải là một sự nghiệp chung.



b/ Hình vẽ châm biếm phòng làm việc của một nhà giả kim thuật. H. Cock, vẽ lại theo Peter Brueghel (thế kỉ 16)

Một thí dụ của chu trình lí thuyết và thực nghiệm, một bước tiến cần thiết đến nền hóa học hiện đại là quan sát thực nghiệm cho thấy các nguyên tố hóa học không thể chuyển hóa lẫn nhau, chẳng hạn như chì không thể biến thành vàng. Điều này dẫn tới lí thuyết cho rằng các phản ứng hóa học bao gồm sự sắp xếp lại của các nguyên tố theo những kết hợp khác nhau, không có bất kì sự thay đổi nào ở nhân dạng của bản thân các nguyên tố. Lí thuyết đó hoạt động trong hàng trăm năm, và được xác nhận bằng thực nghiệm trên một phạm vi rộng của áp suất và nhiệt độ và với nhiều kết hợp của các nguyên tố. Chỉ trong thế kỉ 20, chúng ta mới biết rằng một nguyên tố có thể chuyển hóa thành một nguyên tố khác dưới những điều kiện áp suất và nhiệt độ cực cao tồn tại trong quả bom hạt nhân hoặc bên trong một ngôi sao. Quan sát đó không hoàn toàn vô hiệu hóa lí thuyết ban đầu về sự bất biến của các nguyên tố, nhưng nó cho thấy nó chỉ là một sự gần đúng, hợp lí ở điều kiện nhiệt độ và áp suất bình thường.

© Một pháp sư lên đồng tham gia nói chuyện với linh hồn người đã mất. Ông nói ông có sức mạnh ma thuật đặc biệt mà người khác không có, nó cho phép ông “liên lạc” thông tin với các linh hồn. Ở đây, phần nào của nguyên tắc khoa học đã bị vi phạm ?

Phương pháp khoa học mô tả ở đây là một sự lí tưởng hóa, và không nên hiểu là một tập hợp thủ tục dùng trong làm khoa học. Các nhà khoa học có nhiều nhược điểm và tính xấu như mọi nhóm người khác, và rất thường xảy ra với các nhà khoa học là cố gắng làm mất uy tín của thí nghiệm của người khác khi kết quả của người ta trái ngược với quan điểm ưa thích của họ. Nền khoa học thành công cũng phải làm việc với sự may mắn, trực giác và sáng tạo nhiều hơn đa số mọi người nhận thấy, và hạn chế của phương pháp khoa học là không hề kiểm chế cá tính và sự tự biểu hiện hơn so với dạng fugue sonata kiểm chế Bach và Haydn. Có một xu hướng gần đây trong số các nhà khoa học xã hội là đi xa hơn nữa và đi tới phủ nhận sự tồn tại của phương pháp khoa học, khẳng định khoa học không gì hơn là một hệ thống xã hội độc đoán xác định ý tưởng nào được chấp nhận dựa trên tiêu chuẩn của nhóm người có chung quyền lợi. Nếu khoa

học là một lễ nghi xã hội độc đoán, thì hình như khó mà giải thích được tính hiệu quả của nó trong việc chế tạo các đồ đặc hữu ích như máy bay, máy hát đĩa CD và máy may. Nếu như thuật giả kim và chiêm tinh học không kém tính khoa học hơn trong phương pháp của nó so với hóa học và thiên văn học, thì cái gì khiến cho chúng không tạo ra được cái nào có ích cả ?

☺ Xét xem có hay không có phương pháp khoa học áp dụng trong những thí dụ sau đây. Nếu phương pháp khoa học không được áp dụng, hỏi những người có hoạt động được mô tả có đang tiến hành một hoạt động con người hữu ích hay không, dẫu là một hoạt động phản khoa học ?

A. Châm cứu là một kỹ thuật y khoa cổ truyền có nguồn gốc châu Á trong đó những cây kim nhỏ được cắm vào cơ thể con người để làm giảm đau đớn. Nhiều bác sĩ được đào tạo ở phương tây xem châm cứu là không có giá trị nghiên cứu thực nghiệm, vì nếu như nó có tác dụng chữa bệnh, thì những tác dụng đó không thể nào giải thích bằng lý thuyết của họ về hệ thần kinh. Ai là người mang tính khoa học hơn, những người hành nghề phương tây hay phương đông ?

B. Goethe, một nhà thơ Đức, ít được biết tới cho lý thuyết của ông về màu sắc. Ông đã xuất bản một cuốn sách về đề tài đó, trong đó ông biện hộ rằng dụng cụ khoa học dùng để đo và định lượng màu sắc, như lăng kính, thấu kính và bộ lọc màu, không thể mang lại cho chúng ta cái nhìn trọn vẹn vào ý nghĩa tối hậu của màu sắc, chẳng hạn cảm giác lạnh gọi lên bởi màu lam và lục, hay tính khoa trương do màu đỏ kích động. Hỏi nghiên cứu của ông có mang tính khoa học không ?

C. Một đứa trẻ thắc mắc tại sao mọi vật đều rơi xuống, và một người trưởng thành trả lời “vì hấp dẫn”. Nhà triết học Hi Lạp cổ đại Aristotle giải thích rằng đất đá rơi xuống vì bản chất của chúng tìm lại vị trí tự nhiên của chúng, tiếp giáp với Trái đất. Những lời giải thích này có mang tính khoa học không ?

D. Đạo Phật phần nào là một lời giải thích tâm lý học của sự trải nghiệm của con người, và tâm lý học tất nhiên là một khoa học. Đức Phật có thể nói là phải bận rộn trong một chu trình lý thuyết và thực nghiệm, vì ông nghiên cứu bằng cách thử và sai, và cho dẫu muộn trong cuộc đời ông, ông đã yêu cầu các môn đồ thử thách ý tưởng của ông. Phật giáo còn có thể xem là có tính sinh sôi, vì Đức Phật bảo các môn đồ của ông rằng họ có thể tìm sự khai sáng cho chính họ nếu họ tuân theo một khóa nghiên cứu và rèn luyện nhất định. Hỏi Phật giáo có phải là một hoạt động theo đuổi khoa học hay không ?

## 0.2 Vật lý là gì ?

*Cho rằng trong chốc lát, một người thông minh có thể lĩnh hội tất cả các lực mà nhờ đó tự nhiên được cấp thêm sinh khí và vị trí tương ứng của những thứ tạo ra nó... thì không có gì là không chắc chắn, và tương lai cũng như quá khứ sẽ nằm trước mắt nó.*

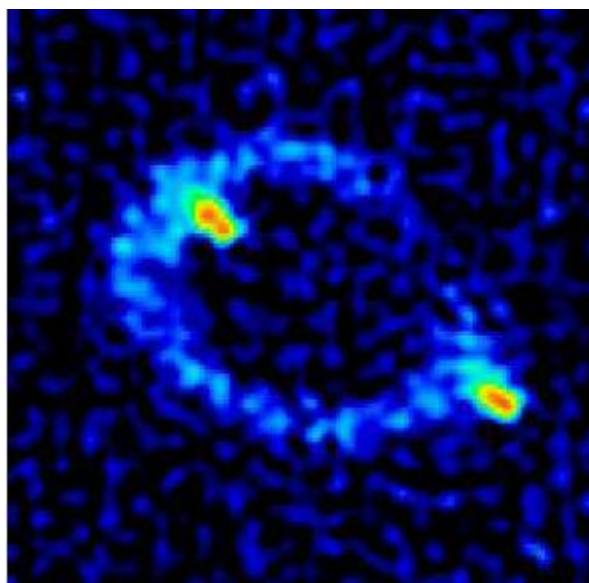
*Pierre Simon de Laplace*

Vật lý là sử dụng phương pháp khoa học để tìm ra các nguyên lý cơ bản chi phối ánh sáng và vật chất, và khám phá ra hệ quả của những định luật này. Một phần của cái phân biệt quan điểm hiện đại với thế giới quan cổ đại là giả định có những quy luật mà nhờ đó các chức năng vũ trụ, và những định luật đó có thể được hiểu ít nhất là phần nào đó bởi con người. Từ kỷ nguyên Lí trí cho đến thế kỉ 19, nhiều nhà khoa học bắt đầu bị thuyết phục rằng các định luật tự nhiên không những có thể hiểu được mà, như Laplace khẳng định, những định luật đó về nguyên tắc còn có thể sử dụng để tiên đoán mọi thứ về tương lai của vũ trụ nếu như có đủ thông tin về trạng thái hiện nay của toàn bộ ánh sáng và vật chất. Trong những phần sau, tôi sẽ mô tả hai loại giới hạn chung trên tiên đoán sử dụng các định luật vật lý, chúng chỉ được ghi nhận trong thế kỉ 20.

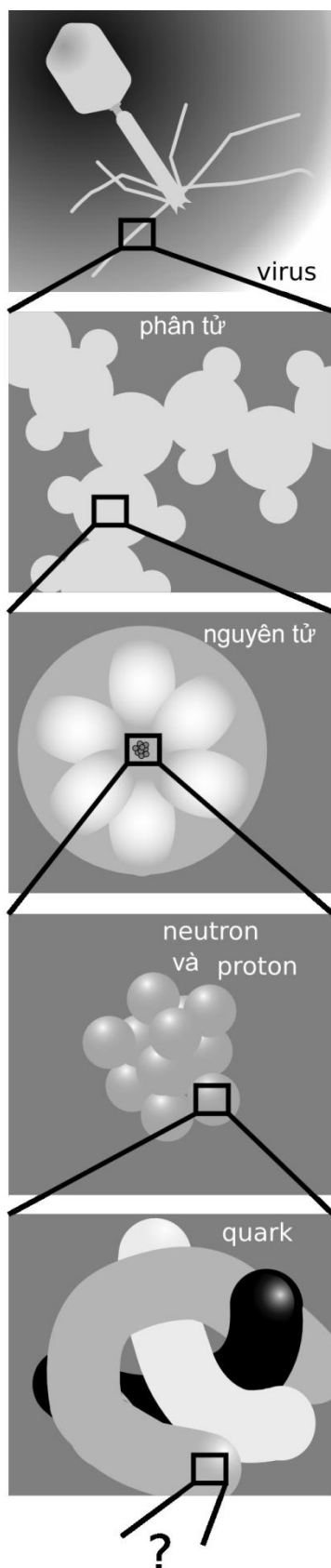
Vật chất có thể định nghĩa là thứ gì đó bị tác dụng bởi hấp dẫn, tức là nó có trọng lực hay sẽ có sức nặng nếu nó nằm gần Trái đất hoặc một ngôi sao khác hoặc một hành tinh đủ nặng để tạo ra sức hấp dẫn có thể đo được. Ánh sáng có thể định nghĩa là thứ gì đó có thể truyền từ nơi này sang nơi khác qua không gian trống rỗng và có thể tác dụng lên vật chất, nhưng không có trọng lượng. Ví dụ, ánh sáng Mặt trời có thể tác dụng lên cơ thể bạn bằng cách làm nó nóng lên hay phá hỏng DNA của bạn và làm cho bạn bị ung thư da. Định nghĩa ánh sáng của nhà vật lý bao gồm nhiều hiện tượng phong phú không nhìn thấy với mắt thường, gồm có sóng vô tuyến, vi sóng, tia X và tia gamma. Những đối tượng này là “màu” của ánh sáng không rơi vào ngưỡng hẹp từ-tím-tím-đỏ của cầu vồng mà chúng ta có thể nhìn thấy.

☺ Vào đầu thế kỉ 20, một hiện tượng mới lạ được phát hiện thấy trong ống chân không: các tia bí ẩn có nguồn gốc và bản chất không rõ. Những tia này giống như các tia bắn từ phía sau ống đèn hình ti vi nhà bạn và chạm tới phía trước tạo ra hình ảnh. Các nhà vật lý vào năm 1895 không hề có ý tưởng xem những tia này là cái gì, nên họ đặt tên đơn giản cho chúng là “tia cathode”, theo tên của tiếp xúc điện từ đó chúng phát ra. Một cuộc tranh luận sôi nổi nổ ra, hoàn toàn với ý nghĩa quan niệm, xem những tia này thuộc dạng ánh sáng hay vật chất. Người ta sẽ phải làm gì để giải quyết vấn đề đó ?

Nhiều hiện tượng vật lý bản thân chúng không phải là ánh sáng hay vật chất, mà là tính chất của ánh sáng hay vật chất hoặc tương tác giữa ánh sáng và vật chất. Chẳng hạn, chuyển động là một tính chất của mọi ánh sáng và một số vật chất, nhưng bản thân nó không phải là ánh sáng hay vật chất. Áp suất giữ cho lốp xe đạp căng lên là sự tương tác giữa không khí và lốp xe. Áp suất không thuộc dạng vật chất mà thuộc dạng riêng của nó. Nó là một tính chất của lốp xe cũng như của không khí. Tương tự, tình cảnh chị em và chủ tớ là quan hệ giữa người với người, nhưng không phải là bản thân con người.



Hình chụp qua kính thiên văn này cho thấy hai ảnh của cùng một vật ở xa, một vật kì lạ, rất sáng gọi tên là quasar. Đây được xem là bằng chứng cho một vật nặng, mờ tối, có khả năng là một lỗ đen, dường như nằm giữa chúng ta và nó. Nói cách khác, các tia sáng sẽ trượt qua Trái đất ở mỗi phía bị bẻ cong bởi sức hấp dẫn của vật tối sao cho chúng đi tới chúng ta. Hướng thật sự đến quasar có thể đoán chừng là ở chính giữa hình, nhưng ánh sáng truyền dọc theo đường chính giữa không đi tới chúng ta vì nó bị vật tối hấp thụ. Quasar trên được gọi tên qua số danh mục của nó, MG1131+0456, hay tên gọi kém chính thức hơn là Vòng Einstein.



d/ Giản hóa luận

Một số thứ dường như không trọng lượng lại thật sự có trọng lượng, và vì thế được xem là vật chất. Không khí có trọng lượng, và vì thế nó là một dạng vật chất, mặc dù 1 inch khối không khí nhẹ hơn cả một hạt cát. Quả bóng helium có trọng lượng, nhưng được giữ cho khỏi rơi xuống bởi lực tác dụng của không khí xung quanh đậm đặc hơn, chúng đẩy nó lên. Các nhà thiên văn trên quỹ đạo xung quanh Trái đất có trọng lượng, và đang rơi theo một đường cong, nhưng họ chuyển động quá nhanh nên cung cong của quỹ đạo rơi của họ đủ rộng để mang họ theo hành trình xung quanh Trái đất có dạng hình tròn. Họ tự cảm thấy mình không có trọng lượng vì tổ hợp không gian đang rơi cùng với họ, và vì thế sàn đỡ không đẩy chân họ lên.

#### *Sự thay đổi hiện đại ở định nghĩa ánh sáng và vật chất*

Einstein tiên đoán một hệ quả của lý thuyết tương đối của ông là ánh sáng sau hết thấy sẽ bị tác động bởi hấp dẫn, mặc dù hiệu ứng đó cực kì yếu dưới những điều kiện bình thường. Tiên đoán của ông đã khai sinh ra các quan sát sự bẻ cong tia sáng phát ra từ các sao khi chúng đi gần Mặt trời trong hành trình của chúng đến với Trái đất. Lý thuyết của Einstein còn gợi ý sự tồn tại của các lỗ đen, các sao nặng và rắn chắc đến mức sức hấp dẫn mạnh của chúng không cho phép ánh sáng thoát ra ngoài (Hiện nay, có bằng chứng mạnh mẽ cho thấy các lỗ đen thật sự tồn tại).

Giải thích của Einstein là ánh sáng không phải thật sự có khối lượng, mà là năng lượng bị tác động bởi hấp dẫn giống hệt như khối lượng vậy. Năng lượng trong một chùm sáng tương đương với một lượng khối lượng nhất định, cho bởi công thức nổi tiếng  $E = mc^2$ , trong đó  $c$  là tốc độ ánh sáng. Vì tốc độ ánh sáng là một con số lớn, nên một lượng lớn năng lượng là tương đương với chỉ một lượng rất nhỏ của khối lượng, nên lực hấp dẫn tác dụng lên tia sáng có thể bỏ qua trong đa số mục đích thực tiễn.

Tuy nhiên, có một sự khác biệt còn cơ bản và thỏa đáng hơn nữa giữa ánh sáng và vật chất, đối với bạn điều đó có thể hiểu được nếu như bạn có học qua hóa học. Trong hóa học, người ta biết rằng các electron tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli, nguyên lý cấm có nhiều hơn một electron chiếm giữ cùng một quỹ đạo nếu như chúng có cùng spin. Nguyên lý loại trừ Pauli được tuân thủ bởi các hạt hạ nguyên tử cấu thành nên vật chất, nhưng không được tuân thủ bởi các hạt, gọi là photon, cấu thành nên chùm tia sáng.

Lý thuyết tương đối của Einstein sẽ được thảo luận trọn vẹn hơn trong quyển 6 của bộ sách này.

Ranh giới giữa vật lý học và các khoa học khác không phải lúc nào cũng rõ ràng. Chẳng hạn, hóa học nghiên cứu các nguyên tử và phân tử, chúng là thứ cấu thành nên vật chất, và có một số nhà khoa học hài lòng như nhau tự gọi họ là nhà hóa lý hoặc nhà lý hóa. Dường như sự khác biệt giữa vật lý học và sinh học thì rõ ràng hơn, vì vật lý hình như làm việc với các vật vô tri vô giác. Thật ra, hầu như mọi nhà vật lý đều đồng ý rằng các định luật cơ bản của vật lý áp dụng cho các



phân tử trong một ống thử hoạt động tốt tương tự đối với sự kết hợp của các phân tử cấu thành nên một con vi khuẩn. (Một số người có lẽ tin rằng một số thứ thì có khả năng xảy ra hơn trong ý nghĩ của con người, hay thậm chí là ý tưởng của mèo và chó) Cái phân biệt vật lí với sinh học là nhiều lí thuyết khoa học mô tả sự sống, trong khi rút cuộc thu được từ các định luật cơ bản của vật lí, không thể nào suy luận chặt chẽ từ các nguyên lí vật lí.

## Hệ cô lập và giản hóa luận

Để tránh nghiên cứu mọi thứ cùng một lúc, các nhà khoa học cô lập mọi thứ mà họ đang cố gắng nghiên cứu. Chẳng hạn, một nhà vật lí muốn nghiên cứu chuyển động của một con quay hồi chuyển đang quay sẽ có khả năng thích nó được tách rời khỏi các dao động và dòng không khí xung quanh. Ngay cả trong sinh học, lĩnh vực nghiên cứu cần thiết phải tìm hiểu sự sống liên hệ như thế nào với toàn bộ môi trường của chúng, thật hào hứng lưu ý đến vai trò lịch sử thiết yếu của nghiên cứu của Darwin trên quần đảo Galapagos, nơi tách rời khỏi phần còn lại của thế giới. Bất kì bộ phận nào của vũ trụ được xem là tách rời khỏi phần còn lại có thể gọi là một “hệ”.

Vật lí học đã có những thành công to lớn của nó khi tiến hành quá trình cô lập này để cách li, chia nhỏ vũ trụ thành những phần ngày càng nhỏ hơn. Vật chất có thể chia thành các nguyên tử, và hành vi của từng nguyên tử có thể nghiên cứu được. Các nguyên tử có thể phân chia thành các neutron, proton và electron cấu thành của chúng. Proton và neutron hình như được cấu thành từ các hạt còn nhỏ hơn nữa gọi là quark, và đã có một số khẳng định bằng chứng thực nghiệm các quark có những bộ phận nhỏ hơn bên trong chúng. Phương pháp phân tích các thứ thành những bộ phận càng lúc càng nhỏ hơn và nghiên cứu xem những bộ phận đó tương tác lẫn nhau như thế nào được gọi là sự giản hóa luận. Hi vọng là các quy luật có vẻ phức tạp chi phối những đơn vị lớn có thể được hiểu tốt hơn dưới dạng những quy luật đơn giản hơn chi phối những đơn vị nhỏ hơn. Để đánh giá đúng cái do giản hóa luận mang lại cho khoa học, chỉ cần nghiên cứu một cuốn sách giáo khoa hóa học thời thế kỉ 19. Vào lúc ấy, sự tồn tại của các nguyên tử vẫn còn bị một số người nghi ngờ, các electron thì bị khả nghi là không tồn tại, và hầu như người ta chẳng hiểu những quy luật cơ bản nào chi phối cách thức các nguyên tử tương tác lẫn nhau trong phản ứng hóa học. Học sinh phải ghi nhớ những danh sách dài các hóa chất và phản ứng của chúng, và không có cách nào hiểu được nó một cách có hệ thống. Ngày nay, học sinh chỉ cần ghi nhớ một tập hợp nhỏ các quy luật về cách thức các nguyên tử tương tác, chẳng hạn các nguyên tử thuộc một nguyên tố không thể nào chuyển hóa thành nguyên tố khác qua phản ứng hóa học, hay các nguyên tử ở phía bên phải của bảng hệ thống tuần hoàn có xu hướng hình thành liên kết mạnh với các nguyên tử ở phía bên trái.

☺ A. Tôi vừa đề nghị thay định nghĩa bình thường của ánh sáng bằng một định nghĩa mang tính kĩ thuật hơn, chính xác hơn bao hàm sự không trọng lượng. Dù vậy, vẫn có khả năng là chất liệu mà một cái bóng đèn tạo ra, thông thường gọi là “ánh sáng”, thật sự có một lượng nhỏ trọng lượng nào đó. Hãy đề xuất một thí nghiệm nhằm đo xem nó có trọng lượng hay không.

B. Nhiệt không có trọng lượng (tức là một vật không hề trở nên nặng hơn khi bị nung nóng), và có thể truyền qua căn phòng trống từ bếp lửa tới da của bạn, nơi nó tác động đến bạn qua việc làm nóng bạn. Vậy thì theo định nghĩa của chúng ta, nhiệt có được xem là một dạng ánh sáng hay không ? Tại sao được hay tại sao không ?

C. Tương tự, âm thanh có được xem là một dạng ánh sáng hay không ?

## 0.3 Học vật lí như thế nào

Nhiều sinh viên đến với khóa học khoa học với ý tưởng rằng họ có thể thành công bằng việc ghi nhớ các công thức, khi một bài toán được đưa vào bài tập ở nhà hay bài thi, họ sẽ có thể thế số vào công thức và thu được kết quả bằng số trên chiếc máy tính bỏ túi của mình. Thật sai lầm ! Đó không phải là cách học khoa học đâu ! Có một sự khác biệt lớn giữa việc học thuộc các công thức và hiểu các khái niệm. Để bắt đầu, các công thức khác nhau có thể áp dụng trong những tình huống khác nhau. Một phương trình có thể biểu diễn một định nghĩa, nó luôn luôn đúng. Một phương trình khác có thể là một phương trình rất đặc biệt cho tốc độ của một vật trượt trên một mặt phẳng nghiêng, nó sẽ không đúng nếu như vật là một tảng đá đang trôi giạt xuống đáy đại dương. Nếu bạn không chịu khó tìm hiểu vật lí ở mức độ khái niệm, bạn sẽ không biết công thức nào được sử dụng khi nào.

Đa số học sinh tham gia những khóa học khoa học lần đầu tiên còn có rất ít kinh nghiệm với việc giải thích ý nghĩa của một phương trình. Hãy xét phương trình  $\omega = A/h$  liên hệ chiều rộng của một tam giác với chiều cao và diện tích của nó. Một học sinh không được phát triển kỹ năng giải thích có thể xem đây là một phương trình khác để học thuộc và vận dụng khi cần thiết. Một học sinh hiểu biết hơn một chút nhận ra đây đơn giản là công thức quen thuộc  $A = \omega h$  ở một dạng khác. Khi hỏi một tam giác sẽ có chiều rộng lớn hơn hay nhỏ hơn so với một tam giác khác có cùng diện tích nhưng chiều cao nhỏ hơn, người học sinh ngây thơ có thể lúng túng, không có con số nào để bấm máy tính cả. Người học sinh kinh nghiệm hơn thì biết cách lí giải một phương trình liên quan tới phép chia – nếu  $h$  nhỏ hơn, và  $A$  giữ không đổi, thì  $\omega$  phải lớn hơn. Thường thì học sinh hay thất bại ở việc nhận ra hệ quả của các phương trình như con đường đưa đến kết quả cuối cùng, nên họ nghĩ tất cả các bước trung gian đều là những công thức quan trọng như nhau mà họ phải học thuộc.

Khi tìm hiểu bất kì vật nào, điều quan trọng là càng liên hệ tích cực càng tốt, từ không tìm cách đọc toàn bộ thông tin một cách nhanh chóng mà không nghĩ về nó. Một ý tưởng hay là hãy đọc và nghĩ tới những câu hỏi đặt ra ở cuối mỗi phần của những tài liệu này khi bạn gặp chúng, sao cho bạn biết rằng bạn đã hiểu cái mình đang đọc.

Khó khăn của nhiều học sinh về vật lí rút lại chủ yếu là những khó khăn với toán học. Giả sử bạn cảm thấy tự tin rằng bạn có đủ nền tảng toán học để thành công trong khóa học này, nhưng bạn đang gặp rắc rối với một số thứ nhất định. Trong một số lĩnh vực, nhận xét chính nêu trong chương này có lẽ là đủ, nhưng trong một số lĩnh vực khác, nó có khả năng không đủ. Một khi bạn nhận ra những lĩnh vực toán học mà bạn gặp trục trặc, hãy tìm sự hỗ trợ trong những lĩnh vực đó. Đừng lê chân qua toàn khóa học với cảm giác mơ hồ nghĩ tới mà sợ về thứ kiểu như khái niệm khoa học. Khó khăn sẽ không biến mất nếu bạn bỏ qua nó. Điều tương tự áp dụng cho các kỹ năng toán học cần thiết mà bạn học trong khóa học này lần đầu tiên, ví dụ như phép cộng vector.

Đôi khi, học sinh bảo tôi họ đã cố gắng tìm hiểu một chủ đề nhất định trong sách, và nó không có ý nghĩa gì hết. Thứ tồi tệ nhất bạn có thể làm trong tình huống đó là cố đọc tới đọc lui một trang đó mãi. Mỗi sách vở giải thích những thứ nhất định thật tệ - kể cả sách của tôi! – nên

thứ tốt nhất để làm trong tình huống này là nhìn vào một cuốn sách khác. Thay cho giáo trình nhắm tới cùng mức độ toán học như khóa học bạn đang tham gia, trong một số trường hợp, bạn có thể nhận thấy sách vở trung học hay sách ở mức độ toán thấp hơn cho lời giải thích rõ ràng hơn. Ba cuốn sách liệt kê ở bên trái, theo quan điểm của tôi, là những cuốn sách giới thiệu vật lý học tốt nhất hiện có, mặc dù chúng không thích hợp làm sách giáo khoa sơ cấp cho khóa học cao đẳng về khoa học cơ bản.

Cuối cùng, khi ôn tập thi, đừng nên rà soát lại những câu chữ và chú ý như bạn đã học. Thay vì vậy, hãy thử sử dụng một phương pháp ôn tập tích cực, chẳng hạn bằng việc thảo luận một số câu hỏi với học sinh khác, hoặc làm bài tập ở nhà mà bạn chưa từng làm lần nào.

## 0.4 Tự đánh giá

Phần giới thiệu của một cuốn sách kiểu như thế này thật khó viết, vì mỗi học sinh có xuất phát điểm khác nhau với sự chuẩn bị khác nhau. Một học sinh có thể trưởng thành ở một đất nước khác, và vì thế có lẽ hoàn toàn yên tâm với hệ mét, nhưng nhiều học sinh có lẽ đã học đại số và thầy giáo đã dạy quá nhanh về các kí hiệu khoa học. Một học sinh khác có lẽ đã học biết tính toán, nhưng nhiều người chưa hề học về hệ mét. Phần tự đánh giá sau đây là danh sách kiểm tra để giúp bạn vạch ra cái bạn cần nghiên cứu để chuẩn bị cho phần còn lại của khóa học.

Nếu bạn không đồng ý với phát biểu này...	bạn nên nghiên cứu phần này:
Tôi quen thuộc với các đơn vị hệ mét cơ bản: mét, kilogram và giây, và các tiếp đầu ngữ hệ mét thông dụng nhất: milli (m-), kilo (k-) và centi (c-)	0.5 Cơ sở của hệ mét
Tôi biết về newton, một đơn vị của lực	0.6 Newton, đơn vị hệ mét của lực
Tôi quen thuộc với các tiếp đầu ngữ hệ mét kém thông dụng này: mega (M-), micro ( $\mu$ -) và nano (n-)	0.7 Các tiếp đầu ngữ hệ mét kém thông dụng hơn
Tôi khá về các kí hiệu khoa học	0.8 Kí hiệu khoa học
Tôi có thể tự tin thực hiện chuyển đổi đơn vị hệ mét	0.9 Chuyển đổi đơn vị
Tôi hiểu mục đích và công dụng của những con số có nghĩa	0.10 Những con số có nghĩa

Nếu bạn thấy mình còn mù mờ về phần nào, hãy tự kiểm tra kiến thức của mình trong phần đó.

## 0.5 Cơ sở của hệ mét

### Hệ mét

Các đơn vị đã không được đặt thành tiêu chuẩn mãi cho đến khá gần đây trong lịch sử, nên khi nhà vật lý Isaac Newton trình bày kết quả thí nghiệm với một con lắc, ông đã phải không



những chỉ rõ sợi dây dài  $37\frac{7}{8}$  inch mà là “dài  $37\frac{7}{8}$  inch London”. Đơn vị inch được xác định ở Yorkshire sẽ khác đi. Ngay cả sau khi đế quốc Anh đã chuẩn hóa xong hệ đơn vị của mình, thì vẫn còn bất tiện việc tính toán có liên quan tới tiền bạc, thể tích, khoảng cách, thời gian hay trọng lượng, vì toàn bộ các hệ số chuyển đổi thật kì cục, ví như 16 ounce một pound, và 5280 feet một dặm. Trải qua thế kỉ 19, học sinh phổ thông đã phí phạm phần lớn thời gian học toán của họ để rèn luyện tính toán, ví dụ như thực hiện chuyển đổi khi người khách hàng trong một cửa tiệm trả giá một cuốn sách giá 2 pound, 13 shilling và xu. Đồng đôla luôn tính theo đơn vị thập phân, và đồng tiền Anh đã tiến sang hệ thập phân hàng thập kỉ trước, nhưng nước Mỹ vẫn còn sử dụng hệ đơn vị cổ xưa gồm feet, inch, pound, ounce, và vân vân

Mỗi quốc gia trên thế giới công nhận một hệ đơn vị gọi là “hệ mét”. Hệ này hoàn toàn thập phân, chính do người thúc thời của Cuộc cách mạng Pháp mang lại. Nhằm tôn vinh nước Pháp, tên chính thức của hệ đơn vị đó là *Système International*, hay SI, nghĩa là Hệ đơn vị quốc tế. (Cụm từ “hệ SI” vì thế là thừa)

Thứ tuyệt vời ở hệ SI là những người sống ở những đất nước hiện đại hơn đất nước chúng ta [Mỹ] không cần phải học thuộc có bao nhiêu ounce trong một pound, có bao nhiêu tách trong một pint, có bao nhiêu feet trong một dặm, v.v... Toàn bộ hệ hoạt động với một bộ thích hợp, đơn giản của các tiếp đầu ngữ (có nguồn gốc từ tiếng Hi Lạp) bổ sung cho các đơn vị cơ bản. Mỗi tiếp đầu ngữ biểu diễn cho số mũ của 10, và có một chữ viết tắt có thể kết hợp với kí hiệu cho đơn vị. Chẳng hạn, mét là một đơn vị đo khoảng cách. Tiếp đầu ngữ kilo- biểu diễn cho  $10^3$ , nên một kilomet, 1 km, là một nghìn mét.

Các đơn vị cơ bản của hệ mét là mét cho khoảng cách, giây cho thời gian, và gram cho khối lượng.

Sau đây là những tiếp đầu ngữ hệ mét thông dụng nhất. Bạn cần ghi nhớ chúng.

Tiếp đầu ngữ	Ý nghĩa	Ví dụ
kilo- k	$10^3$	60 kg = khối lượng của một người
centi- c	$10^{-2}$	20 cm = chiều cao của một tờ giấy
mili- m	$10^{-3}$	1 ms = thời gian cho một dây đàn ghita chơi nốt D

Tiếp đầu ngữ centi-, nghĩa là  $10^{-2}$ , chỉ dùng trong centimet; một phần trăm của một gram không viết là 1 cg mà viết là 10 mg. Tiếp đầu ngữ centi- có thể dễ dàng ghi nhớ vì một cent là  $10^{-2}$  đôla. Kí hiệu SI chính thức cho giây là “s” (không phải “sec”) và gram là “g” (không phải “gm”).

## Giây

Mặt trời vẫn ngự trên cao và Mặt trăng vẫn lơ lửng trên đầu cho đến khi đất nước quét sạch kẻ thù...

*Joshua 10:12-14*

Thời gian tuyệt đối, đích thực và mang tính toán học, tự thân nó, và từ bản chất riêng của nó, trôi qua một cách đều đều mà không liên quan tới bất kì thứ gì bên ngoài...

*Isaac Newton*

Khi tôi nói ngắn gọn ở phần trên rằng giây là một đơn vị của thời gian, với bạn đây không hẳn thật sự là một định nghĩa gì cho lắm. Hai câu trích dẫn trên ý muốn chứng minh có bao nhiêu sự lộn xộn giữa những người muốn nói tới cùng một thứ bằng một từ là “thời gian”. Trích dẫn thứ nhất được một số vị học giả kinh viện giải thích là sự xác nhận một niềm tin thời cổ đại rằng chuyển động của Mặt trời qua bầu trời không chỉ là cái gì đó xảy ra với sự trôi qua của thời gian mà Mặt trời còn thật sự làm cho thời gian đi qua bằng chuyển động của nó, cho nên việc nó đứng lại ở trên bầu trời sẽ có một số loại tác động suy giảm siêu nhiên lên mọi người, trừ những chiến binh Hebrew. Nhiều nền văn hóa cổ đại còn quan niệm thời gian là tuần hoàn, chứ không tiến lên theo một đường thẳng như năm 1998, 1999, 2000, 2001,... Trích dẫn thứ hai, từ một nhà vật lý tương đối hiện đại, nghe có vẻ mang nhiều tính khoa học hơn, nhưng đa số các nhà vật lý ngày nay xem nó là một định nghĩa thời gian không có ích. Ngày nay, khoa học vật lý xây dựng dựa trên các định nghĩa hành động, nghĩa là các định nghĩa phải giải thích rõ ràng các bước (hoạt động) thực tế cần thiết để đo thứ gì đó bằng số.



e/ Giáo hoàng Gregory đã sáng tạo ra lịch Gregory hiện đại của chúng ta, với hệ năm nhuận của nó, làm cho độ dài của năm lịch phù hợp với độ dài của chu kỳ của các mùa. Mãi đến năm 1752 thì nước Anh Tin lành mới chuyển sang dùng lịch mới. Một số công dân ít học vẫn hơn tin rằng việc thu ngắn tháng đi 11 ngày sẽ làm vui đi cuộc đời của họ một khoảng thời gian tương ứng. Trong bức họa này của William Hogarth, một người tín ngưỡng đang nằm trên đất đọc câu “Hãy ban cho chúng con 11 ngày của chúng con”.

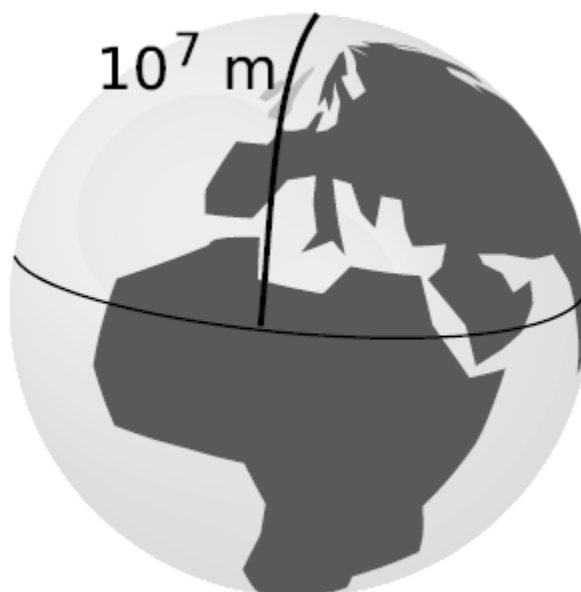
Ngày nay, trong thời đại lò nung bánh, chiếc bút mực và bình cà phê mách bảo thời gian cho chúng ta, còn lâu thì đa số mọi người mới biết đâu là định nghĩa mang tính hành động của thời gian. Cho đến gần đây, giờ, phút và giây đã được định nghĩa theo kiểu hành động dưới dạng thời gian cần thiết để Trái đất quay xung quanh trục của nó. Thật không may, chuyển động quay của Trái đất lại đang chậm dần chút một, và năm 1967 đây trở thành một vấn đề trong những thí nghiệm khoa học yêu cầu phép đo thời gian chính xác. Vì thế, giây được định nghĩa lại là thời gian cần thiết cho một số lượng nhất định các dao động của sóng ánh sáng phát ra bởi một nguyên tử cesium trong một bóng đèn cầu tạo giống như đèn neon quen thuộc nhưng neon được thay thế bằng cesium. Định nghĩa mới không những hứa hẹn là không đổi vô hạn định, mà đổi

với các nhà khoa học nó còn là một cách chế tạo đồng hồ thuận tiện hơn việc phải tiến hành các phép đo thiên văn.

© Đây là định nghĩa mang tính thực hành khá dễ xem một người mạnh cỡ nào ?

## Mét

Người Pháp ban đầu định nghĩa mét là  $10^{-7}$  lần khoảng cách từ đường xích đạo tới cực bắc khi đo qua Paris (tất nhiên). Cho dù là định nghĩa đó mang tính hành động, nhưng hoạt động đi đến cực bắc và đặt một chuỗi trắc địa phía sau bạn không phải là việc mà đa số các nhà khoa học đang hoạt động muốn tiến hành. Không lâu sau, một chuẩn mới được tạo ra dưới dạng một thanh kim loại có hai vạch trên nó. Định nghĩa này tồn tại cho đến năm 1960, khi mét được định nghĩa lại là khoảng cách mà ánh sáng truyền đi trong chân không trong khoảng thời gian  $(1/299792458)$  giây.



f/ Định nghĩa ban đầu của mét

## Kilogram

Đơn vị cơ bản thứ ba của hệ SI là kilogram, đơn vị của khối lượng. Khối lượng được dùng làm số đo lượng chất của một chất, nhưng đó không phải là một định nghĩa hành động. Cái cân bình thường hoạt động bằng cách đo lực hút hấp dẫn của hành tinh của chúng ta đối với vật cân nặng, nhưng việc sử dụng loại cân đó để định nghĩa khối lượng hành động sẽ gây phiền phức vì lực hấp dẫn thay đổi độ lớn từ nơi này sang nơi khác trên Trái đất.

Có một chút bất đồng đáng ngạc nhiên giữa các sách giáo khoa vật lý về cách định nghĩa khối lượng, nhưng đây là cách thức nó thật sự được lĩnh hội bởi một vài nhà vật lý đang hoạt động chuyên về các phép đo chính xác cực cao. Họ giữ một đối tượng vật chất ở Paris, đó là kilogram chuẩn, một khối trụ chế tạo từ hợp kim platinum-iridium. Các bản sao được đối chiếu với mẫu kilogram mẹ này bằng cách đặt bản gốc và bản sao trên hai đĩa của một cái cân. Mặc dù phương pháp so sánh này phụ thuộc vào lực hấp dẫn, nhưng vấn đề đi cùng với sự chênh lệch lực

hấp dẫn ở các vị trí địa lí khác nhau bị loại trừ, vì hai vật được đưa vào so sánh tại cùng một nơi. Các bản sao khi đó có thể mang khối căn hàm đặt kilogram chuẩn ở Paris và chuyển đến mọi nơi trên thế giới.

## Kết hợp của các đơn vị hệ mét

Hầu như bất cứ thứ gì bạn muốn đo đều có thể đo với một số kết hợp của mét, kilogram và giây. Vận tốc có thể đo là m/s, thể tích là  $m^3$ , và mật độ là  $kg/m^3$ . Một phần của cái làm cho hệ SI vĩ đại là tính đơn giản cơ bản này. Không hề có các đơn vị ngô nghê như cord gỗ, cây vải hay ly whiskey. Không có số đo lỏng và khô. Đúng là một bộ đơn vị đơn giản, nhất quán. Các số đo SI đặt lại với nhau từ mét, kilogram, và giây tạo thành hệ mks. Ví dụ, đơn vị mks của vận tốc là m/s, chứ không phải km/h.

© A. Isaac Newton từng viết: "... các ngày tự nhiên thật sự không bằng nhau, dù cho chúng thường được xem là bằng nhau, và được dùng làm một số đo thời gian... Có lẽ không có thứ gì là chuyển động đều như thế, nhờ đó thời gian có thể được đo chính xác. Mọi chuyển động có thể được gia tốc hay giảm tốc..." Newton đã đúng. Ngay cả định nghĩa hiện đại của giây dưới dạng ánh sáng phát ra bởi các nguyên tử cesium cũng dần biến đổi. Chẳng hạn, từ trường có thể làm cho các nguyên tử cesium phát ra ánh sáng với tốc độ dao động hơi khác. Dầu vậy, cái làm cho chúng ta suy nghĩ là chiếc đồng hồ quả lắc chính xác hơn đồng hồ Mặt trời, hay nguyên tử cesium là bộ định thời gian chính xác hơn so với đồng hồ quả lắc? Nghĩa là, làm thế nào người ta có thể kiểm tra bằng thực nghiệm mức độ chính xác của các chuẩn thời gian so với nhau?

## 0.6 Newton, đơn vị hệ mét của lực

Một lực là đẩy hoặc hút, hay tổng quát hơn là thứ gì đó có thể làm thay đổi tốc độ hay hướng chuyển động của một vật. Một lực là cần thiết để làm một chiếc xe hơi chuyển động, để làm chậm lại một vận động viên bóng chày trượt trên nền nhà, hay làm cho một chiếc máy bay đổi hướng. (Các lực có thể thất bại trước việc làm thay đổi chuyển động của một vật nếu chúng bị triệt tiêu bởi những lực khác, ví dụ lực hấp dẫn hút bạn xuống phía dưới ngay lúc này bị triệt tiêu bởi lực của ghế đẩy bạn lên) Đơn vị hệ mét của lực là newton, được định nghĩa là lực mà, nếu tác dụng trong một giây, sẽ làm cho một vật khối lượng 1 kilogram bắt đầu từ trạng thái nghỉ đạt tới vận tốc 1 m/s. Các chương sau sẽ nói về khái niệm lực chi tiết hơn. Thật vậy, toàn bộ cuốn sách này là nói về mối quan hệ giữa lực và chuyển động.

Trong phần 0.5, tôi đã cung cấp một định nghĩa theo hấp dẫn của khối lượng, nhưng bằng việc định nghĩa cỡ số của lực, chúng ta còn có thể chuyển hướng và có thể định nghĩa khối lượng mà không cần tham chiếu tới lực hấp dẫn. Ví dụ, nếu một lực hai newton là cần thiết để gia tốc một vật nhất định từ nghỉ lên vận tốc 1 m/s trong 1 s, thì vật đó phải có khối lượng 1 kg. Từ quan điểm này, khối lượng đặc trưng cho mức cản trở của một vật với sự thay đổi chuyển động của nó, cái chúng ta gọi là quán tính, hay khối lượng quán tính. Mặc dù không có nguyên nhân cơ bản nào lí giải tại sao mức cản trở của một vật với sự thay đổi chuyển động của nó phải liên hệ với mức độ mạnh mà lực hấp dẫn tác dụng lên nó, nhưng các thí nghiệm cẩn thận và chính xác cho thấy rằng định nghĩa quán tính và định nghĩa hấp dẫn của khối lượng phù hợp cao độ đối với nhiều vật đa dạng. Do đó, đối với bất kì mục đích thực tiễn nào, chuyên người ta thừa nhận định nghĩa nào thật chẳng quan trọng.

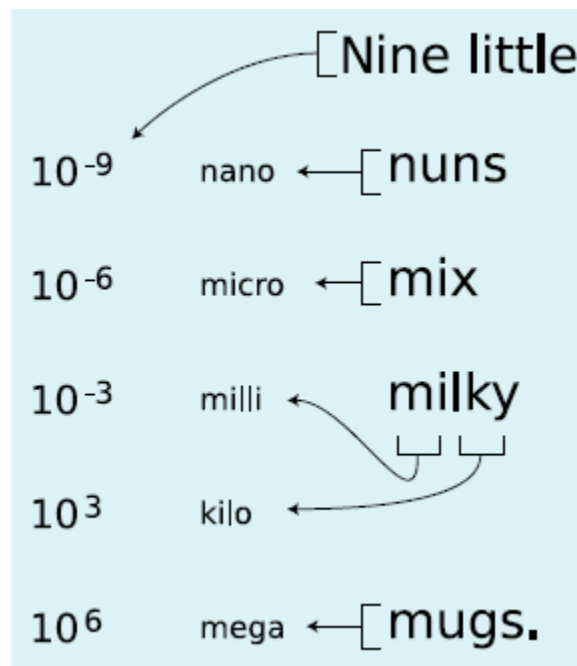
☺ A. Trải qua thời gian lâu trong trạng thái phi trọng lực thật không tốt cho sức khỏe. Một trong những hiệu ứng tiêu cực quan trọng nhất mà nhà du hành phải chịu là sự mất khối lượng cơ và xương. Vì một cái cân bình thường sẽ không hoạt động đối với một nhà du hành trên quỹ đạo, nên đây là phương pháp khả dĩ nhằm theo dõi sự thay đổi này ở khối lượng ? (Việc đo thất lưng hay bắp tay của nhà du hành với một miếng băng đo thật không đủ tốt, vì nó không cho biết chút nào về khối lượng xương, hay về sự thay thế cơ với mỡ)

## 0.7 Các tiếp đầu ngữ hệ mét kém thông dụng hơn

Sau đây là ba tiếp đầu ngữ hệ mét, trong khi không thông dụng như ba tiếp đầu ngữ đã nói ở phần trước, nhưng cũng đáng giá để ghi nhớ.

Tiếp đầu ngữ	Ý nghĩa	Ví dụ
mega-	M $10^6$	6,4 Mm = bán kính Trái đất
micro-	$\mu$ $10^{-6}$	10 $\mu$ m = kích thước một tế bào bạch cầu
nano-	n $10^{-9}$	0,154 nm = khoảng cách giữa các hạt nhân cacbon trong phân tử ethane

Lưu ý chữ viết tắt cho micro là kí tự Hi Lạp mu,  $\mu$  - một sai lầm thường mắc phải vì nhầm nó với m (mili) hay M (mega).



g/ Đây là một bản nhớ để giúp bạn ghi nhớ những tiếp đầu ngữ hệ mét quan trọng nhất. Từ “little” là để nhắc bạn rằng danh sách bắt đầu với các tiếp đầu ngữ sử dụng cho những đại lượng nhỏ và xây dựng dần lên. Số mũ biến đổi lên 3, ngoại trừ tất nhiên là chúng ta không cần tiếp đầu ngữ cho  $10^0$ , nó bằng 1.

Còn có những tiếp đầu ngữ khác kém thông dụng hơn, dùng cho những đại lượng cực lớn và cực nhỏ. Ví dụ, 1 femto mét =  $10^{-15}$  m là đơn vị tiện dụng của khoảng cách trong vật lí hạt nhân, và 1 gigabyte =  $10^9$  byte được dùng cho ổ đĩa cứng của máy vi tính. Ủy ban quốc tế ra quyết định về hệ SI mới đây đã thêm một số tiếp đầu ngữ mới nghe như khôì hài, ví dụ 1 yoctogram =  $10^{-24}$  g là khoảng phân nửa khối lượng của một proton. Tuy nhiên, trong tương lai

trước mắt, không chắc bạn trông thấy các tiếp đầu ngữ như “yocto-” và “zepto-” được sử dụng, ngoại trừ có lẽ trong những cuộc tranh luận tầm phào trong hội nghị khoa học viễn tưởng hay các truyện viễn vông khác.

☺ Giả sử bạn có thể làm chậm thời gian lại sao cho theo cảm nhận của bạn, một chùm ánh sáng sẽ chuyển động qua phòng ở tốc độ đi bộ chậm. Nếu bạn cảm nhận một nano giây như thể nó là một giây, thì bạn sẽ cảm nhận một micro giây như thế nào ?

## 0.8 Kí hiệu khoa học

Đa số các hiện tượng lí thú xảy ra trong vũ trụ của chúng ta không thuộc quy mô con người. Cần đến khoảng 1.000.000.000.000.000.000.000 vì khuẩn để bằng với khối lượng cơ thể của một người. Khi nhà vật lí Thomas Young phát hiện ra ánh sáng là sóng, quay trở lại những ngày xưa tột tệ trước khi có kí hiệu khoa học, và ông đã bắt buộc viết rằng thời gian cần thiết cho một dao động của sóng là 1/500 của một phần triệu của một phần triệu của một giây. Kí hiệu khoa học là một phương pháp ít rối rắm hơn để viết những con số rất lớn và rất nhỏ giống như thế này. Đây là một cách đánh giá nhanh.

Kí hiệu khoa học có nghĩa là biểu diễn một con số dưới dạng tích của một con số từ 1 đến 10 và một con số khác là lũy thừa của 10. Ví dụ

$$\begin{aligned}32 &= 3,2 \times 10^1 \\320 &= 3,2 \times 10^2 \\3200 &= 3,2 \times 10^3 \dots\end{aligned}$$

Mỗi số lớn hơn số trước đó 10 lần.

Vì  $10^1$  nhỏ hơn  $10^2$  10 lần, nên cần nhớ là sử dụng kí hiệu  $10^0$  biểu diễn cho 1, số này thành ra nhỏ hơn  $10^1$  10 lần. Tiếp tục như thế, chúng ta có thể viết  $10^{-1}$  cho 0,1, con số nhỏ hơn  $10^0$  10 lần. Các số mũ âm được dùng cho những con số nhỏ:

$$\begin{aligned}3,2 &= 3,2 \times 10^0 \\0,32 &= 3,2 \times 10^{-1} \\0,032 &= 3,2 \times 10^{-2} \dots\end{aligned}$$

Một nguyên nhân chính thường gây lộn xộn là kí hiệu dùng cho hiển thị của nhiều máy tính bỏ túi. Ví dụ:

$3,2 \times 10^6$	(kí hiệu được ghi)
$3,2E+6$	(kí hiệu trên một số máy tính bỏ túi)
$3,2^6$	(kí hiệu trên một số máy tính bỏ túi khác)

Kí hiệu sau cùng phần nào dễ gây nhầm lẫn, vì  $3,2^6$  thật ra là kí hiệu cho con số  $3,2 \times 3,2 \times 3,2 \times 3,2 \times 3,2 \times 3,2 = 1074$ , một con số hoàn toàn khác với  $3,2 \times 10^6 = 3200000$ . Kí hiệu trên máy tính bỏ túi không bao giờ được sử dụng trong ghi chép. Nó chỉ là một cách cho nhà sản xuất tiết kiệm chi phí bằng cách chế tạo màn hiển thị đơn giản hơn.



☺ Một học sinh học được rằng  $10^4$  vi khuẩn, sắp thẳng hàng để ghi danh vào lớp học tại trường Cao đẳng Cộng đồng Paramecium, sẽ hình thành một hàng kích thước như thế này:



Người học sinh đó kết luận rằng  $10^2$  vi khuẩn sẽ hình thành một đường có chiều dài như thế này:



Tại sao người học sinh đó không đúng ?

## 0.9 Chuyển đổi đơn vị

Tôi khuyên các bạn không nên học thuộc quá nhiều hệ số chuyển đổi giữa hệ SI và hệ đo lường Mỹ. Giả sử nước Mỹ đưa máy bay trực thăng của mình đến xâm chiếm California (xét cho cùng ai mà chẳng muốn sống ở đây thay vì New York ?), và đưa florua vào nước và hệ SI, làm cho việc sử dụng inch và pound là một vi phạm có thể bị phạt tử hình. Tôi nghĩ bạn có thể làm điều đó với chỉ hai bởi hai hệ số chuyển đổi cần nhớ:

$$1 \text{ inch} = 2,54 \text{ cm}$$

Một vật có trọng lượng trên Trái đất 2,2 pound-lực có khối lượng là 1 kg.

Biểu thức thứ nhất là định nghĩa hiện nay của inch, cho nên nó chính xác. Phát biểu thứ hai thì không chính xác, nhưng nó đủ tốt cho đa số mục đích sử dụng. (Hệ đơn vị Mỹ của lực và khối lượng thật rắc rối, nên điều tốt nhất là chúng không được sử dụng trong khoa học. Trong hệ đo lường Mỹ, đơn vị của lực là pound-lực, và đơn vị tốt nhất sử dụng cho khối lượng là slug, nó khoảng 14,6 kg).

Quan trọng hơn việc học thuộc các hệ số chuyển đổi là hiểu cho đúng phương pháp thực hiện chuyển đổi. Cả trong hệ SI, bạn có thể cần phải đổi, ví dụ, từ gram sang kilogram. Những người khác nhau có những cách khác nhau nghĩ về sự chuyển đổi, nhưng phương pháp tôi mô tả ở đây mang tính hệ thống và dễ hiểu. Ý tưởng là nếu như 1 kg và 1000 g biểu diễn cho cùng một khối lượng, thì chúng ta có thể xem một phân số kiểu như

$$\frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

là một cách biểu diễn số 1. Điều này có thể làm bạn lo lắng. Chẳng hạn, nếu bạn gõ 1000/1 vào máy tính bỏ túi của mình, bạn sẽ nhận được 1000, chứ không phải 1. Một lần nữa, những người khác nhau có những cách khác nhau nghĩ về nó, nhưng lí lẽ là ở chỗ nó giúp chúng ta thực hiện chuyển đổi, và nó hoạt động được ! Bây giờ, nếu chúng ta muốn đổi 0,7 kg sang đơn vị gram, chúng ta có thể nhân kg với số 1

$$0,7 \text{ kg} \quad \times \quad \frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

Nếu bạn xem các kí hiệu như “kg” như thể chúng là các biến dùng trong đại số, khi đó bạn có thể đơn giản kg trên tử với kg dưới mẫu, thu được



$$0,7 \text{ kg} \times \frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 700 \text{ g}$$

Để đổi gram sang kg, bạn chỉ việc lật phân số ở trên ngược lại.

Một lợi thế của phương pháp này là nó có thể dễ dàng áp dụng cho một loạt chuyển đổi. Ví dụ, đổi một năm ra giây

$$1 \text{ năm} \times \frac{365 \text{ ngày}}{1 \text{ năm}} \times \frac{24 \text{ giờ}}{1 \text{ ngày}} \times \frac{60 \text{ phút}}{1 \text{ giờ}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ phút}} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ s}$$

## Số mũ phải dương hay âm ?

Một sai lầm thường gặp là viết phân số chuyển đổi không đúng. Chẳng hạn, phân số

$$\frac{10^3 \text{ kg}}{1 \text{ g}} \quad (\text{không đúng})$$

không bằng 1, vì  $10^3 \text{ kg}$  là khối lượng của một chiếc xe hơi, còn  $1 \text{ g}$  là khối lượng của một quả nho khô. Một cách đúng thiết đặt hệ số chuyển đổi là

$$\frac{10^{-3} \text{ kg}}{1 \text{ g}} \quad (\text{đúng})$$

Bạn có thể thường phát hiện ra lỗi như thế nếu bạn bỏ thời gian kiểm tra câu trả lời của bạn và xem nó có hợp lí hay không.

Nếu như khả năng phán đoán thông thường không chỉ ra được số mũ dương hay âm, đây là một cách nữa đảm bảo bạn chuyển đổi đúng. Có những tiếp đầu ngữ lớn và những tiếp đầu ngữ nhỏ:

Tiếp đầu ngữ lớn:     k        M

Tiếp đầu ngữ nhỏ:     m        μ        n

(Không khó gì việc xếp thẳng hàng tiếp đầu ngữ này với tiếp đầu ngữ kia, vì “mega” và “micro” đều có tính liên tưởng, và thật dễ nhớ là 1 km thì lớn hơn 1 m, và 1 mm thì nhỏ hơn) Trong ví dụ ở trên, chúng ta muốn tử của phân số bằng với mẫu số. Vì k là một tiếp đầu ngữ lớn, nên chúng ta cần *bù lại* bằng một số nhỏ như  $10^{-3}$  ở phía trước nó, chứ không phải một con số lớn như  $10^3$ .

☺ A. Mỗi phép đổi đơn vị sau đây có một sai sót. Trong từng trường hợp, hãy giải thích sai sót đó là gì.

(a)  $1000 \text{ kg} \times (1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}) = 1 \text{ g}$

(b)  $50 \text{ m} \times (1 \text{ cm} / 100 \text{ m}) = 0,5 \text{ cm}$

(c) “Nano” là  $10^{-9}$ , nên có  $10^{-9} \text{ nm}$  trong 1 m

(d) “Micro” là  $10^{-6}$ , nên 1 kg là  $10^6 \mu\text{g}$

## 0.10 Những con số có nghĩa

Một người kĩ sư đang thiết kế một động cơ xe hơi, và ông được biết rằng đường kính của piston (nó được một người khác thiết kế) là 5 cm. Anh ta biết rằng kẻ hồ 0,02 cm là cần thiết cho

một piston có kích cỡ này, nên anh ta thiết kế xilanh có đường kính trong 5,04 cm. May thay, người giám sát của anh ta phát hiện ra sai lầm của anh trước khi chiếc xe đi vào sản xuất. Bà giải thích cho anh sai sót của anh, và về mặt tinh thần đã đưa anh vào loại “không có khả năng thăng tiến”.

Đâu là sai sót của anh kỹ sư ? Người cho anh ta biết piston có đường kính 5 cm là đã có kinh nghiệm với phương pháp chữ số có nghĩa, giống như bà chủ của anh, người giải thích với anh rằng anh cần xem xét lại và tính toán một con số tốt hơn cho đường kính của piston. Người đó nói “5 cm” chứ không phải “5,00 cm” rõ ràng để tránh ấn tượng là con số đó cực kỳ chính xác. Trên thực tế, đường kính piston là 5,13 cm. Chúng không bao giờ lắp vừa trong một xilanh đường kính 5,04 cm.

Số chữ số của độ chính xác ở một con số được quy là số chữ số có nghĩa. Như trong ví dụ ở trên, số chữ số có nghĩa mang lại một cách biểu diễn độ chính xác của một con số. Trong đa số trường hợp, kết quả của một phép tính bao gồm vài mẫu số liệu có thể không chính xác hơn mẫu số liệu chính xác kém nhất trong đó. Nói cách khác, “vào tạp nham thì ra rác”. Vì đường kính 5 cm của piston là không chính xác lắm, nên kết quả tính toán của người kỹ sư, 5,04 cm, thật ra không chính xác như anh ta nghĩ. Nói chung, kết quả của bạn không nên có nhiều chữ số có nghĩa hơn mẫu số liệu kém chính xác nhất mà bạn sử dụng khi bắt đầu tính toán. Phép tính ở trên phải được thực hiện như sau:

$$\begin{array}{ll} 5 \text{ cm} & (1 \text{ chữ số có nghĩa}) \\ + 0,04 \text{ cm} & (1 \text{ chữ số có nghĩa}) \\ = 5 \text{ cm} & (\text{làm tròn đến 1 chữ số có nghĩa}) \end{array}$$

Thật ra kết quả cuối cùng chỉ có một chữ số có nghĩa khi đó nhắc bạn lưu ý đến thực tế là kết quả đó không chính xác lắm, và nó không thích hợp cho sử dụng thiết kế động cơ.

Lưu ý là những con số 0 đứng đầu trong số 0,04 không được đếm là chữ số có nghĩa, vì chúng chỉ là cái chỉ bậc độ lớn. Mặt khác, một con số như 50 cm là lưỡng nghĩa – số 0 có thể xem là một chữ số có nghĩa, hoặc nó có mặt ở đó chỉ là để chỉ bậc độ lớn. Sự nhập nhằng liên quan đến chuỗi số 0 có thể tránh được bằng cách sử dụng kí hiệu khoa học, theo đó  $5 \times 10^1$  cm ngụ ý một chữ số có nghĩa chính xác, còn  $5,0 \times 10^1$  cm sẽ ngụ ý hai chữ số có nghĩa.

© Trích dẫn sau đây lấy từ một bài xã luận của Norimitsu Onishi trên tờ New York Times, ngày 18/8/2002:

Xét trường hợp Nigeria. Mọi người đồng ý đây là quốc gia đông dân nhất châu Phi. Nhưng dân số nước này là bao nhiêu ? Liên hợp quốc nói 114 triệu; Bộ Ngoại giao Mỹ nói 120 triệu. Ngân hàng thế giới nói 126,9 triệu, còn Cục Tình báo trung ương cho nó là 126.635.626.

Cái gì khiến bạn ái ngại về những con số này ?

Xử lý đúng số chữ số có nghĩa có thể tiết kiệm thời gian cho bạn! Thông thường, học sinh hay chép những con số từ máy tính bỏ túi của mình với tám chữ số có nghĩa của độ chính xác, rồi nhập chúng trở lại cho phép tính tiếp theo. Đó là một sự lãng phí thời gian, trừ khi số liệu ban đầu của bạn có độ chính xác đến khó tin đó.

Quy tắc về số chữ số có nghĩa chỉ là những quy tắc sách vở, và không phải là cái thay thế cho sự suy nghĩ thận trọng. Ví dụ,  $\$20,00 + \$0,05$  là  $\$20,05$ . Không cần thiết và không nên làm tròn là  $\$20$ . Nói chung, quy tắc số chữ số có nghĩa hoạt động tốt nhất cho phép nhân và phép chia, và chúng ta còn áp dụng chúng khi thực hiện một phép tính phức tạp bao hàm nhiều loại toán tử. Đối với phép cộng và phép trừ đơn giản, cần chú ý hơn tới việc giữ số chữ số không đổi sau dấu thập phân.

Khi còn mơ hồ, tốt nhất đừng sử dụng quy tắc số chữ số có nghĩa. Thay vì vậy, hãy cố ý thay đổi một mẫu số liệu ban đầu của bạn bằng lượng tối đa mà bởi đó bạn nghĩ nó có thể không còn, và tính lại kết quả cuối cùng. Các chữ số ở cuối hoàn toàn ngẫu nhiên là không có nghĩa, và nên bỏ qua.

☺ Có bao nhiêu số chữ số có nghĩa trong từng số đo sau đây ?

- (a) 9,937 m
- (b) 4,0 s
- (c) 0,0000000000000037 g

## Tóm tắt chương

### Từ khóa chọn lọc

vật chất .....	bất kì thứ gì bị tác dụng bởi lực hấp dẫn
ánh sáng .....	bất kì thứ gì có thể truyền từ nơi này đến nơi khác qua không gian trống rỗng và có thể tác dụng lên vật chất, nhưng không bị tác dụng bởi lực hấp dẫn
định nghĩa hoạt động .....	định nghĩa phát biểu những hoạt động nào phải được tiến hành để đo cái được định nghĩa
hệ đơn vị quốc tế .....	một tên gọi khác cho hệ mét
hệ mks .....	sử dụng các đơn vị hệ mét dựa trên mét, kilogram và giây. Ví dụ, đơn vị mks của vận tốc là m/s, chứ không phải cm/s hay km/h
khối lượng .....	số đo bằng số mức độ khó làm thay đổi chuyển động của một vật
chữ số có nghĩa .....	các chữ số góp phần vào độ chính xác của phép đo

### Kí hiệu

m .....	mét, đơn vị hệ mét của khoảng cách
kg .....	kilogram, đơn vị hệ mét của khối lượng
s .....	giây, đơn vị hệ mét của thời gian
M- .....	tiếp đầu ngữ hệ mét mega, $10^6$

k ..... tiếp đầu ngữ hệ mét kilo,  $10^3$   
 m ..... tiếp đầu ngữ hệ mét mili,  $10^{-3}$   
 $\mu$  ..... tiếp đầu ngữ hệ mét micro,  $10^{-6}$   
 n ..... tiếp đầu ngữ hệ mét nano,  $10^{-9}$

## Tóm tắt

Vật lí học là sử dụng phương pháp khoa học để nghiên cứu hành vi của ánh sáng và vật chất. Phương pháp khoa học yêu cầu một chu trình của lí thuyết và thực nghiệm, các lí thuyết vừa có giá trị tiên đoán vừa có giá trị giải thích, và các thí nghiệm có thể lặp lại được.

Hệ mét là một khuôn khổ đơn giản, thích hợp cho đo lường xây dựng từ mét, kilogram, và giây, cộng với một bộ tiếp đầu ngữ biểu thị số mũ của 10. Phương pháp mang tính hệ thống nhất dùng chuyển đổi đơn vị được trình bày trong ví dụ sau:

$$370 \text{ ms} \times \frac{10^{-3} \text{ s}}{1 \text{ ms}} = 0,37 \text{ s}$$

Khối lượng là số đo lượng chất. Khối lượng có thể định nghĩa bằng tương tác hấp dẫn, bằng cách so sánh một vật với khối lượng chuẩn trên một cái cân hai đĩa, hoặc dưới dạng quán tính, bằng cách so sánh tác dụng của lực lên một vật với tác dụng của lực đó lên khối lượng chuẩn. Hai định nghĩa được tìm thấy trong thực nghiệm là tương xứng với nhau với mức độ chính xác cao, nên chúng ta thường đơn giản nói là khối lượng, mà không phải bận tâm là thuộc loại nào.

Lực là cái có thể làm thay đổi chuyển động của một vật. Đơn vị hệ mét của lực là newton, được định nghĩa là lực cần thiết để gia tốc một khối lượng chuẩn 1 kg từ trạng thái nghỉ lên vận tốc 1 m/s trong 1 s.

Kí hiệu khoa học nghĩa là, ví dụ, viết  $3,2 \times 10^5$  thay cho 320 000.

Việc trình bày các con số với số chữ số có nghĩa phù hợp cho biết mức độ chính xác của chúng. Là một nguyên tắc chỉ dẫn, kết quả cuối cùng của một phép tính không chính xác hơn, và không có số chữ số có nghĩa nhiều hơn, mẫu dữ liệu kém chính xác nhất ban đầu.

## Bài tập

1. Sử dụng chính xác máy tính bỏ túi.

(a) Tính  $74658/(53222 + 97554)$  trên máy tính bỏ túi.

(b) Con số nào biểu thị giá của một cái ti vi, và con số nào nghe như giá của một căn nhà,  $\$3,5 \times 10^5$  hay  $3,5^5$  ?

2. Hãy tính những thứ sau. Nếu chúng không có ý nghĩa vì lí do đơn vị, hãy giải thích.

(a)  $3 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$

- (b)  $1,11 \text{ m} + 22 \text{ cm}$
- (c)  $120 \text{ dặm} + 2,0 \text{ giờ}$
- (d)  $120 \text{ dặm} / 2,0 \text{ giờ}$

3. Sân sau nhà bạn có tường gạch ở cả hai đầu. Bạn đo được khoảng cách  $23,4 \text{ m}$  từ phần bên trong bức tường này sang phần bên trong bức tường kia. Mỗi bức tường dày  $29,4 \text{ cm}$ . Hỏi khoảng cách từ bên ngoài bức tường này sang bên ngoài bức tường kia bằng bao nhiêu ? Nhớ lưu ý số chữ số có nghĩa.

4. Vận tốc của ánh sáng là  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Hãy đổi giá trị này sang đơn vị furlong trên fortnight. Một furlong là  $220 \text{ yard}$  và một fortnight là  $14 \text{ ngày}$ . Một inch là  $2,54 \text{ cm}$ .

5. Biểu diễn mỗi đại lượng sau đây theo đơn vị microgram:

- (a)  $10 \text{ mg}$ , (b)  $10^4 \text{ g}$ , (c)  $10 \text{ kg}$ , (d)  $100 \times 10^3 \text{ g}$ , (e)  $1000 \text{ ng}$

6. Đổi  $134 \text{ mg}$  sang đơn vị  $\text{kg}$ , viết câu trả lời của bạn theo kí hiệu khoa học

7. Trong thế kỉ vừa qua, tuổi bình quân bắt đầu dậy thì đối với nữ đã giảm đi  $7 \text{ tuổi}$ . Lối sống đô thị có nguyên do đây là vì các hormone do thịt gia súc cung cấp, nhưng có khả năng hơn là vì những cô gái hiện đại tính trung bình có nhiều chất béo cơ thể hơn và có khả năng vì những hóa chất giả estrogen trong môi trường từ sự phân hủy của thuốc trừ sâu. Một cái hamburger làm từ thịt bò nhiễm hormone có khoảng  $0,2 \text{ ng}$  estrogen (chừng gấp đôi so với trong thịt bò tự nhiên). Một bọ đậu chứa khoảng  $300 \text{ ng}$  estrogen. Một người phụ nữ trưởng thành sản sinh khoảng  $0,5 \text{ mg}$  estrogen mỗi ngày (lưu ý khác đơn vị!)

(a) Hỏi một người con gái phải ăn bao nhiêu cái hamburger mỗi ngày để tiêu thụ nhiều estrogen như sức sản sinh hàng ngày của một người phụ nữ trưởng thành ?

(b) Giá trị đó tương ứng với bao nhiêu bọ đậu ?

8. Định nghĩa bình thường của trị trung bình của hai số  $a$  và  $b$  là  $(a + b)/2$ . Đây được gọi là trị trung bình số học. Tuy nhiên, trị trung bình hình học được định nghĩa là  $(ab)^{1/2}$  (tức là căn bậc hai của  $ab$ ). Nhằm mục đích làm cho sáng tỏ, hãy giả sử cả hai số có đơn vị của khối lượng.

(a) Tính trị trung bình số học của hai số có đơn vị gram. Sau đó, đổi hai số ra đơn vị  $\text{kg}$  và tính lại trị trung bình của chúng. Câu trả lời có nhất quán không ?

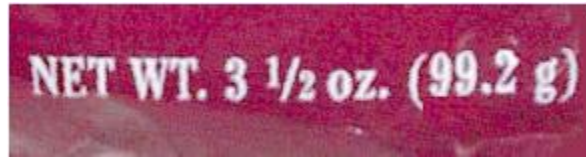
(b) Làm yêu cầu tương tự đối với trị trung bình hình học.

(c) Nếu  $a$  và  $b$  đều có đơn vị gram, thì chúng ta sẽ có đơn vị của  $ab$  là gì ? Câu trả lời của bạn có ý nghĩa gì không khi bạn lấy căn bậc hai ?

(d) Giả sử một ai đó đề xuất với bạn một loại trị trung bình thứ ba, gọi là trị trung bình siêu lừa bịp, được định nghĩa là  $(ab)^{1/3}$ . Hỏi như vậy có hợp lí hay không ?

9. Trong một bài báo về dịch bệnh SARS, ngày 7/5/2003, tờ New York Times bàn về những ước tính mâu thuẫn nhau của thời kì ủ bệnh (thời gian trung bình trôi qua từ sự nhiễm cho tới triệu chứng đầu tiên). “Nghiên cứu ước tính đó là  $6,4 \text{ ngày}$ . Nhưng những tính toán thống kê khác... cho thấy thời kì ủ bệnh có thể kéo dài cỡ  $14,22 \text{ ngày}$ ”. Hỏi cái gì đã sai sót ở đây ?

10. Hình bên dưới cho thấy một góc của túi bánh quy. Hỏi cái gì sai ở đây ?



11. Khoảng cách đến đường chân trời được cho bởi biểu thức  $\sqrt{2rh}$ , trong đó  $r$  là bán kính của Trái đất, và  $h$  là chiều cao của người quan sát đứng trên bề mặt Trái đất. (Biểu thức này có thể chứng minh bằng định lý Pythagore) Hãy chỉ ra rằng đơn vị của biểu thức này là có ý nghĩa.



Cuộc sống sẽ rất khác đi nếu như bạn có kích thước của một con côn trùng

## Chương 1

### Ước tính quy mô và bậc độ lớn

#### 1.1 Giới thiệu

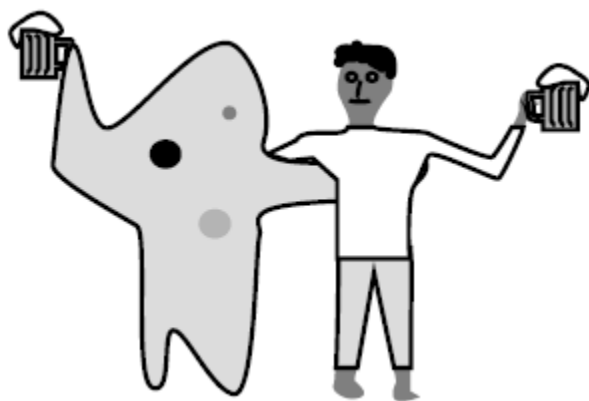
Tại sao một con côn trùng không thể có kích thước của một con chó ? Một số tế bào gây trở ra trong dây sống của bạn cao một mét – tại sao tự nhiên biểu hiện không có đơn tế bào nào không chỉ cao một mét, mà còn rộng một mét, và dày một mét ? Cho dù có tin hay không thì những câu hỏi này có thể trả lời dễ dàng mà không cần biết về vật lí nhiều hơn bạn. Kỹ thuật toán học duy nhất bạn thật sự cần đến là phép biến đổi xoàng xĩnh, áp dụng cho diện tích và thể tích.

#### Diện tích và thể tích

Diện tích có thể định nghĩa bằng cách nói rằng chúng ta có thể chép lại hình dạng thấy thích lên một tờ giấy kẻ ô li 1 cm x 1 cm và đếm số ô bên trong nó. Các phần lẻ của ô li có thể ước lượng bằng mắt. Khi đó, chúng ta có thể nói diện tích bằng với số ô li, theo đơn vị cm vuông. Mặc dù điều này nghe có vẻ kém “thuần khiết” hơn việc tính diện tích bằng các công thức đại



loại như  $A = \pi r^2$  cho hình tròn hay  $A = \omega h/2$  cho tam giác, những công thức đó không có ích khi định nghĩa diện tích vì chúng không thể áp dụng cho những diện tích hình không đều đặn.



a/ Con amip kích cỡ như thế này thật hiếm gặp

Đơn vị cm vuông được viết thông dụng hơn là  $\text{cm}^2$  trong khoa học. Tất nhiên, đơn vị của số đo viết tắt bằng “cm” không phải là một kí hiệu đại số biểu diễn một con số có thể tự nhân theo nghĩa đen. Nhưng thật tiện lợi khi viết các đơn vị của diện tích theo cách đó và xem đơn vị như thể chúng là những kí hiệu đại số. Chẳng hạn, nếu bạn có một tam giác với diện tích  $6 \text{ m}^2$  và chiều rộng 2 m, thì việc tính chiều cao của nó là  $(6 \text{ m}^2) / (2 \text{ m}) = 3 \text{ m}$  cho kết quả có ý nghĩa cả về mặt số học lẫn đơn vị. Việc xem xét kiểu đại số này của đơn vị còn đảm bảo cho phương pháp đổi đơn vị của chúng ta hoạt động chính xác. Ví dụ, nếu chúng ta đồng ý phân số

$$\frac{100\text{cm}}{1\text{m}}$$

là một cách viết đúng của số một, thì một nhân với một bằng một, nên chúng ta còn nói một có thể biểu diễn bằng

$$\frac{100\text{cm}}{1\text{m}} \times \frac{100\text{cm}}{1\text{m}}$$

hay tương đương

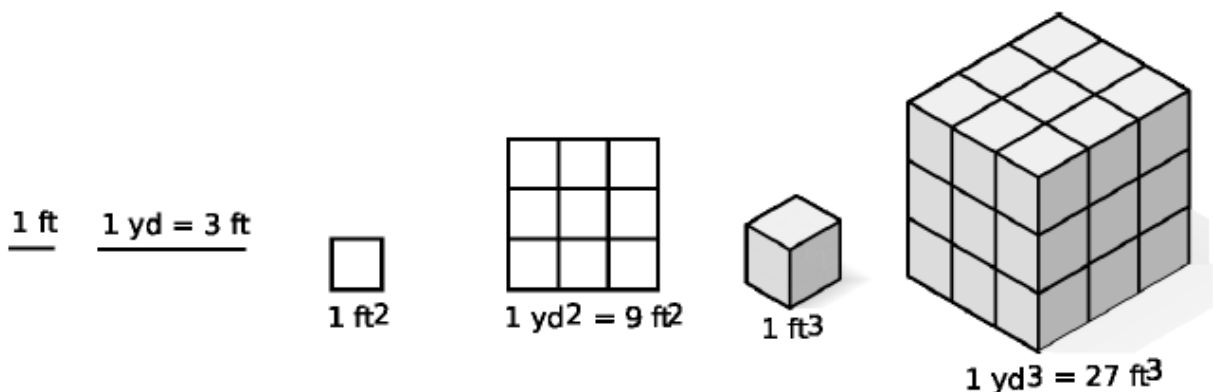
$$\frac{10000\text{cm}^2}{1\text{m}^2}$$

Điều đó có nghĩa là hệ số chuyển đổi từ mét vuông sang centimet vuông là  $10^4$ , tức là một mét vuông có  $10^4$  centimet vuông bên trong nó.

Toàn bộ những quy tắc trên cũng có thể áp dụng cho thể tích, sử dụng đơn vị centimet khối thay cho các ô li trên giấy vẽ đồ thị.

Với nhiều người, hình như khó mà tin rằng một mét vuông bằng 10000 centimet vuông, hay một mét khối bằng một triệu centimet khối – họ nghĩ nó sẽ dễ hiểu hơn nếu có  $100 \text{ cm}^2$  trong  $1 \text{ m}^2$ , và  $100 \text{ cm}^3$  trong  $1 \text{ m}^3$ , nhưng điều đó không đúng. Các ví dụ trong hình b nhắm tới đưa ra

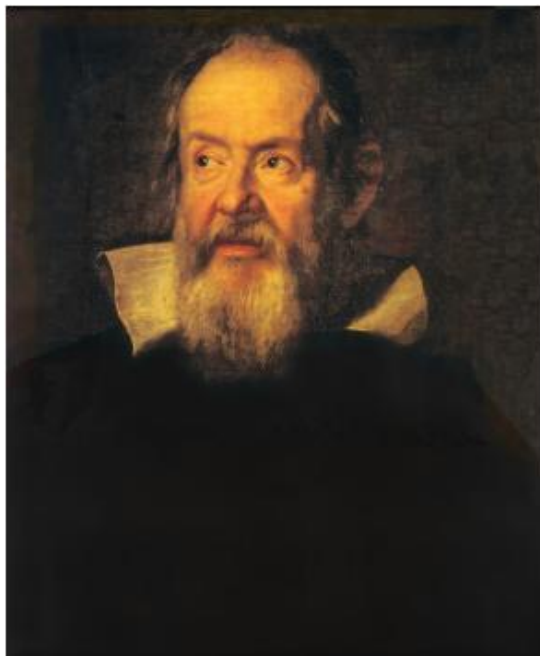
câu trả lời đúng dễ tin tưởng hơn, sử dụng các đơn vị foot và yard truyền thống của Mỹ (Một foot là 12 inch, và một yard là 3 foot).



b/ Minh họa việc đổi đơn vị diện tích và thể tích bằng các đơn vị truyền thống Mỹ

☺ Dựa trên hình b, hãy tự thuyết phục bạn rằng có  $9 \text{ ft}^2$  trong một yard vuông, và  $27 \text{ ft}^3$  trong một yard khối, sau đó chứng minh điều tương tự về mặt kí hiệu (tức là với phương pháp sử dụng phân số bằng một).

A. Có bao nhiêu  $\text{cm}^2$  trong một inch vuông ? ( $1 \text{ inch} = 2,54 \text{ cm}$ ) Trước hết, hãy tìm câu trả lời thích hợp bằng cách vẽ hình, sau đó xuất phát từ hệ số chuyển đổi chính xác hơn bằng phương pháp kí hiệu.



c/ Galileo Galilei (1564 – 1642) là một người Italy thời Phục hưng đã khai sinh phương pháp khoa học trong vật lí học, tạo ra phiên bản hiện đại của khoa học. Xuất thân từ một gia đình quý tộc nhưng rất nghèo, Galileo phải bỏ học trường y khoa tại Đại học Pisa khi ông cạn sạch tiền. Cuối cùng trở thành một giảng viên toán học tại ngôi trường đó, ông bắt đầu sự nghiệp một kẻ gây sự khét tiếng bằng việc viết một bài chế giễu các quy định của nhà trường – ông bị buộc thôi việc, nhưng tìm một vị trí giảng dạy mới tại Padua. Ông đã phát minh ra đồng hồ quả lắc, nghiên cứu chuyển động của vật rơi, và khám phá ra các vệ tinh của Mộc tinh. Sức mạnh của nghiên cứu của đời ông là làm mất uy tín nền vật lí học Aristotle bởi làm cho nó đương đầu với những thí nghiệm mâu thuẫn nhau, một chương trình lót đường cho khám phá của Newton ra mối liên hệ giữa lực và chuyển động. Trong chương 3 chúng ta sẽ đến với câu chuyện số phận tối hậu của Galileo trong bàn tay của Giáo hội.

## 1.2 Xác định diện tích và thể tích

*Những con bọ lớn có những con bọ nhỏ hơn  
Ở trên lưng của chúng cần xé  
Và những con bọ nhỏ còn có những con bọ nhỏ hơn nữa  
Và cứ thế vô hạn*

*Jonathan Swift*

Giờ thì những phép biến đổi này của diện tích và thể tích liên hệ như thế nào với những câu hỏi tôi đã đưa ra về kích thước của các vật sống? Vâng, giả sử bạn bị thu nhỏ giống như nhân vật Alice trong *Wonderland* bằng kích thước của một con côn trùng. Một cách nghĩ về sự thay đổi kích thước là cái thường nhìn là 1 cm giờ trông có lẽ là 1 m đối với bạn, vì bạn đã nhỏ hơn nhiều rồi. Nếu diện tích và thể tích chia theo trông đợi trực giác, không chính xác của đa số mọi người, với  $1 \text{ m}^2$  bằng với  $100 \text{ cm}^2$ , thì không có lý do gì khiến tự nhiên cư xử khác biệt đi ở kích thước mới, thu nhỏ của bạn. Nhưng tự nhiên thật sự hành xử khác đi lúc bạn thu nhỏ. Ví dụ, bạn sẽ nhận thấy mình có thể đi bộ trên nước, và nhảy lên gấp nhiều lần chiều cao của bạn. Nhà vật lý Galileo Galilei đã có cái nhìn cơ bản rằng sự chia tỉ lệ diện tích và thể tích xác định mức độ khác biệt mà các hiện tượng tự nhiên hành xử ở những cấp độ khác nhau. Trước tiên ông lí giải về các cấu trúc cơ giới, nhưng sau đó mở rộng cái nhìn của ông cho các vật sống, đưa ra quan điểm cấp tiến khi đó rằng ở mức độ cơ bản, một sinh vật sống sẽ tuân theo cùng các quy luật tự nhiên như một cỗ máy. Chúng ta sẽ lần theo sự chỉ dẫn của ông trước tiên bàn về máy móc và sau đó là các vật sống.

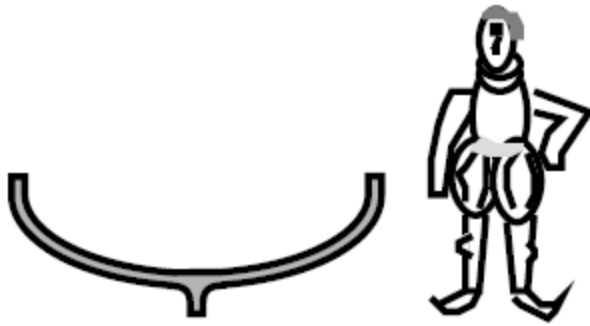
### Galileo bàn về hành vi của tự nhiên ở quy mô lớn và nhỏ

Một trong những mẫu tác phẩm khoa học nổi tiếng nhất thế giới là cuốn *Đối thoại* của Galileo bàn về hai nền khoa học mới. Galileo là một tác giả thú vị muốn giải thích mọi thứ rõ ràng với công chúng, và ông khởi động công việc của ông bằng cách lồng nó vào dưới dạng một câu chuyện đối thoại giữa ba người. Salviati thật ra là bản thân Galileo. Simplicio là nhân vật xuẩn ngốc, và một trong những nguyên nhân khiến Galileo gặp rắc rối với Giáo hội là có tin đồn rằng Simplicio là ám chỉ đức giáo hoàng. Sagredo là một người học trò thông minh, nghiêm túc, xem như độc giả đã nhận thức ra vấn đề. (Đoạn trích sau đây lấy từ bản dịch năm 1914 bởi Crew và de Salvio)

Sagredo: Vâng, đó là cái tôi muốn nói tới; và tôi đặc biệt thích điều khẳng định sau cùng của anh ta mà tôi luôn xem là sai...; cụ thể là khi nói về những cỗ máy này và những cỗ máy tương tự khác, người ta không thể biến hộ từ nhỏ thành lớn, vì nhiều dụng cụ thành công ở cấp độ nhỏ không hoạt động ở cấp độ lớn. Nay, vì cơ học có nền tảng của nó thuộc hình học, trong đó kích thước đơn thuần [là không quan trọng], tôi không thấy tính chất của hình tròn, hình tam giác, hình trụ, hình nón và những dáng vẻ chắc chắn khác sẽ thay đổi theo kích thước của chúng. Vì thế, nếu một cỗ máy lớn được chế tạo theo kiểu sao cho các bộ phận của nó gắn với những bộ phận khác cùng tỉ số như ở cỗ máy nhỏ hơn, và nếu cỗ máy nhỏ hơn đủ mạnh cho mục đích mà nó được thiết kế ra, tôi không thấy tại sao cỗ máy lớn hơn lại không thể trụ vững với những kiểm tra khắt khe và phá hoại mà nó phải chịu.

Salviati cãi lại Sagredo:

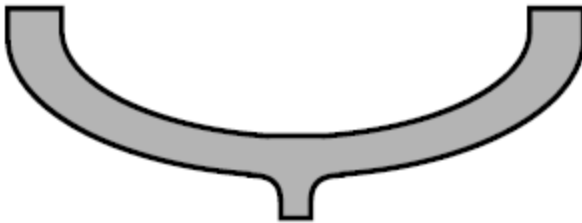
Salviati: ... Xin hãy quan sát, thưa quý ông, làm thế nào những sự thật ban đầu dường như không chắc sẽ, cho dù là giải thích vừa đủ thôi, làm rơi lớp áo phủ che giấu chúng và hiện trước mắt trần và đẹp đơn giản.



d/ Con thuyền nhỏ vừa đủ đứng vững



e/ Một con thuyền lớn hơn với cùng tỉ lệ như con thuyền nhỏ sẽ đổ ập xuống dưới sức nặng riêng của nó.



f/ Chiếc thuyền lớn cỡ này cần có các thanh xà gỗ dày hơn so với kích thước của nó

Ai mà chẳng biết một con ngựa rơi từ độ cao ba hay bốn cubit xuống sẽ bị gãy xương, còn một con chó rơi từ cùng độ cao đó hay một con mèo rơi từ độ cao tám hay mười cubit sẽ không bị chấn thương ? Sự vô hại như nhau sẽ là sự rơi của một con châu chấu từ trên một tòa tháp xuống, hay sự rơi của một con kiến từ khoảng cách Mặt trăng.

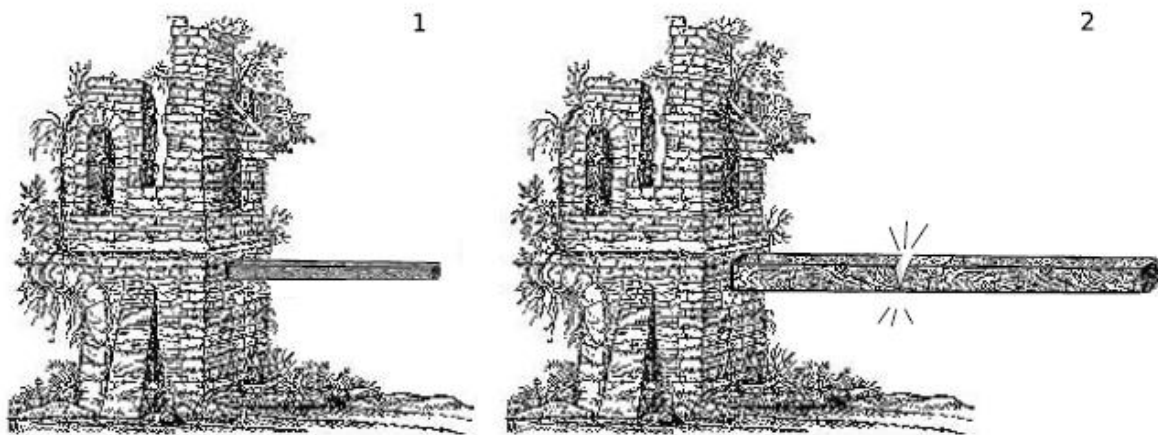
Ý kiến Galileo đưa ra ở đây là các vật nhỏ cần cứng cáp hơn ở tỉ lệ so với kích thước của chúng. Tuy nhiên, có rất nhiều đối tượng có thể gây nên. Sau hết thấy, cái thật sự có ý nghĩa làm cho cái gì đó là “mạnh”, là “mạnh ở tỉ lệ so với kích thước của nó”, hay là mạnh “ngoài tỉ lệ so với kích thước của nó” là gì ? Galileo không có những định nghĩa mang tính hoạt động của những thứ như “cường độ”, tức là các định nghĩa chỉ rõ làm thế nào đo lường chúng bằng số.

Ngoài ra, một con mèo có hình dạng khác với một con ngựa - ảnh phóng to của một con mèo sẽ không bị nhầm với con ngựa, cho dù là các chuyên gia chỉnh sửa ảnh ở Cục Kiểm định quốc gia làm cho nó giống hệt như có một người đang cười trên lưng của nó. Một con châu chấu còn không phải là một động vật có vú, và nó có bộ xương ngoài thay cho bộ xương trong. Toàn bộ lập luận sẽ thuyết phục hơn nhiều nếu chúng ta có thể tiến hành một số phép cô lập biến, một thuật ngữ khoa học có nghĩa là làm thay đổi chỉ một thứ tại một thời điểm, tách rời nó với các biến khác có thể có tác dụng. Nếu kích thước là một biến có tác dụng mà chúng ta đang xem xét, thì chúng ta thật sự không cần phải so sánh những thứ khác nhau về kích thước mà còn khác nhau ở những đại lượng khác.

Salviati: ... chúng tôi hỏi nguyên nhân vì sao [những người đóng tàu] sử dụng trụ đỡ, giàn giáo và thanh giằng có kích thước lớn để hạ thủy một con thuyền lớn so với việc họ làm đối với một con thuyền nhỏ; và [một ông già] trả lời rằng họ làm như vậy để tránh nguy hại cho các bộ hanaj của con tàu dưới sức nặng của riêng nó, một mối nguy hại mà những con thuyền nhỏ không phải chịu ?

Sau sự bắt đầu thú vị nhưng không chặt chẽ khoa học này, Galileo bắt đầu một số thứ quan trọng theo các tiêu chuẩn hiện đại. Ông đơn giản hóa mọi thứ bằng cách xét sức mạnh của một tấm ván gỗ. Các biến có liên quan khi đó có thể thu hẹp xuống gồm loại gỗ, chiều rộng, chiều dày và chiều dài. Ông còn đưa ra một định nghĩa hoạt động của cái có ý nghĩa cho tấm ván

có một sức mạnh nhất định “tỉ lệ với kích thước của nó” bằng cách đưa ra quan niệm tấm ván dài nhất sẽ không bị gãy tách dưới sức nặng riêng của nó nếu được chống đỡ ở một đầu. Nếu bạn tăng chiều dài của nó lên một lượng không đáng kể, không làm tăng chiều rộng hay chiều dày của nó, thì nó sẽ bị gãy. Ông nói nếu như một tấm ván có hình dạng giống như tấm ván kia nhưng có kích thước khác, có vẻ là ảnh chụp thu nhỏ hay phóng to của tấm kia, thì các tấm ván sẽ bền chắc “tỉ lệ với kích thước của chúng” nếu như cả hai vừa đủ có khả năng chống đỡ được trọng lượng riêng của chúng.



g/ 1. Tấm ván này vừa đủ dài nên nó không bị đổ sập dưới sức nặng riêng của nó. Nếu nó dài thêm một phần trăm của một inch, nó sẽ sập xuống. 2. Tấm ván này cấu tạo từ cùng loại gỗ. Nó dày gấp đôi, dài gấp đôi, và rộng gấp đôi. Nó sẽ đổ xuống dưới sức nặng của riêng nó.

Ngoài ra, Galileo còn tiến hành một số thứ sẽ không được tán thành trong khoa học hiện đại: ông không phân biệt các thí nghiệm có kết quả mà ông thật sự quan sát được (việc đóng những con tàu có kích cỡ khác nhau), với các thí nghiệm mà ông không có khả năng thực hiện (thả rơi một con kiến từ độ cao của Mặt trăng). Bây giờ, ông liên hệ cách thức ông đã thực hiện những thí nghiệm thật sự với những tấm ván đó, và nhận thấy rằng, theo định nghĩa hoạt động này, chúng không bền tỉ lệ với kích thước của chúng. Tấm ván lớn hơn bị gãy. Ông dám chắc chắn nói với độc giả rằng kết quả đó quan trọng như thế nào, thông qua câu trả lời kinh ngạc của Sagredo:

Sagredo: Đầu óc tôi đã quay cuồng. Tâm trí của tôi, giống như một đám mây trong chốc lát được rọi sáng bằng một lóe chớp, trong giây lát chứa đầy một thứ ánh sáng khác thường, bây giờ nó vấy tay ra hiệu với tôi và bây giờ nó đột ngột trộn lẫn và làm mờ đi những ý tưởng lạ, thô thiển. Từ cái ông nói đối với tôi dường như không thể nào chế tạo hai cấu trúc giống nhau thuộc cùng một chất, nhưng có kích thước khác nhau và có độ mạnh tương xứng với chúng.

Nói cách khác, thí nghiệm đặc biệt này, sử dụng những thứ như tấm ván gỗ không có sức hấp dẫn khoa học thực chất, nhưng có hàm ý rất rộng vì nó vạch ra một nguyên tắc chung, rằng tự nhiên xử sự khác nhau ở những cấp độ khác nhau.

Để kết thúc cuộc tranh luận, Galileo đưa ra một lời giải thích. Ông nói rằng sức mạnh của tấm ván (được định nghĩa bằng, ví dụ, trọng lượng của tảng đá nặng nhất mà bạn có thể đặt trên một đầu của nó mà không làm nó bị gãy) tỉ lệ với tiết diện của nó, tức là diện tích bề mặt của



phần gỗ tươi bị phơi ra nếu bạn cưa ngang qua nó ở đoạn giữa. Tuy nhiên, trọng lượng của nó thì tỉ lệ với thể tích của nó.



h/ Galileo nói về những tấm ván cấu tạo từ gỗ, nhưng quan niệm đó có thể dễ tưởng tượng với đất sét. Cả ba que đất sét trong hình ban đầu có hình dạng giống như nhau. Cái kích thước trung bình gấp đôi chiều cao, gấp đôi chiều dài và gấp đôi chiều rộng của cái nhỏ, và tương tự cái lớn to gấp đôi cái trung bình ở mọi kích thước thẳng của nó. Cái lớn có kích thước thẳng gấp 4 lần cái nhỏ, tiết diện gấp 16 lần khi cắt vuông góc với trang giấy, và thể tích gấp 64 lần. Điều đó có nghĩa là cái lớn phải chống đỡ sức nặng gấp 64 lần, nhưng chỉ có sức mạnh gấp 16 lần so với cái nhỏ nhất.

## Xác định diện tích và thể tích đối với các vật hình dạng không đồng đều

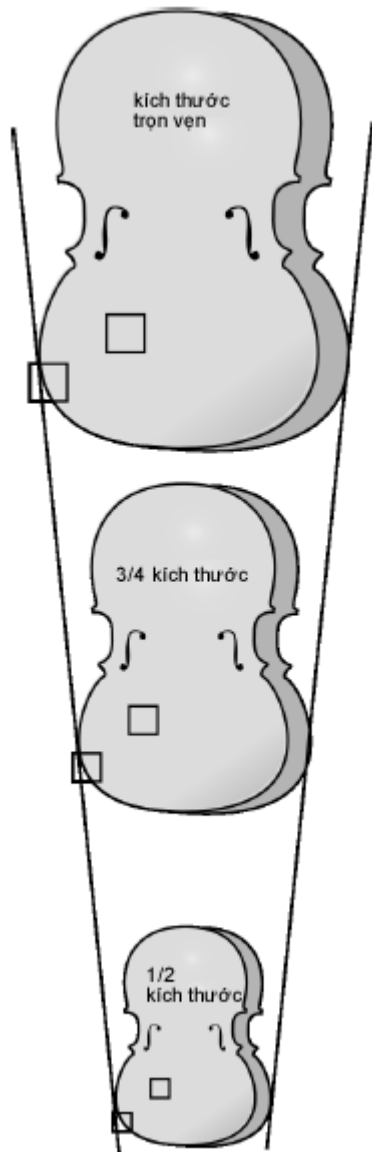
Có lẽ bạn không tin khẳng định của Galileo rằng điều này có hàm ý sâu sắc đối với toàn bộ giới tự nhiên, trừ khi bạn bị thuyết phục rằng điều tương tự cũng đúng đối với bất kỳ hình dạng nào. Mỗi hình vẽ bạn trông thấy từ trước đến nay là những hình vuông, hình chữ nhật và những khối hộp. Rõ ràng việc lí giải những thứ nhìn thấy chia thành những mảnh nhỏ hơn sẽ

Thể tích và tiết diện của tấm ván dài so với thể tích và tiết diện của tấm ván ngắn như thế nào? Chúng ta vừa thấy, khi nói về sự chuyển đổi đơn vị diện tích và thể tích, rằng những đại lượng này không tác dụng theo kiểu mà đa số những người chắt phác trông đợi. Bạn có thể nghĩ rằng diện tích và thể tích của tấm ván dài hơn sẽ đều gấp đôi so với tấm ván ngắn, nên chúng sẽ tăng cân xứng với nhau, và tấm ván dài sẽ có thể chịu được sức nặng của nó y như cũ. Có lẽ bạn sai, nhưng Galileo biết đây là một quan niệm sai lầm phổ biến, cho nên ông để Salviati phát biểu ra điều đó một cách rõ ràng:

Salviati: ... Lấy ví dụ một khối lập phương 2 inch ở mỗi cạnh nên mỗi mặt có diện tích 4 inch vuông và diện tích tổng cộng, tức là tổng diện tích của 6 mặt, lên tới 24 inch vuông; bây giờ hãy tưởng tượng khối lập phương này bị cưa qua ba lần [với lát cắt theo 3 mặt phẳng vuông góc] để chia nó thành 8 khối lập phương nhỏ hơn, mỗi khối có cạnh 1 inch, mỗi mặt 1 inch vuông, và tổng diện tích của từng khối lập phương là 6 inch vuông thay vì 24 inch vuông trong trường hợp khối lập phương lớn. Vì thế, rõ ràng là diện tích của khối lập phương nhỏ chỉ bằng  $\frac{1}{4}$  bề mặt của khối lớn, cụ thể là  $\frac{6}{24}$ ; nhưng thể tích của chính khối lập phương rắn chỉ bằng  $\frac{1}{8}$ ; thể tích, và do đó trọng lượng, vì thể giảm nhanh hơn nhiều so với diện tích. .. Vì thế, ông thấy đấy Simplicio, tôi không sai lầm khi... tôi nói rằng diện tích của một khối rắn nhỏ thì lớn hơn tương đối so với diện tích của một khối lớn.

Lí giải tương tự áp dụng cho các tấm ván. Mặc dù chúng không phải hình khối lập phương, nhưng cái lớn sẽ bị cưa thành tám cái nhỏ, mỗi cái có phân nửa chiều dài, phân nửa chiều dày, và phân nửa chiều rộng. Vì thế, tấm ván nhỏ có nhiều diện tích bề mặt hơn trong tỉ lệ với trọng lượng của nó, và do đó có thể chịu được sức nặng riêng của nó trong khi tấm lớn thì bị gãy.

không chứng tỏ được điều gì về, nói ví dụ, một quả trứng không thể nào cắt thành tám vật hình quả trứng nhỏ hơn với phân nửa chiều dài.



i/ Diện tích của một hình tỉ lệ với bình phương kích thước thẳng của nó, cho dù hình dạng của nó không đồng đều

Có luôn luôn đúng hay không một vật gì đó có phân nửa kích thước thì có diện tích bề mặt  $1/4$  và thể tích  $1/8$ , cho dù nó có hình dạng không đồng đều? Lấy ví dụ cây đàn violin trẻ em. Violin chế tạo cho trẻ nhỏ có kích thước nhỏ hơn để phù hợp với cơ thể nhỏ bé của chúng. Hình i biểu diễn một cây đàn violin kích thước trọn vẹn, cùng với hai cây đàn violin chế tạo với phân nửa và  $3/4$  chiều dài bình thường. Hãy xét diện tích bề mặt của mặt phía trước của ba cây violin này.

Xét hình vuông ở phần bên trong của mặt trước của cây violin kích thước trọn vẹn. Ở cây violin  $3/4$  kích thước, chiều cao lẫn chiều rộng của nó đều nhỏ đi  $3/4$  lần, nên diện tích hình vuông tương ứng, nhỏ hơn  $3/4 \times 3/4 = 9/16$  diện tích ban đầu, chứ không phải  $3/4$  diện tích ban đầu. Tương tự, diện tích hình vuông tương ứng ở cây violin nhỏ nhất có phân nửa chiều cao và phân nửa chiều rộng của cây violin ban đầu, nên diện tích của nó bằng  $1/4$  diện tích ban đầu, chứ không phải  $1/2$ .

Lí giải tương tự cho các phần ở mặt gờ rìa cạnh, ví như phần chỉ dày có một phần trong hình vuông khác. Toàn bộ hình vuông vẽ giống như hình vuông ở bên trong, và trong mỗi cây violin, cùng một tỉ lệ (khoảng 70%) của hình vuông được lấp đầy, nên đóng góp của phần này cho tổng diện tích chiếm tỉ lệ y như nhau.

Vì bất kì vùng hình vuông nhỏ nào hay bất kì vùng nhỏ nào bao phủ một phần của hình vuông vẽ ra giống như một vật vuông, nên tổng diện tích bề mặt của một vật hình dạng không đều thay đổi theo kiểu giống như diện tích bề mặt của hình vuông: phân chia nó xuống  $3/4$  làm giảm diện tích đi  $9/16$  lần, và vân vân.

Nói chung, chúng ta có thể thấy rằng hễ khi nào hai vật với cùng hình dạng, nhưng kích thước thẳng khác nhau (tức là một vật giống như ảnh thu nhỏ của vật kia), thì tỉ số diện tích của chúng bằng với tỉ số của bình phương kích thước thẳng của chúng:

$$\frac{A_1}{A_2} = \left( \frac{L_1}{L_2} \right)^2$$

Chú ý là không quan trọng việc chúng ta chọn nơi đo kích thước thẳng,  $L$ , của một vật. Ví dụ, trong trường hợp các cây đàn violin, nó có thể được đo theo chiều dọc, theo chiều ngang, theo đường chéo, hay thậm chí từ phía dưới của lỗ f bên trái đến chính giữa của lỗ f bên phải.



Chúng ta chỉ phải đo nó theo một cách thích hợp trên từng cây violin. Vì toàn bộ các phần được cho là co hoặc giãn theo kiểu giống như nhau, nên tỉ số  $L_1/L_2$  độc lập với sự chọn lựa phép đo.

Cũng thật quan trọng cần nhận thấy rằng hoàn toàn không cần thiết phải có một công thức cho diện tích của cây đàn violin. Người ta chỉ có thể đưa ra những công thức đơn giản cho diện tích của những hình nhất định như hình tròn, hình chữ nhật, hình tam giác, và vân vân, nhưng đó không phải là trở ngại đối với loại lí giải mà chúng ta đang sử dụng.



j/ Bánh xốp nướng vừa lấy ra khỏi lò quá nóng để mà ăn. Cắt nó thành bốn miếng làm tăng diện tích bề mặt của nó, đồng thời giữ thể tích tổng không đổi. Nó nguội đi nhanh hơn vì tỉ số diện tích trên thể tích lớn hơn. Nói chung, những vật nhỏ hơn có tỉ số diện tích trên thể tích lớn hơn, nhưng trong ví dụ này, không cách nào để tính ra kết quả chính xác, vì những miếng bánh nhỏ không có hình dạng như chiếc bánh ban đầu.

Đôi khi, việc viết các phương trình dưới dạng tỉ số thật bất tiện, nhất là khi có nhiều hơn hai vật được đem ra so sánh. Một cách súc tích hơn viết lại phương trình trên là

$$A \propto L^2$$

Kí hiệu “ $\propto$ ” nghĩa là “tỉ lệ với”. Các nhà khoa học và kĩ sư thường nói về những mối quan hệ như thế bằng lời, sử dụng cụm từ “tỉ lệ”, ví dụ “diện tích tỉ lệ với chiều dài bình phương”.

Toàn bộ lí giải trên áp dụng tương tự cho trường hợp thể tích. Thể tích tỉ lệ với chiều dài lập phương:

$$V \propto L^3$$

Nếu những vật khác cấu tạo từ cùng chất với cùng mật độ,  $\rho = m/V$ , thì khối lượng của chúng,  $m = \rho V$ , tỉ lệ với  $L^3$ , và trọng lượng của nó cũng vậy. (Kí hiệu mật độ là  $\rho$ , chữ cái Hi Lạp in thường “rho”)

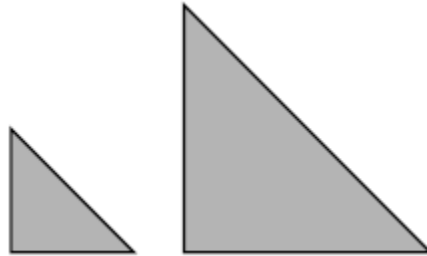
Một điểm quan trọng là toàn bộ lí giải ở trên về việc chia nhỏ chỉ áp dụng cho các vật có cùng hình dạng. Chẳng hạn, một mảnh giấy thì lớn hơn một cái bút chì, nhưng có tỉ số diện tích trên thể tích lớn hơn nhiều.

Một trong những thứ đầu tiên tôi học được với tư cách một thầy giáo là học sinh không hề có chút gì riêng cho lắm về sai lầm của họ. Từng nhóm học sinh có xu hướng đi tới cùng

những sai lầm như lớp trước. Sau đây là một số ví dụ lí giải chính xác và không chính xác về sự tỉ lệ.

Ví dụ 1. Chia nhỏ diện tích của một tam giác

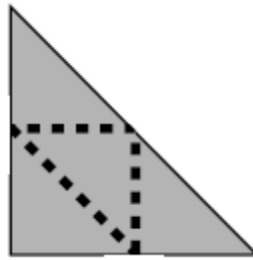
Trong hình k, tam giác lớn có cạnh dài gấp đôi. Hỏi diện tích của nó lớn hơn bao nhiêu lần ?



k/ Ví dụ 1. Tam giác lớn có diện tích lớn hơn bốn lần so với tam giác nhỏ

✗ Lời giải đúng #1: Diện tích tỉ lệ với bình phương kích thước thẳng, nên tam giác lớn có diện tích lớn hơn bốn lần ( $2^2 = 4$ ).

Lời giải đúng #2: Bạn có thể cắt tam giác lớn thành một tam giác nhỏ hơn, như biểu diễn trên hình l, nên diện tích của nó lớn hơn bốn lần (Lời giải này đúng, nhưng nó không áp dụng được cho một hình như hình tròn, hình không thể cắt thành những hình tròn nhỏ hơn)



l/ Một cách khéo léo giải ví dụ 1, giải thích trong lời giải #2

Lời giải đúng #3: Diện tích tam giác cho bởi  $A = bh/2$ , trong đó  $b$  là cạnh đáy và  $h$  là chiều cao. Diện tích của các tam giác là

$$\begin{aligned} A_1 &= b_1 h_1 / 2 \\ A_2 &= b_2 h_2 / 2 \\ &= (2b_1)(2h_1) / 2 \\ &= 2b_1 h_1 \\ A_2 / A_1 &= (2b_1 h_1) / (b_1 h_1 / 2) \\ &= 4 \end{aligned}$$

(Mặc dù lời giải này đúng, nhưng nó mất làm nhiều phép tính hơn lời giải #1, và nó chỉ có thể dùng trong trường hợp này vì tam giác là một dạng hình học đơn giản, và chúng ta đã biết công thức tính diện tích của nó).

Lời giải đúng #4: Diện tích của tam giác là  $A = bh/2$ . So sánh các diện tích sẽ làm xuất hiện cùng những tỉ số kích thước thẳng của tam giác như đã chỉ rõ, nên hãy lấy ví dụ  $b_1 = 1,00$  m và  $b_2 = 2,00$  m. Chiều cao khi đó cũng là  $h_1 = 1,00$  m và  $h_2 = 2,00$  m, cho diện tích  $A_1 = 0,05$  m<sup>2</sup> và  $A_2 = 2,00$  m<sup>2</sup>, nên  $A_2/A_1 = 4,00$ .

(Lời giải là chính xác nhưng nó không phù hợp với một hình có diện tích mà chúng ta không có công thức tính. Tương tự, phép tính bằng số có thể làm cho đáp số 4,00 có vẻ như không chính xác, trong khi lời giải #1 chỉ ra rõ ràng rằng nó chính xác bằng 4).

Lời giải không chính xác: Diện tích của tam giác là  $A = bh$ , và nếu bạn thay  $b = 2,00$  m và  $h = 2,00$  m, bạn thu được  $A = 2,00$  m<sup>2</sup>, nên tam giác lớn có diện tích gấp hai lần. (Lời giải này không đúng vì không có sự so sánh với tam giác nhỏ hơn)

*Ví dụ 2. Phân chia thể tích của một hình cầu*

Trong hình m, hình cầu lớn có bán kính lớn gấp 5 lần. Hỏi thể tích của nó nhiều gấp bao nhiêu lần ?

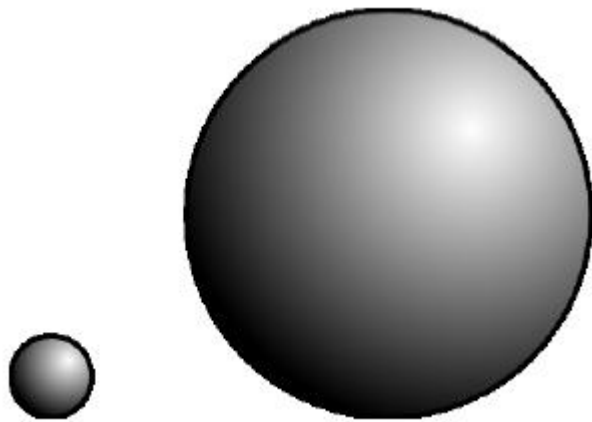
✗ Lời giải đúng #1: Thể tích phân chia theo lũy thừa ba của kích thước thẳng, nên hình cầu lớn có thể tích lớn hơn 125 lần ( $5^3 = 125$ ).

Lời giải đúng #2: Thể tích của hình cầu  $V = (4/3)\pi r^3$ , nên

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r_1^3$$

$$V_2 = \frac{4}{3}\pi r_2^3 = \frac{4}{3}\pi (5r_1)^3 = \frac{500}{3}\pi r_1^3$$

$$V_2 / V_1 = \left( \frac{500}{3}\pi r_1^3 \right) / \left( \frac{4}{3}\pi r_1^3 \right) = 125$$



m/ Ví dụ 2. Quả cầu lớn có thể tích gấp 125 lần quả cầu nhỏ

Lời giải không đúng:

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r_1^3$$

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi r_2^3$$

$$= \frac{4}{3}\pi \cdot 5r_1^3$$

$$= \frac{20}{3}\pi r_1^3$$

$$V_2 / V_1 = \left( \frac{20}{3}\pi r_1^3 \right) / \left( \frac{4}{3}\pi r_1^3 \right) = 5$$

(Lời giải này không đúng vì  $(5r_1)^3$  không bằng với  $5r_1^3$ )

Ví dụ 3. Phân chia tỉ lệ một hình phức tạp hơn

Chữ “S” thứ nhất trong hình n theo co chữ 36 điểm, và chữ thứ hai theo co chữ 48 điểm. Hỏi cần tốn nhiều hơn bao nhiêu mực để tạo ra chữ “S” lớn ? (Điểm là đơn vị chiều dài dùng trong in ấn)

✎ Lời giải đúng: Lượng mực phụ thuộc vào diện tích cần in quét và diện tích thì tỉ lệ với bình phương của kích thước thẳng, nên lượng mực cần thiết cho chữ “S” thứ hai nhiều hơn  $(48/36)^2 = 1,78$  lần.

Lời giải không đúng: Chiều dài của đường cong của chữ “S” thứ hai dài hơn  $48/36 = 1,33$  lần, nên lượng mực cần nhiều hơn 1,33 lần.

(Lời giải này sai vì nó giả sử không đúng rằng chiều rộng của đường cong là bằng nhau trong cả hai trường hợp. Thật ra, cả chiều rộng lẫn chiều dài của đường cong đều lớn hơn  $48/36$  lần, nên diện tích lớn hơn  $(48/36)^2 = 1,78$  lần)



n/ Ví dụ 3. Chữ “S” 48 điểm có diện tích gấp 1,78 lần chữ “S” 36 điểm

☺ A. Một động cơ đốt đồ chơi có kích thước 1/30 động cơ thực sự, nhưng nó được chế tạo với cùng kim loại và cùng tỉ lệ kích thước. Hỏi trọng lượng của nó nhỏ hơn bao nhiêu lần ? Lượng nước sơn màu đỏ cần để sơn nó ít hơn bao nhiêu lần ?

B. Galileo mất rất nhiều thời gian trong bài đối thoại của ông bàn về cái thật sự xảy ra khi các vật bị phá vỡ. Ông nói về mọi thứ theo cách giải thích ngày nay không còn được tin tưởng của Aristotle rằng các vật khó mà chia cắt, vì nếu cái gì đó bị chia cắt, thì có khe trống ở giữa hai nửa không có gì bên trong, ít nhất là vào lúc ban đầu. Tự nhiên, theo Aristotle, “không chấp nhận chân không”, tức là tự nhiên không “thích” không gian trống rỗng tồn tại. Tất nhiên, không khí sẽ tràn vào khe trống ngay tức thì, nhưng ngay lúc mới chia cắt, Aristotle hình dung một chân không bên trong khe. Hỏi lời giải thích của Aristotle lí giải khó mà chia cắt mọi thứ có phải là một phát biểu có thể kiểm tra về mặt thực nghiệm ? Nếu như vậy thì làm thế nào có thể kiểm tra nó bằng thực nghiệm ?

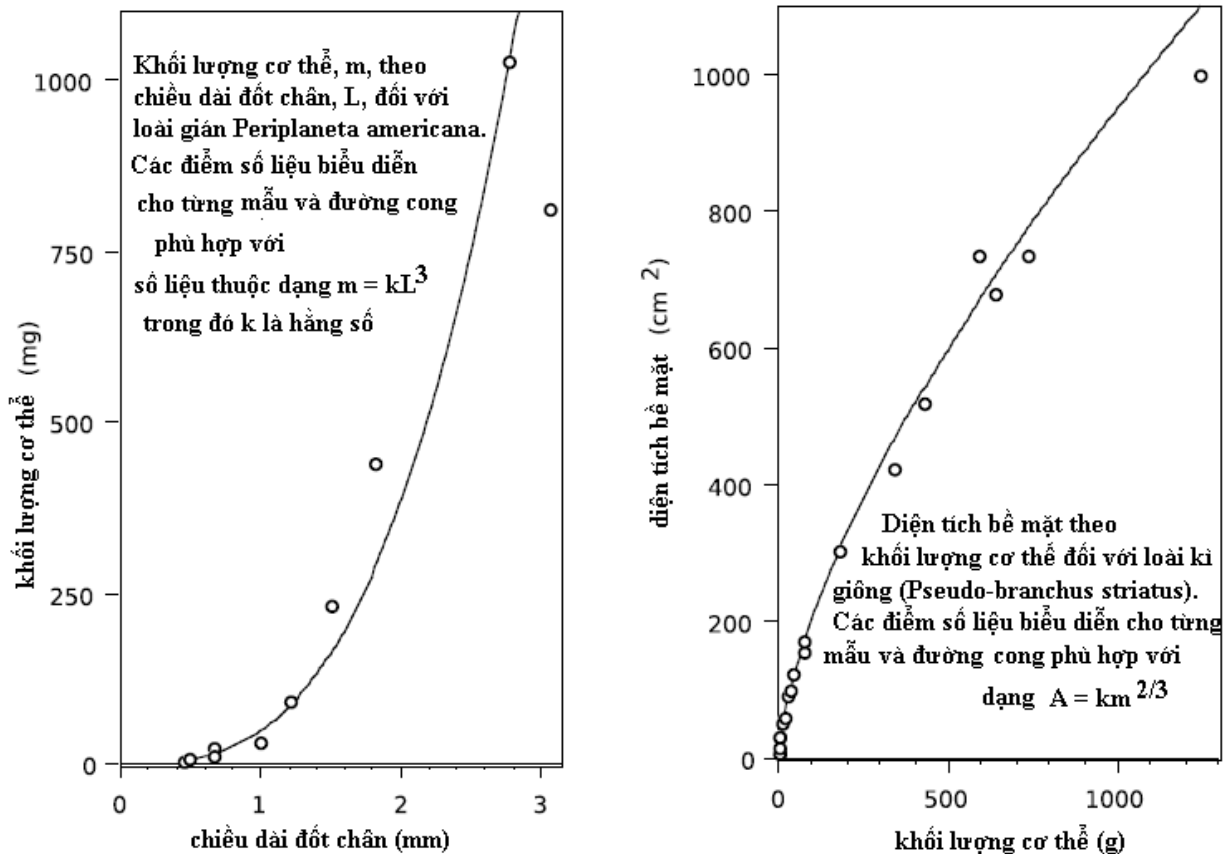
## 1.3 Sự phân chia tỉ lệ áp dụng cho Sinh học

### Những sinh vật kích thước khác nhau với cùng hình dạng

Phía bên trái trong hình o biểu diễn giá trị gần đúng của tương quan tỉ lệ  $m \propto L^3$  đối với con gián (vẽ lại từ sách của McMahon và Bonner). Sự phân tán của các điểm xung quanh đường cong cho thấy một số con gián có tỉ lệ hơi khác với những con khác, nhưng nói chung số liệu dường như mô tả tốt  $m \propto L^3$ . Điều đó có nghĩa là những con gián lớn nhất mà nhà thí nghiệm có thể bắt (không biết có giải thưởng 4-H không ?) có hình dạng xấp xỉ giống như những con nhỏ nhất.

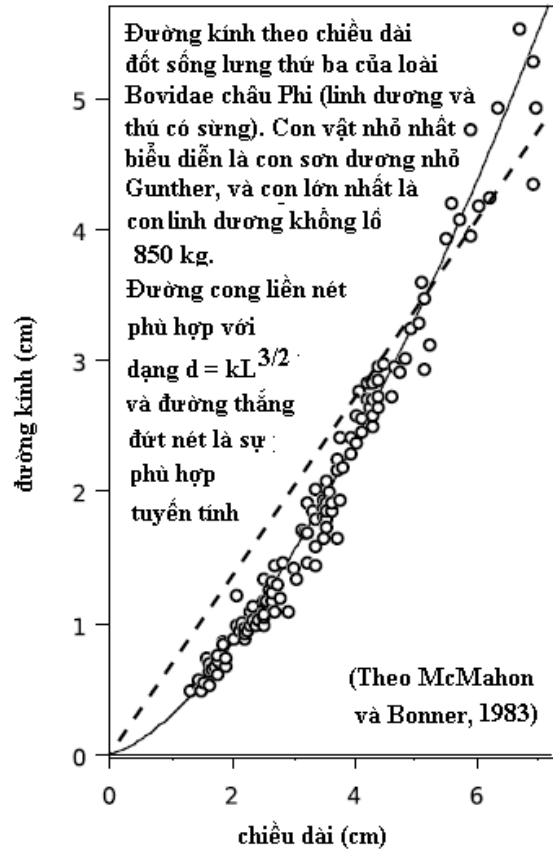
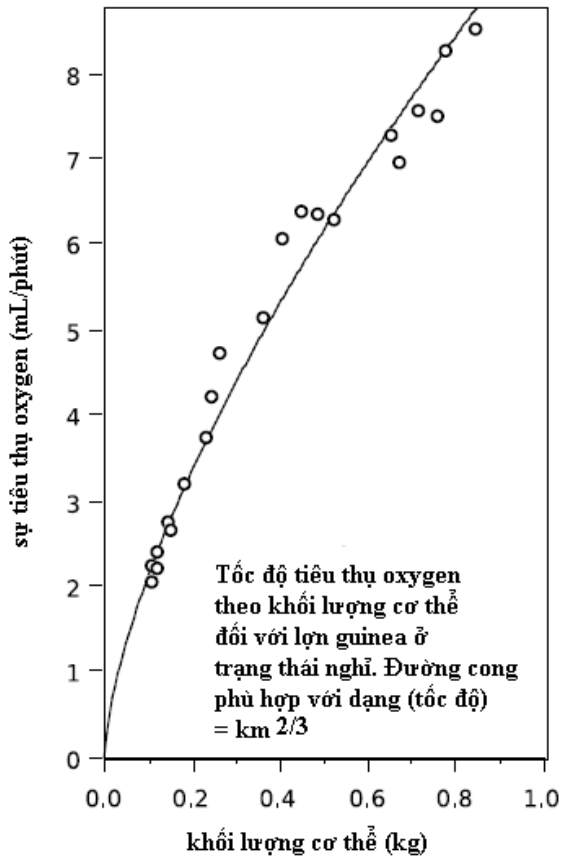
Một mối quan hệ khác phải tồn tại đối với những loài vật kích thước khác nhau có cùng hình dạng theo kiểu tương tự là mối quan hệ giữa diện tích bề mặt và khối lượng cơ thể. Nếu tất cả các con vật có tỉ trọng trung bình như nhau, thì khối lượng cơ thể phải tỉ lệ với lập phương kích thước thẳng của con vật,  $m \propto L^3$ , còn diện tích bề mặt phải biến thiên tỉ lệ với  $L^2$ . Do đó, diện tích bề mặt của con vật phải tỉ lệ với  $m^{2/3}$ . Như biểu diễn trong phần bên phải của hình o,

mối quan hệ này hình như được giữ khá tốt đối với con kì giông. Chú ý cách đường cong này uốn khúc, nghĩa là diện tích bề mặt không tăng nhanh như khối lượng cơ thể, ví dụ con kì giông có khối lượng cơ thể gấp 8 lần sẽ chỉ có diện tích bề mặt gấp 4 lần.



o/ Tỷ lệ hình học của loài vật

Hành trạng này của tỉ số diện tích bề mặt trên khối lượng (hay tương đương, tỉ số diện tích bề mặt trên thể tích) có hệ quả quan trọng đối với động vật có vú, chúng phải duy trì một nhiệt độ cơ thể không đổi. Cần nhớ là tốc độ mất nhiệt qua da của động vật tỉ lệ với diện tích bề mặt của nó, nên chúng ta trông đợi những con vật nhỏ, có tỉ số diện tích bề mặt trên thể tích lớn, cần phải tạo ra rất nhiều nhiệt so với kích thước của chúng để tránh bị chết vì nhiệt độ cơ thể thấp. Sự trông đợi này được xác nhận bởi số liệu ở phần bên trái của hình p, cho thấy tốc độ tiêu thụ oxygen của lợn guinea là hàm của khối lượng cơ thể của chúng. Cả sự sản sinh nhiệt của động vật và diện tích bề mặt của nó đều không tỉ lệ đo, nhưng để tạo ra nhiệt, động vật phải chuyển hóa oxygen, nên sự tiêu thụ oxygen là một chỉ thị tốt của tốc độ sản sinh nhiệt. Vì diện tích bề mặt tỉ lệ với  $m^{2/3}$ , sự tỉ lệ của tốc độ tiêu thụ oxygen với  $m^{2/3}$  là phù hợp với ý tưởng là động vật cần phải tạo ra nhiệt ở tốc độ tỉ lệ với diện tích bề mặt của nó. Mặc dù những con vật nhỏ chuyển hóa ít oxygen hơn và tạo ra ít nhiệt hơn ở dạng tuyệt đối, nhưng lượng thức ăn và oxygen chúng phải tiêu thụ lớn hơn theo tỉ lệ với khối lượng của riêng chúng. Giống chuột chù nhỏ Etruscan, cân nặng 2 gram khi trưởng thành, nằm ở giới hạn kích thước nhỏ hơn đối với động vật có vú. Nó phải ăn liên tục, tiêu thụ nhiều lần trọng lượng cơ thể của nó mỗi ngày để tồn tại.



p/ Sự phân chia tỉ lệ cơ thể của động vật liên hệ với tốc độ trao đổi chất và độ chắc xương

## Thay đổi hình dạng để thích nghi sự thay đổi kích thước

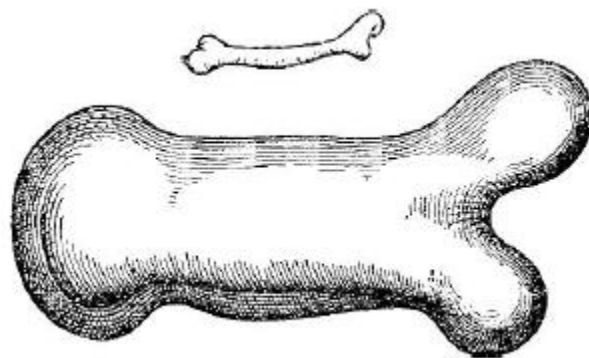
Những loài thú lớn, như voi, có tỉ số diện tích bề mặt trên thể tích nhỏ, và gặp trục trặc ở việc giải quyết nhiệt của chúng đủ nhanh. Một con voi không thể đơn giản ăn đủ lượng nhỏ để giữ không bị sản sinh nhiệt quá mức, vì các tế bào cần phải có tốc độ trao đổi chất tối thiểu nhất định để điều hành cỗ máy nội bào của chúng. Vì thế, tai voi thì lớn, nó làm tăng thêm diện tích bề mặt của con voi và giúp nó tự làm mát. Trước đây, chúng ta đã thấy một vài ví dụ số liệu trong một loài cho trước phù hợp với một hình dạng nhất định, sắp xếp lên xuống trong trường hợp của từng mẫu. Cái tai của con voi là một thí dụ của sự thay đổi hình dạng do sự thay đổi tỉ lệ yêu cầu.

Những con vật lớn cũng phải có khả năng chống đỡ sức nặng của riêng chúng. Trở lại thí dụ về độ bền của những tấm ván kích thước khác nhau, chúng ta có thể thấy rằng nếu như độ bền của tấm ván phụ thuộc vào diện tích, còn trọng lượng của nó phụ thuộc vào thể tích, thì tỉ số độ bền trên trọng lượng được cho như sau:

$$\text{độ bền/trọng lượng} \propto A/V \propto 1/L$$

Như vậy, khả năng của các vật chống đỡ được trọng lượng của riêng chúng giảm tỉ lệ nghịch với kích thước thẳng của chúng. Nếu một vật chỉ vừa đủ khả năng chống đỡ trọng lượng của riêng nó, thì một mẫu lớn hơn sẽ có sự phân chia tỉ lệ khác đi, với một hình dạng khác.





q/ Hình vẽ nguyên bản của Galileo cho thấy xương của con vật lớn hơn phải có đường kính lớn hơn như thế nào so với chiều dài của chúng

Vì số liệu về loài gián hình như phù hợp với những hình dạng giống đại khái trong loài, nên dường như khả năng chống đỡ trọng lượng của riêng nó không phải là sự ràng buộc mấu chốt nhất mà Tự nhiên đang hoạt động dưới đó khi tạo ra chúng. Đối với những con vật lớn, độ bền cấu trúc thật quan trọng. Galileo là người đầu tiên định lượng lập luận này và giải thích tại sao, chẳng hạn, một con vật lớn phải có xương dày hơn theo tỉ lệ với chiều dài của chúng. Hãy xét một cái xương đại khái hình trụ như xương ống chân hay xương sống. Chiều dài của xương,  $L$ , bị chi phối bởi kích thước thẳng toàn phần của con vật, vì xương sống của con vật phải đi tới toàn bộ chiều dài của con vật. Chúng ta trông đợi khối lượng con vật tỉ lệ theo  $L^3$ , nên độ bền của xương cũng phải tỉ lệ theo  $L^3$ . Độ bền tỉ lệ với tiết diện, như đối với tấm ván gỗ, cho nên nếu đường kính của xương là  $d$ , thì

$$d^2 \propto L^3$$

hay

$$d \propto L^{3/2}$$

Nếu hình dạng vẫn giữ không đổi bất kể kích thước, thì toàn bộ kích thước thẳng, gồm  $d$  và  $L$ , sẽ tỉ lệ với nhau. Nếu lập luận của chúng ta đúng, thì thực tế  $d$  tỉ lệ với  $L^{3/2}$ , chứ không phải  $L$ , ngụ ý sự thay đổi tỉ lệ của xương. Như chỉ ra ở phần bên phải của hình p, xương sống của loài Bovidae châu Phi tuân theo quy luật  $d \propto L^{3/2}$  khá tốt. Xương sống của con linh dương châu Phi khổng lồ chắc như vại cà phê, còn xương sống của con sơn dương nhỏ Đông Phi Gunther mảnh mai như nắp bút mực.

☺ A. Các động vật đơn bào phải thụ động hấp thụ chất dinh dưỡng và oxygen từ môi trường xung quanh của chúng, không giống như con người có phổi bơm không khí vào ra và quả tim phân bố máu oxygen hóa đi khắp cơ thể của mình. Còn các tế bào cấu thành nên cơ thể động vật đa bào phải hấp thụ oxygen từ một mao mạch gần kề bề mặt của chúng. Dựa trên những thực tế này, giải thích tại sao các tế bào luôn luôn vì mô về kích thước.

B. Cách lí giải của câu hỏi ở phần trước hình như mâu thuẫn với thực tế là những tế bào thần kinh của con người trong dây sống có thể dài nhiều mét, mặc dù chiều rộng của chúng vẫn rất nhỏ. Tại sao điều này lại có thể xảy ra chứ ?

## 1.4 Ước định bậc độ lớn

*Dấu hiệu của một trí tuệ được đào tạo là ngừng lại hài lòng với mức độ chính xác rằng bản chất của đối tượng cho phép và không tìm kiếm một sự chính xác trong đó chỉ một sự gần đúng của sự thật là có thể.*

*Aristotle*

Thật là một quan niệm sai lầm dễ mắc phải khi cho rằng khoa học phải chính xác. Ví dụ, trong loạt phim truyền hình Star Trek, điều thường xảy ra là thuyền trưởng Kirk hỏi ông Spock, “Spock, chúng ta đang ở trong tình trạng thật tồi tệ. Ông nghĩ như thế nào về cơ hội cho chúng ta thoát ra khỏi đây ?” Ông Spock có tính khoa học trả lời đại loại như thế này “Thưa thuyền trưởng, tôi ước tính tỉ lệ là 237,345 trên một”. Trên thực tế, ông ta không thể nào ước tính tỉ lệ với sáu chữ số có nghĩa của độ chính xác, nhưng tuy vậy một trong những dấu hiệu của một người được đào tạo tốt về khoa học là khả năng đưa ra ước tính có khả năng ít nhất là thuộc về đầu đó trong sân chơi bóng chày. Trong nhiều trường hợp như thế, thường thì chỉ cần có câu trả lời sai lệch không hơn hệ số 10 theo mỗi hướng. Vì các thứ khác nhau 10 lần được cho là khác nhau một bậc độ lớn, nên sự ước tính như thế được gọi là ước tính bậc độ lớn. Dấu gọn sóng, ~, dùng để chỉ các thứ cùng bậc độ lớn với nhau, nhưng không chính xác bằng nhau, ví dụ như trong

tỉ lệ sống sót ~ 100 trên một

Dấu gọn sóng có thể dùng phía trước từng con số để nhấn mạnh rằng con số đó là duy nhất có bậc độ lớn thích hợp.

Mặc dù việc đưa ra ước tính bậc độ lớn dường như đơn giản và tự nhiên đối với các nhà khoa học kinh nghiệm, nhưng nó một kiểu lập luận hoàn toàn không quen thuộc với đa số học sinh sinh viên. Một số nấc trí tuệ tiêu biểu có thể minh họa như trong ví dụ sau.

*Ví dụ 4. Giá thành vận chuyển khoai tây*

Hãy phỏng chừng xem bao nhiêu phần trăm giá một củ khoai tây có nguồn gốc từ giá vận chuyển nó trong xe tải ?

✗ Lời giải không đúng sau đây minh họa cho một trong những con đường chính mà bạn có thể đi sai trong ước tính bậc độ lớn.

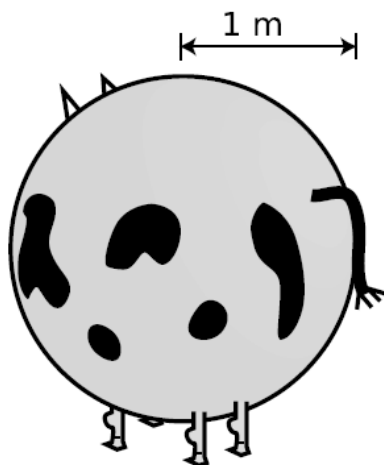
Lời giải sai: Hãy giả sử người lái xe tải cần 400 đô la tiền lãi cho mỗi chuyến hàng. Xét lợi nhuận của cô ta, giá khí đốt, và tiền bảo dưỡng và chi phí mua xe, lấy ví dụ giá tổng cộng là hơn 2000 đô la. Tôi đoán chừng 5000 củ khoai tây sẽ chứa đầy khoang xe tải, nên giá thêm cho mỗi củ khoai tây là 40 cent. Điều đó có nghĩa là giá vận chuyển một củ khoai tây là có thể sánh với giá của chính củ khoai tây đó. Sự vận chuyển thật sự mang thêm rất nhiều giá thành vào sản xuất, tôi đoán thế.

Vấn đề là não người không hay lắm việc ước tính diện tích hay thể tích, nên thành ra ước tính 5000 củ khoai tây chứa đầy xe tải là không đúng. Đó là lí do vì sao người ta phải mất thời gian vất vả vì cãi nhau xem bạn dựa vào đâu để ước tính số hạt đậu hàm trong một cái vại to. Một thí dụ khác là đa số mọi người nghĩ rằng gia đình của họ sử dụng khoảng 10 gallon nước mỗi ngày, nhưng trong thực tế trung bình là khoảng 300 gallon mỗi ngày. Khi ước tính diện tích

hay thể tích, tốt hơn hết bạn nên ước tính kích thước thẳng, và tính thể tích từ kích thước thẳng. Sau đây là một lời giải tốt hơn.

Lời giải tốt hơn: Như trong lời giải trước, giả sử giá mỗi chuyến hàng là 2000 đô la. Kích thước của thùng xe có khả năng là 4 m x 2 m x 1 m, cho thể tích  $8 \text{ m}^3$ . Vì toàn bộ vấn đề chỉ là ước tính bậc độ lớn, nên hãy làm tròn tới số mũ 10 gần nhất là  $10 \text{ m}^3$ . Hình dạng củ khoai tây là phức tạp, và tôi chẳng biết công thức nào tính thể tích của hình củ khoai tây, nhưng vì đây chỉ là một ước tính, nên hãy giả sử củ khoai tây có hình lập phương,  $0,05 \text{ m} \times 0,05 \text{ m} \times 0,05 \text{ m}$ , cho thể tích  $1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ . Vì đây chỉ là một ước tính đại khái nên hãy làm tròn là  $10^{-4} \text{ m}^3$ . Chúng ta có thể tìm tổng số củ khoai tây bằng cách chia thể tích thùng xe cho thể tích một củ khoai tây:  $10 \text{ m}^3 / 10^{-4} \text{ m}^3 = 10^5$  củ. Giá thành vận chuyển mỗi củ khoai tây là  $2000 \text{ đô la} / 10^5 \text{ củ khoai tây} = 0,02 \text{ đô la/củ khoai tây}$ . Điều đó có nghĩa là sự vận chuyển thật ra không đóng góp nhiều lắm vào giá thành của một củ khoai tây.

Việc xấp xỉ hình dạng củ khoai tây là hình lập phương là một thí dụ của một chiến lược chung khác nhằm đưa ra ước tính bậc độ lớn. Một tình huống tương tự sẽ xảy ra nếu bạn thử ước tính có bao nhiêu  $\text{m}^2$  da có thể tạo ra từ một đàn mười nghìn con gia súc. Không có công thức nào có thể đưa vào hình dạng cơ thể của con bò. Một kế hoạch khảo sát có khả năng là xét một con bò hình cầu. Có khả năng đại khái một con bò có diện tích bề mặt bằng với một hình cầu bán kính chừng 1 m, diện tích đó sẽ là  $4\pi (1 \text{ m})^2$ . Sử dụng thực tế đã rõ là pi bằng 3, và 4 nhân 3 lấy khoảng bằng 10, chúng ta có thể đoán chừng một con bò có diện tích bề mặt khoảng  $10 \text{ m}^2$ , nên tổng đàn gia súc sẽ cho  $10^5 \text{ m}^2$  da.



r/ Xét một con bò hình cầu

Danh sách sau đây tóm tắt các chiến lược thu được ước tính bậc độ lớn tốt.

1. Không cố gắng đưa ra hơn một chữ số có nghĩa của độ chính xác.
2. Không đoán diện tích hay thể tích một cách trực tiếp. Hãy đoán kích thước thẳng và thu diện tích hay thể tích từ chúng.
3. Khi làm việc với diện tích hay thể tích của những vật có hình dạng phức tạp, hãy lí tưởng hóa chúng như thể chúng có một số hình dạng đơn giản hơn, ví dụ như hình lập phương hay hình cầu.

4. Kiểm tra câu trả lời cuối cùng của bạn xem nó có hợp lí hay không. Nếu bạn ước tính một đàn gia súc mười nghìn con mang lại  $0,01 \text{ m}^2$  da, thì có khả năng bạn đã mắc sai lầm với những hệ số chuyển đổi ở đâu đó.

## Tóm tắt chương 1

### Kí hiệu

$\propto$  ..... tỉ lệ với

$\sim$  ..... vào bậc, cỡ chừng

### Tóm tắt

Tự nhiên hành xử khác nhau ở quy mô lớn và nhỏ. Galileo đã chỉ ra rằng điều này về cơ bản là do cách thức diện tích và thể tích phân chia tỉ lệ. Diện tích tỉ lệ theo lũy thừa bậc hai của chiều dài,  $A \propto L^2$ , còn thể tích tỉ lệ với chiều dài theo lũy thừa bậc ba,  $V \propto L^3$ .

Ước tính bậc độ lớn là một quá trình trong đó chúng ta không cố gắng hay trông đợi thu được câu trả lời chính xác. Nguyên nhân khiến nhiều người ước tính bậc độ lớn sai là vì não người qua trực giác không đưa ra ước tính chính xác về diện tích và thể tích. Ước tính diện tích và thể tích phải được tiếp cận trước tiên bằng việc ước tính kích thước thẳng, đó là thứ mà não người có thể phán đoán được.

### Bài tập

1. Có bao nhiêu inch khối trong một feet khối ?
2. Giả sử não chó có đường kính gấp đôi não mèo, nhưng mỗi tế bào não của con vật có kích thước bằng nhau và não của chúng có cùng hình dạng. Ngoài việc là một kẻ đồng hành và thân thiện trong nhà, hỏi não chó có nhiều tế bào hơn bao nhiêu so với não mèo ? Đáp số không phải là 2.
3. Mật độ dân số của Los Angeles khoảng  $4000 \text{ người/km}^2$ . Mật độ dân số của San Francisco khoảng  $6000 \text{ người/km}^2$ . Hỏi khoảng cách trung bình tính đến người láng giềng gần nhất của một người ở Los Angeles gấp bao nhiêu lần khoảng cách đó ở San Francisco ? Đáp số không phải 1,5.
4. Mũi của con chó săn có diện tích hoạt động khoảng 10 inch vuông. Làm thế nào điều này có thể xảy ra, vì mũi con chó chỉ khoảng  $1 \text{ in} \times 1 \text{ in} \times 1 \text{ in} = 1 \text{ in}^3$ . Sau hết thấy, 10 thì lớn 1, nên làm thế nào nó có thể lấp vừa ?
5. Hãy ước tính số lá cỏ trên một sân bóng đá.
6. Trong chip nhớ máy tính, mỗi bit thông tin (0 hoặc 1) được lưu trữ trong một mạch điện nhỏ xíu khắp trên mặt của chip silicon. Các mạch điện chiếm bề mặt chip giống như các lô đất trong phát triển nhà. Một con chip tiêu biểu lưu trữ 64 Mb (megabyte) dữ liệu trong đó 1 byte là 8 bit. Hãy ước tính (a) diện tích của mỗi mạch điện, và (b) kích thước thẳng của nó.

7. Giả sử một người nào đó xây dựng một tòa chung cư khổng lồ trên mặt bằng 10 km x 10 km. Hãy ước tính chiều cao của tòa nhà để có đủ không gian cho toàn bộ dân cư của thế giới sinh sống.

8. Một dây chuyền hamburger quảng cáo nó đã bán được 10 tỉ Bongo Burgers. Hãy ước tính tổng khối lượng thức ăn cần thiết để nuôi lớn những con bò dùng cho làm bánh.

9. Hãy ước tính thể tích của cơ thể người, theo đơn vị  $\text{cm}^3$ .

10.  $1 \text{ mm}^2$  là bao nhiêu  $\text{cm}^2$  ?

11. So sánh sức thu thập ánh sáng của một kính thiên văn đường kính 3 cm với kính thiên văn 30 cm.

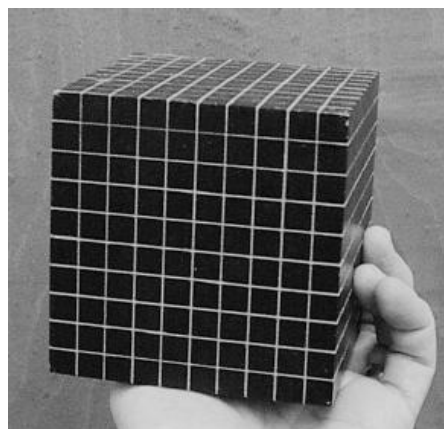
12. Một nấc trong thang đo Richter tương ứng với hệ số 100 dưới dạng năng lượng hấp thụ bởi cái gì đó trên mặt đất, ví dụ như căn nhà. Chẳng hạn, một trận động đất 9,3 độ sẽ giải phóng năng lượng gấp 100 lần trận động đất 8,3 độ. Năng lượng tỏa ra từ tâm chấn dưới dạng sóng, và trong mục tiêu của bài toán này, chúng ta giả sử chúng ta làm việc với sóng địa chấn phân tán ra theo ba chiều, nên chúng ta có thể hình dung chúng là những bán cầu tỏa ra dưới mặt đất. Nếu một trận động đất 7,6 độ và một trận động đất 5,6 độ tạo ra cùng lượng dao động nơi chúng ta sinh sống, thì hãy so sánh khoảng cách từ nhà chúng ta tới hai tâm chấn.

13. Ở châu Âu, một tờ giấy có kích thước chuẩn, gọi là A4, thì hẹp hơn và cao hơn một chút so với tờ giấy ở Mỹ. Tỉ số chiều cao trên chiều rộng là  $\sqrt{2}$ , và tỉ số này có một số tính chất hữu ích. Chẳng hạn, nếu bạn cắt một tờ giấy A4 từ trái sang phải, bạn sẽ thu được hai tờ nhỏ hơn có cùng tỉ lệ. Bạn có thể mua những tờ giấy kích thước nhỏ hơn này, và chúng được gọi là A5. Có cả một chuỗi kích thước giấy liên hệ theo kiểu này, toàn bộ có tỉ lệ như nhau. (a) So sánh tờ giấy A5 với tờ A4 theo diện tích và kích thước thẳng. (b) Một loạt kích thước giấy bắt đầu từ tờ A0, nó có diện tích  $1 \text{ m}^2$ . Giả sử chúng ta có một loạt hộp được định nghĩa như thế này: hộp B0 có thể tích  $1 \text{ m}^3$ , hai hộp B1 lấp vừa khít trong hộp B0, và cứ thế. Hỏi các kích thước của một hộp B0 bằng bao nhiêu ?

14. Hãy ước tính khối lượng của một trong những sợi râu mép của Albert Einstein, theo đơn vị kg.



Albert Einstein và râu mép của ông, bài toán 14



Bài toán 19

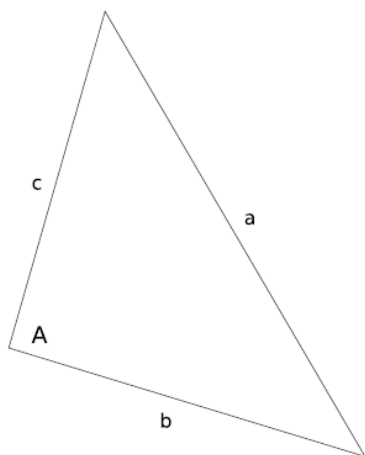
15. Theo tập quán lưu truyền, mỗi lần bạn thở là bạn hít vào một số nguyên tử trút ra trong những lời cuối cùng của Caesar. Điều này có đúng không ? Nếu đúng, thì có bao nhiêu nguyên tử ?

16. Bề mặt Trái đất khoảng 70% là nước. Đường kính của Hỏa tinh khoảng phân nửa đường kính Trái đất, nhưng không có nước bề mặt. Hãy so sánh diện tích đất liền của hai hành tinh.

17. Cái ly Martini truyền thống có hình dạng giống như cái nón có đầu nhọn ở phía dưới. Giả sử bạn pha chế một ly Martini bằng cách đổ vermouth vào ly đến độ sâu 3 cm, và rồi đổ thêm rượu gin cho độ sâu 6 cm. Hỏi tỉ lệ rượu gin so với vermouth bằng bao nhiêu ?

18. Phần chính giữa CD khoét một lỗ và một số chất plastic trong suốt bao quanh, và diện tích này không dùng được cho ghi trữ dữ liệu. Bán kính của vòng tròn chính giữa bằng khoảng 35% bán kính của vùng lưu trữ dữ liệu. Vì thế, hỏi có bao nhiêu phần trăm diện tích CD không sử dụng ?

19. Khối một lít trong hình được chia thành những khối nhỏ, với kích thước bằng một phần mười kích thước của khối lớn. Hỏi thể tích của mỗi khối nhỏ bằng bao nhiêu ?



Bài toán 20



Bài toán 22

20. (a) Dựa trên định nghĩa của sin, cos và tan, hỏi chúng phải có đơn vị gì ? (b) Một công thức xinh xắn từ lượng giác học cho bạn tìm bất kì góc nào của một tam giác nếu bạn biết chiều dài các cạnh của nó. Sử dụng kí hiệu như trong hình, và đặt  $s = (a + b + c)/2$  là nửa chu vi, chúng ta có

$$\tan A/2 = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{s(s-a)}}$$

Hãy chỉ ra rằng các đơn vị trong phương trình này là có ý nghĩa. Nói cách khác, hãy kiểm tra đơn vị của vế phải là giống như câu trả lời của bạn cho câu a của bài toán này.

21. Hãy ước tính số giờ công lao động cần thiết để xây dựng Vạn Lý Trường Thành ở Trung Quốc.



22. (a) Sử dụng ảnh chụp hiển vi trong hình, hãy ước tính khối lượng của một tế bào của vi khuẩn E. coli, một trong những vi khuẩn hay gặp nhất trong ruột người. Lưu ý tỉ lệ ở góc dưới bên phải, nó là  $1\text{ }\mu\text{m}$ . Mỗi đối tượng hình ống trong hình là một tế bào. (b) Phân trong ruột người chủ yếu là vi khuẩn (một số chết, một số còn sống), trong đó E. coli là thành phần nhiều và tiêu biểu. Hãy ước tính số vi khuẩn trong ruột của bạn, và so với số tế bào trong cơ thể của bạn, người ta cho là nó phong chừng vào bậc  $10^{13}$ . (c) Giải thích kết quả của bạn rút ra từ phần b, nó cho bạn biết gì về kích thước của một tế bào người tiêu biểu so với kích thước của một tế bào vi khuẩn tiêu biểu ?

# **Phần I**

## **Chuyển động trong không gian một chiều**

Mãi cho đến khi gần học xong đại học tôi mới rút kinh nghiệm được rằng tôi có thể hiểu một cuốn sách tốt hơn nhiều nếu như tôi tự phác thảo nó trong đầu tôi trước khi tôi thật sự đọc nó. Đó là phương pháp luôn nhắc nhở tôi sắp xếp những tài liệu trong đầu sẵn sàng cho những chủ đề khác nhau. Tôi chuẩn bị học, và khi tôi đọc, nó cho phép tôi tự nói với mình, “Ồ, lí do họ nói về cái này vào lúc này vì họ chuẩn bị cho cái gì đó xuất hiện trong phần sau”, hay “Tôi không cần phải đồ mò hôi cho chi tiết của ý tưởng này vào lúc này, vì họ sẽ giải thích nó một cách cặn kẽ ở phần sau”.

Tại điểm này, bạn đang đi vào những chủ đề chính của cuốn sách này, đó là lực và chuyển động. Các khái niệm bạn sắp học chia thành ba lĩnh vực như sau:

động học – cách thức mô tả chuyển động bằng số

động lực học – cách thức lực ảnh hưởng đến chuyển động

vector – phương pháp toán học nghiên cứu bản chất ba chiều của lực và chuyển động

Nói đại khái, đó là trình tự chúng ta sẽ xem xét ba lĩnh vực này, nhưng những chương trước thật sự đã có một chút chuẩn bị cho những chủ đề sau này. Chẳng hạn, ngay trước điểm này bạn đã biết về newton, một đơn vị của lực. Giảng giải về lực một cách thích đáng thuộc về động lực học mà chúng ta không lao đầu vào xử lí ngay trong một vài chương, nhưng tôi nhận thấy khi tôi dạy động học nó giúp tôi có thể nói tới lực ngay lúc này và rồi chỉ ra tại sao nó mang lại ý nghĩa cho việc định nghĩa những khái niệm động học nhất định. Và mặc dù tôi không dứt khoát đưa vector vào mãi cho đến chương 8, nhưng cơ sở đã được thiết đặt cho chúng trong những chương trước.

Hình vẽ ở trang sau là bản chỉ dẫn cho phần còn lại của cuốn sách.

	động học	động lực học	vector
mở đầu chương 0 - 1			
chuyển động trong không gian một chiều chương 2 - 6			
chuyển động trong không gian ba chiều chương 7 - 9			
lực hấp dẫn chương 10			

## Chương 2

### Vận tốc và chuyển động tương đối

#### 2.1 Các loại chuyển động

Nếu bạn phải suy nghĩ có ý thức để làm di chuyển cơ thể bạn, thì bạn chắc chắn là không làm được. Ngay cả đi bộ, mà chúng ta xem là không phải một kì công gì vĩ đại, cũng yêu cầu một loạt chuyển động phức tạp mà não bạn hoàn toàn không đủ khả năng phối hợp. Nhiệm vụ đặt chân này trước chân kia được điều khiển bởi những bộ phận nguyên thủy hơn của não bạn, những bộ phận không thay đổi gì nhiều kể từ khi động vật có vú và bò sát tách riêng ra trong con đường tiến hóa của chúng. Bộ phận suy nghĩ của não bạn tự hạn chế nó với những chỉ thị chung chung như “đi nhanh lên” hay “đừng giẫm lên ngón chân cô ta”, chứ không phải điều khiển vi mô mỗi sự co và giãn hàng trăm hay ngàn ấy cơ chân, cơ hông và cơ ngón chân của bạn.



a/ Chuyển động quay



b/ Chuyển động vừa quay vừa tịnh tiến



c/ Một người có thể nói rằng cái ghế lật nghiêng chỉ quay trong một vòng tròn xung quanh điểm tiếp xúc của nó với sàn nhà, nhưng người khác có thể mô tả nó vừa quay vừa chuyển động tịnh tiến trong không gian.

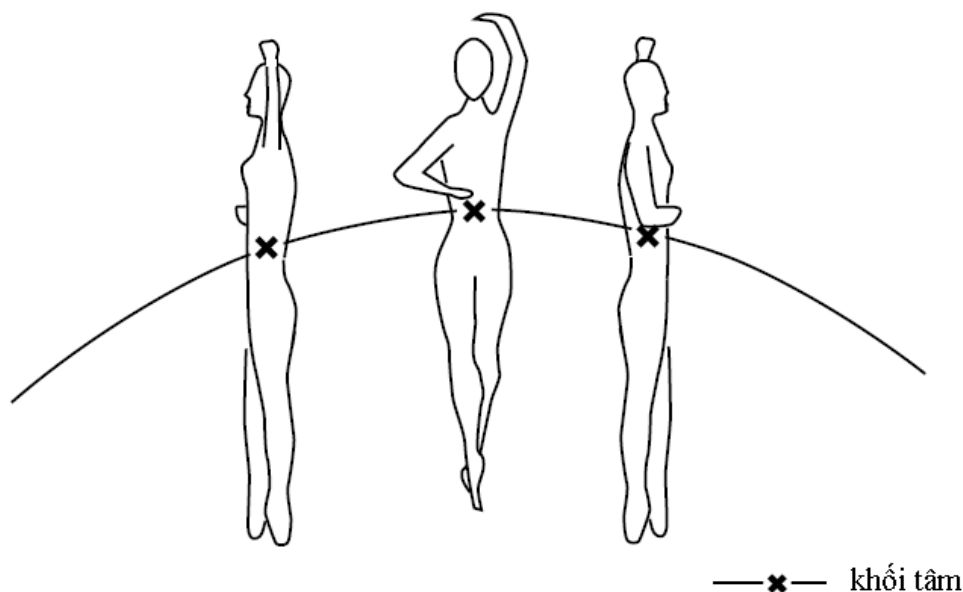
Vật lí học nói chung là tìm hiểu rõ sự chuyển động, nhưng rõ ràng chúng ta không được chuẩn bị ngay để hiểu đa số các loại chuyển động phức tạp. Thay vì vậy, chúng ta sẽ sử dụng phương pháp chia-để-trị. Trước tiên, chúng ta phân loại các dạng chuyển động khác nhau, và rồi bắt đầu chiến dịch của chúng ta nhằm tới những trường hợp đơn giản nhất. Để làm cho rõ ràng cái chúng ta đã sẵn sàng và chưa sẵn sàng xem xét, chúng ta phải khảo sát và định nghĩa cẩn thận những loại chuyển động nào có thể tồn tại.

## **Chuyển động vật rắn khác với chuyển động làm thay đổi hình dạng của một vật**

Không ai, ngoại trừ Fred Astaire, có thể lướt đi dễ dàng về phía trước mà không uốn cong khớp xương. Đi bộ vì thế là một thí dụ trong đó vừa có chuyển động chung của toàn bộ vật vừa có sự thay đổi hình dạng của vật. Một thí dụ khác là chuyển động của một quả bóng nước lúc lắc khi nó bay trong không khí. Chúng ta hiện không cố gắng mô tả bằng toán học cách thức hình dạng của một vật thay đổi. Chuyển động không có sự thay đổi hình dạng được gọi là chuyển động vật rắn.

## **Chuyển động khối tâm trái với chuyển động quay**

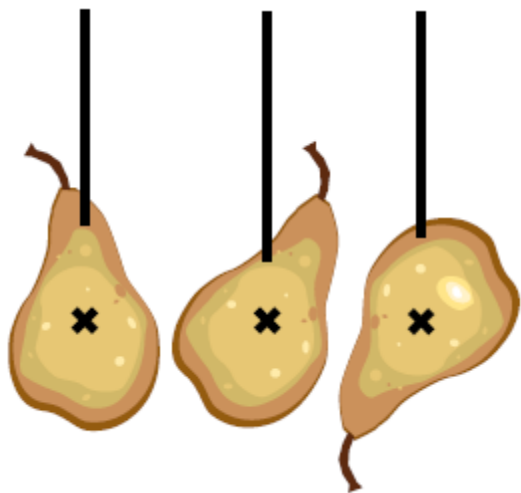
Nữ diễn viên múa lao vào không khí và quay tròn một lượt trước khi chạm đất. Chúng ta cảm thấy qua trực giác rằng chuyển động vật rắn của cô ta trong khi chân cô ta rời mặt đất gồm hai loại chuyển động đồng thời: một chuyển động quay và một chuyển động của cơ thể cô ta như một tổng thể trong không gian, theo một đường cong. Tuy nhiên, không hiển nhiên ngay đâu là phương pháp hữu ích nhất để vạch ra sự khác biệt giữa chuyển động quay và chuyển động tịnh tiến trong không gian. Một người có thể nói rằng một chuyển động duy nhất là chuyển động quay về điểm tiếp xúc của chiếc ghế với sàn nhà, nhưng một người khác có thể nói có cả chuyển động quay lẫn chuyển động xuống dưới và sang bên.



f/ Chuyển động của diễn viên múa thì phức tạp, nhưng chuyển động của khối tâm của cô ta thì đơn giản



Hóa ra có một cách đặc biệt tự nhiên và hữu ích nhằm đưa ra một định nghĩa rõ ràng, nhưng nó yêu cầu một sự lạc đề. Mỗi vật có một điểm cân bằng, trong vật lí được quy cho là *khối tâm*. Đối với một vật hai chiều như một miếng bìa cắt rời, thì khối tâm là điểm mà tại đó bạn có thể treo vật từ một sợi dây và làm cho nó cân bằng. Trong trường hợp nữ diễn viên múa (người là đối tượng ba chiều, trừ khi chế độ ăn kiêng của cô ta đặc biệt khắt khe), nó có thể là một điểm nằm bên trong hoặc bên ngoài cơ thể cô ta, tùy thuộc vào cách cô ta giữ những cánh tay của mình. Cho dù là không thực tiễn chút nào việc gắn một sợi dây và chính điểm cân bằng, nhưng khối tâm có thể được chỉ ra như biểu diễn trong hình e.



e/ Cho dù bạn treo quả lê từ điểm nào, thì sợi dây luôn thẳng hàng với khối tâm của quả lê. Do đó, khối tâm có thể định nghĩa là giao điểm của mọi đường thẳng vẽ ra bằng cách treo quả lê theo kiểu này. Chú ý dấu X trong hình không nên hiểu là khối tâm nằm trên bề mặt – thật ra nó nằm bên trong quả lê.



f/ Những người diễn viên xiếc treo với dây đi qua khối tâm của họ.

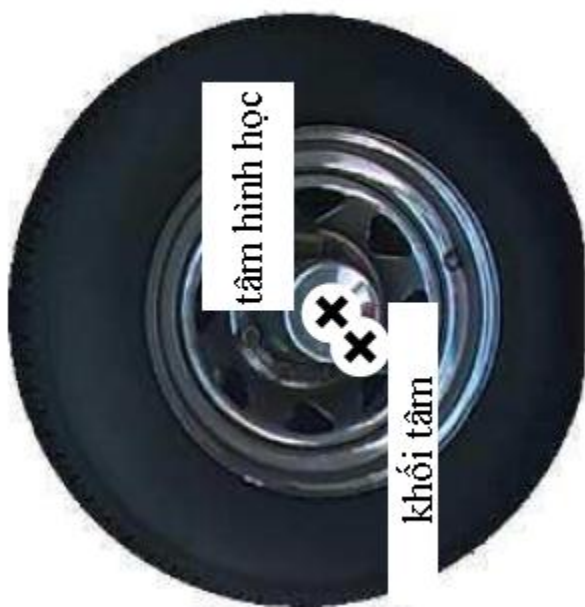
Tại sao khái niệm khối tâm có liên quan tới câu hỏi phân loại chuyển động quay khác với chuyển động tịnh tiến trong không gian? Như minh họa trong hình d và g, hóa ra chuyển động của khối tâm của một vật hầu như luôn luôn đơn giản hơn nhiều so với chuyển động của bất kỳ bộ phận nào khác của vật. Cơ thể của người diễn viên múa là một vật lớn có hình dạng phức tạp. Chúng ta có thể trông đợi chuyển động của cô ta sẽ phức tạp hơn nhiều so với chuyển động của một vật nhỏ, hình dạng đơn giản, ví dụ một hòn bi, ném lên ở góc bằng với góc cô ta nhảy lên. Nhưng hóa ra chuyển động của khối tâm của người diễn viên giống hệt như chuyển động của hòn bi. Nghĩa là, chuyển động của khối tâm giống như chuyển động mà người diễn viên sẽ có nếu toàn bộ khối lượng của cô ta tập trung tại điểm đó. Vì thế, bằng cách giới hạn sự chú ý của chúng ta với chuyển động của khối tâm, chúng ta có thể đơn giản hóa mọi thứ đi đáng kể.

Bây giờ chúng ta có thể thay thế ý tưởng mơ hồ về “chuyển động như một tổng thể trong không gian” với khái niệm được định nghĩa tốt hơn và hữu ích hơn về “chuyển động khối tâm”. Chuyển động của bất kỳ vật rắn nào cũng có thể chia rõ thành chuyển động quay và chuyển động khối tâm. Bằng định nghĩa này, chiếc ghế lật nghiêng thật sự có cả chuyển động quay lẫn chuyển động khối tâm. Tập trung vào chuyển động khối tâm cho phép chúng ta đưa ra một mô hình đơn giản hóa của chuyển động, như thể một vật phức tạp như cơ thể con người chỉ là một hòn bi hay

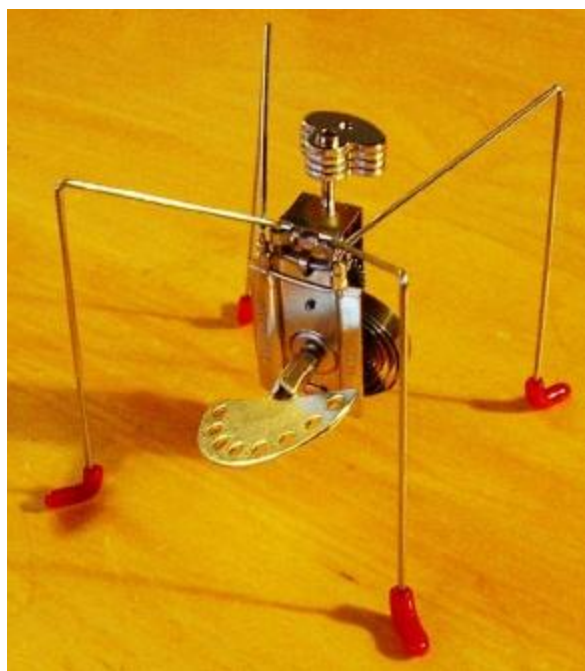
một hạt chất điểm. Khoa học thật ra không bao giờ xử trí với thực tại; nó xử trí với các mô hình của thực tại.



g/ Cũng người diễn viên múa đó, nhìn từ trên cao xuống. Khối tâm của cô ta vạch ra một đường thẳng, nhưng một điểm cách xa khối tâm, như khuỷu tay của cô ta, vạch ra một quỹ đạo phức tạp hơn nhiều biểu diễn bằng đường chấm chấm.



h/ Một bánh xe cân bằng không đúng cách có khối tâm của nó không nằm ở tâm hình học của nó. Khi bạn thay một lốp xe mới, người thợ máy kẹp những vật nặng nhỏ vào vành để làm thẳng bằng bánh xe.



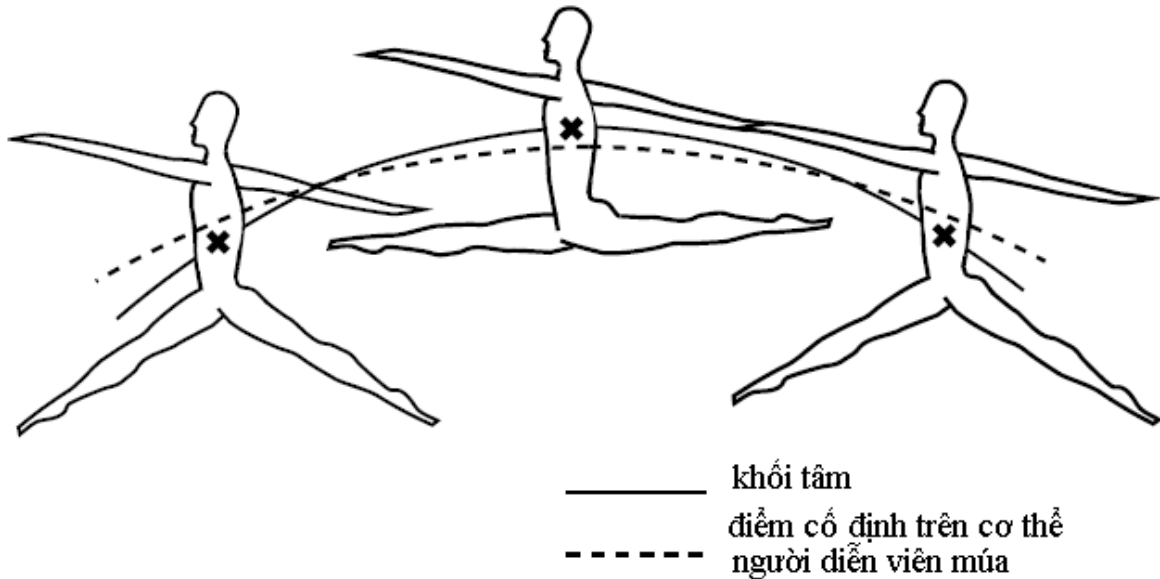
i/ Món đồ chơi này cố tình được thiết kế sao cho mảnh kim loại hình nấm phía trên lệch ra khỏi khối tâm. Khi bạn vận nó lên, cái nấm quay tròn, nhưng khối tâm không muốn di chuyển, nên phần còn lại của món đồ chơi có xu hướng cản trở chuyển động của cái nấm, làm cho toàn bộ món đồ chơi nhảy vòng vòng.

Chú ý là từ “tâm” trong “khối tâm” không có nghĩa là khối tâm phải nằm tại tâm hình học của vật. Một bánh xe hơi không được cân bằng đúng cách có khối tâm không trùng với tâm hình học của nó. Một vật như cơ thể con người thậm chí còn không có một tâm hình học rõ ràng.

Có thể hữu ích nếu nghĩ khối tâm là vị trí trung bình của toàn bộ khối lượng ở trong vật. Với cách hiểu này, chúng ta có thể thấy ví dụ rằng việc đưa cánh tay bạn lên phía trên đầu bạn làm nâng cao khối tâm của bạn, vì vị trí cao hơn của cánh tay làm tăng vị trí trung bình. Chúng ta sẽ không tính toán khối tâm bằng toán học ngay lúc này; các phương trình có liên quan nằm trong chương 4 của cuốn *Các định luật bảo toàn*.

Diễn viên múa ba lê và vận động viên bóng rổ chuyên nghiệp có thể tạo ra một ảo giác bay ngang qua trong không khí vì não của chúng ta qua trực giác mong đợi chúng có chuyển động vật rắn, nhưng cơ thể không còn là rắn khi đang thực hiện một động tác hay vũ điệu. Các

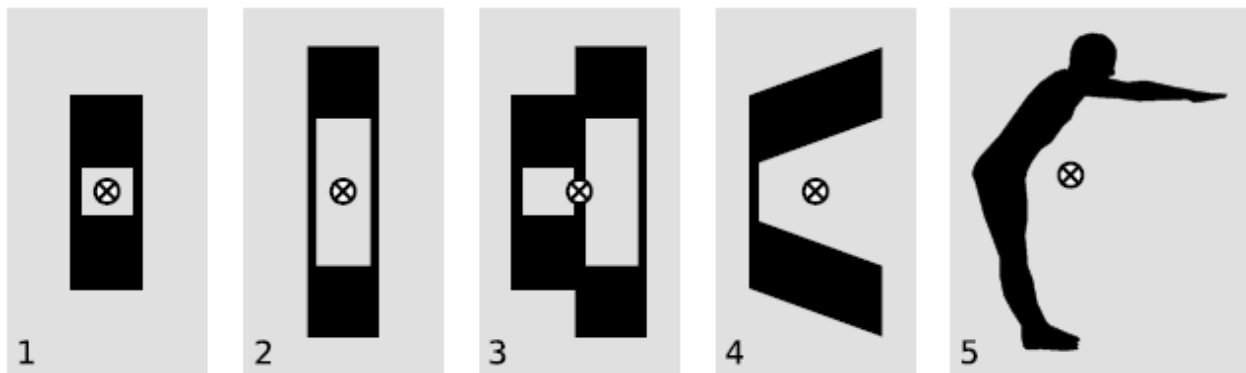
chân ở vị trí thấp vào lúc bắt đầu và kết thúc nhảy, nhưng đạt tới điểm cao vào lúc giữa. Không xét tới các chi thực hiện, thì khối tâm sẽ đi theo cùng một cung, nhưng vị trí thấp của các chi vào lúc bắt đầu và kết thúc có nghĩa là thân mình ở cao hơn so với khối tâm, còn ở giữa bước nhảy thì ở thấp hơn so với khối tâm. Mắt chúng ta dõi theo chuyển động của thân mình và cố gắng giải thích nó là chuyển động khối tâm của vật rắn. Nhưng vì thân mình đi theo một quỹ đạo phẳng hơn so với chúng ta trông đợi, nên sự giải thích rất cố gắng này là sai, và chúng ta trải nghiệm một ảo giác là người đó đang bay ngang.



j/ Một điểm cố định trên cơ thể người diễn viên múa đi theo một quỹ đạo phẳng hơn so với cái chúng ta trông đợi, tạo ra ảo giác bay.

Ví dụ 1. Khối tâm là vị trí trung bình

Giải thích làm thế nào chúng ta biết khối tâm của từng vật tại vị trí chỉ rõ trong hình k.



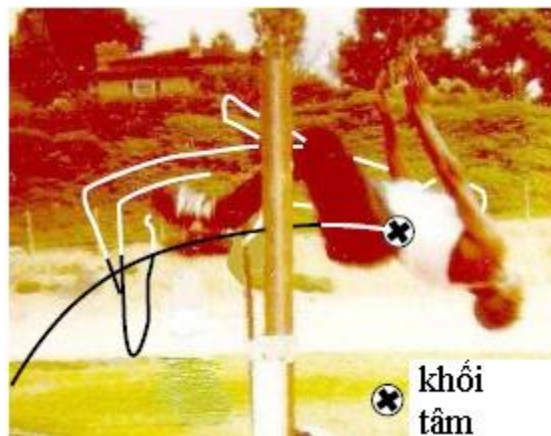
k/ Ví dụ 1

✎ Khối tâm là một loại trị trung bình, nên độ cao của khối tâm trong hình 1 và 2 phải nằm giữa hai hình vuông, vì độ cao đó là trung bình của độ cao của hai hình vuông. Ví dụ là sự kết hợp hai ví dụ 1 và 2, nên chúng ta có thể tìm khối tâm của nó bằng cách lấy trung bình vị trí ngang của khối tâm của chúng. Trong ví dụ 4, mỗi hình vuông bị nghiêng đi một chút, nhưng phần khối lượng tăng và giảm như nhau, nên vị trí trung bình thẳng đứng của khối lượng không thay đổi. Ví dụ 5 rõ ràng không khác hẳn ví dụ 4, sự khác biệt

chủ yếu là sự quay đi một chút theo chiều kim đồng hồ, nên giống như trong ví dụ 4, khối tâm phải nằm trong khoảng trống không, nơi thật ra không có chút khối lượng nào. Theo phương ngang, khối tâm phải nằm giữa gót chân và các ngón chân, nếu không thì người ta không thể nào đứng vững mà không bị nghiêng lật nhào.

Một thí dụ lí thú khác từ thế giới thể thao là môn nhảy cao, trong đó cơ thể uốn cong của vận động viên đi qua xà, nhưng khối tâm thì đi qua bên dưới xà! Ở đây, người vận động viên hạ thấp chân và phần cơ thể trên của anh ta ở chóp cao để mang eo thắt lưng của anh ta cao hơn so với khối tâm.

Ở phần sau trong bài giảng này, chúng ta sẽ tìm xem có nguyên nhân cơ bản nào nữa (dựa trên các định luật chuyển động của Newton) lí giải vì sao khối tâm xử sự theo kiểu đơn giản như thế so với những phần khác của vật. Chúng ta cũng hoãn lại việc trao đổi các phương pháp số học dùng cho tìm khối tâm của vật. Tính cho đến phần sau của bài giảng này, chúng ta sẽ chỉ làm việc với chuyển động của khối tâm của các vật.



// Cơ thể của vận động viên nhảy cao đi qua phía trên xà, nhưng khối tâm của anh ta đi qua bên dưới nó.

## Chuyển động khối tâm trong không gian một chiều

Ngoài việc hạn chế nghiên cứu của chúng ta về chuyển động với chuyển động khối tâm mà thôi, chúng ta sẽ bắt đầu bằng việc chỉ xem xét những trường hợp trong đó khối tâm chuyển động theo một đường thẳng. Ở đây sẽ bao gồm những trường hợp như một vật rơi thẳng từ trên xuống, hoặc một chiếc xe hơi tăng tốc và giảm tốc nhưng không ngoặt cua.

Lưu ý là mặc dù chúng ta rõ ràng không nghiên cứu các khía cạnh phức tạp hơn của chuyển động, nhưng chúng ta vẫn có thể phân tích chuyển động khối tâm trong khi bỏ qua những loại chuyển động khác có thể xảy ra đồng thời. Chẳng hạn, nếu một con mèo rơi khỏi cành cây và ban đầu rơi thẳng từ trên xuống, nó trải qua một loạt động tác uốn éo mang chân của nó bên dưới nó. Đây dứt khoát không phải là một ví dụ của chuyển động vật rắn, nhưng chúng ta vẫn có thể phân tích chuyển động của khối tâm con mèo giống như trường hợp một hòn đá rơi.

© A. Xét một người đang chạy bộ, một người đang đạp xe đạp, một người đang lao xuống dốc trên một chiếc xe đạp, và một người đang lướt đi trên giày trượt băng. Trong những trường hợp nào chuyển động khối tâm là một chiều? Những trường hợp nào là ví dụ của chuyển động vật rắn?

B. Hình ở trang bên cho thấy một huấn luyện viên thể thao đang được giữ bên trong một bánh xe to. Từ bên trong bánh xe, làm thế nào ông có thể làm cho nó quay theo chiều này hoặc chiều kia?





m/ Câu hỏi B

## 2.2 Mô tả khoảng cách và thời gian

Chuyển động khối tâm trong không gian một chiều có phần dễ nghiên cứu vì toàn bộ thông tin về nó có thể gói gọn trong hai biến:  $x$ , vị trí tương đối của khối tâm so với vật mốc, và  $t$ , đại lượng đo một thời điểm trong thời gian. Chẳng hạn, nếu ai đó mang cho bạn một bảng ghi đầy đủ chi tiết của các giá trị  $x$  và  $t$ , bạn sẽ biết toàn bộ những gì cần biết về chuyển động khối tâm của vật.

### Thời điểm khác với khoảng thời gian

Trong ngôn ngữ thông thường, chúng ta sử dụng từ “thời gian” theo hai ý nghĩa khác nhau, chúng được phân biệt rõ trong vật lí. Nó có thể được sử dụng, như trong “một thời gian ngắn” hay “thời gian của chúng ta trên Trái đất này”, để chỉ độ dài hay một khoảng của thời gian, hay nó có thể được sử dụng để chỉ số đọc trên đồng hồ, như trong “tôi không biết thời gian lúc này là mấy giờ”, hay “thời gian hiện nay”. Trong kí hiệu,  $t$  thường được sử dụng để chỉ một thời điểm, còn  $\Delta t$  là chỉ khoảng thời gian. Kí tự Hi Lạp in hoa delta,  $\Delta$ , nghĩa là “độ biến thiên...”, tức là một khoảng thời gian là sự thay đổi hoặc sự chênh lệch giữa một số chỉ này và một số chỉ khác của đồng hồ. Kí hiệu  $\Delta t$  không biểu thị tích của hai số,  $\Delta$  và  $t$ , mà là một số thôi,  $\Delta t$ . Nếu một buổi chiếu phim bắt đầu tại thời điểm  $t = 1$  giờ và kết thúc lúc  $t = 3$  giờ, thì độ dài bộ phim là sự thay đổi thời gian  $t$

$$\Delta t = 3 \text{ giờ} - 1 \text{ giờ} = 2 \text{ giờ}$$

Để tránh sử dụng các số âm cho  $\Delta t$ , chúng ta viết số chỉ đồng hồ “lúc sau” ở bên trái dấu trừ, và số chỉ đồng hồ “lúc trước” ở bên phải dấu trừ. Một định nghĩa cụ thể hơn của kí hiệu delta do đó là delta viết tắt cho “sau trừ cho trước”.

Cho dù định nghĩa của chúng ta về kí hiệu delta bảo đảm rằng  $\Delta t$  là dương, nhưng không có lí do gì tại sao  $t$  lại không thể âm. Nếu như  $t$  không thể âm, thì cái gì đã xảy ra một giây trước

$t = 0$  ? Điều đó không có nghĩa là thời gian “đi lùi” theo kiểu những người trưởng thu lại thành trẻ nhỏ và được chăm nom trong nôi. Nó chỉ có nghĩa là chúng ta phải lấy một điểm tham chiếu và gọi nó là  $t = 0$ , và khi đó những thời gian trước đây được biểu diễn bằng giá trị âm của  $t$ .

Mặc dù một thời điểm có thể xem là một số chỉ đồng hồ, nhưng thường thì ý tưởng tốt là nên tránh tính toán với các biểu thức như “2:35” kết hợp của giờ và phút. Thay vì vậy, thời gian có thể được biểu diễn hoàn toàn theo một đơn vị đơn lẻ, ví dụ như giờ. Các phần của giờ có thể biểu diễn theo kiểu thập phân thay vì là phút, và tương tự nếu bài toán được tính theo phút, thì những chữ số thập phân có thể dùng thay cho giây.

© C. Trong số những cụm từ sau, cụm từ nào chỉ thời điểm, cụm từ nào chỉ thời gian, và cụm từ nào chỉ thời gian trừu tượng chứ không phải một con số đo được ?

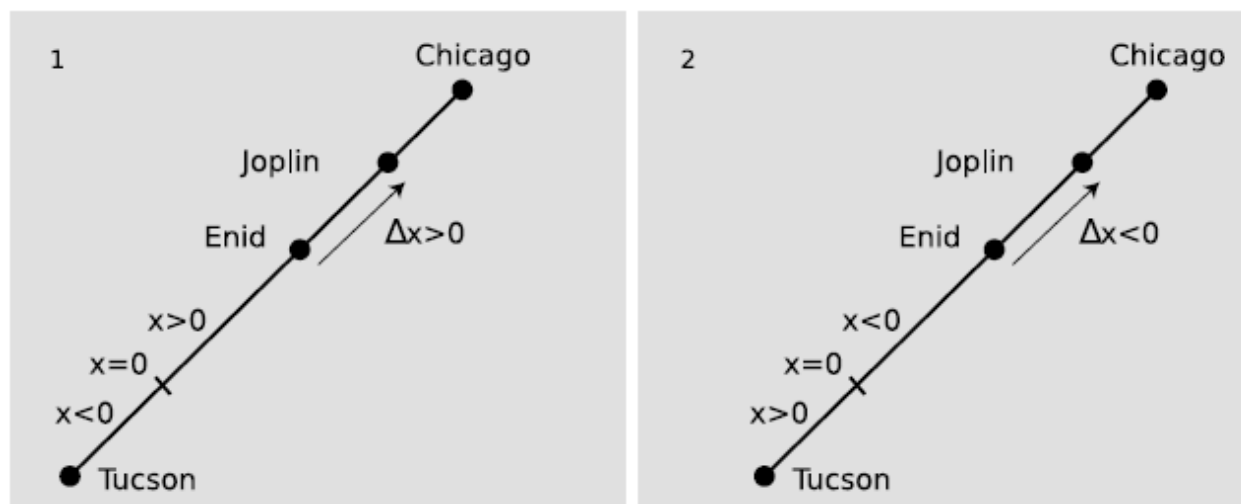
- (1) “Thời khắc đã đến”
- (2) “Thời gian chẳng chờ đợi ai”
- (3) “Suốt thời gian đó, hần ngồi chống cằm”

## Vị trí khác với sự thay đổi vị trí

Như đối với thời gian, có sự khác biệt giữa một điểm trong không gian, kí hiệu là tọa độ  $x$ , và sự thay đổi vị trí, kí hiệu là  $\Delta x$ .

Như đối với  $t$ ,  $x$  có thể âm. Nếu một chiếc xe lửa đang chạy trên đường ray, thì không những bạn thật sự có sự tự do lựa chọn bất kì điểm nào dọc theo đường ray và gọi nó là  $x = 0$ , mà còn có quyền quyết định xem phía nào của  $x = 0$  là  $x$  dương, và phía nào là  $x$  âm.

Vì chúng ta đã định nghĩa kí hiệu delta để chỉ “cái sau trừ cái trước”, nên có khả năng  $\Delta x$  sẽ là âm, không giống như  $\Delta t$  đảm bảo là dương. Giả sử chúng ta đang mô tả chuyển động của chiếc xe lửa trên đường ray nối liền Tucson và Chicago. Như chỉ rõ trong hình, bạn hoàn toàn có quyền quyết định đâu là chiều dương.



n/ Hai cách có giá trị ngang nhau mô tả chuyển động của chiếc xe lửa từ Tucson đi Chicago. Trong ví dụ 1, chiếc xe lửa có  $\Delta x$  dương khi nó đi từ Enid tới Joplin. Trong ví dụ 2, cũng chiếc xe lửa đó đi theo hướng cũ có  $\Delta x$  âm.



Lưu ý là ngoài  $x$  và  $\Delta x$ , còn có một đại lượng thứ ba chúng ta có thể định nghĩa, nó giống như một số chỉ đồng hồ đo đường, hay quãng đường thật sự đã đi. Nếu bạn lái xe đi 10 dặm, ngoặt cua chữ U, và lái trở về 10 dặm, thì  $\Delta x$  của bạn bằng không, nhưng số chỉ đồng hồ đo đường trên xe của bạn đã tăng thêm 20 dặm. Tuy số chỉ đồng hồ đo đường quan trọng với người sở hữu xe và người buôn bán xe đã qua sử dụng, nhưng nó không quan trọng lắm trong vật lý học, và thậm chí còn không có một tên gọi chuẩn hay kí hiệu cho nó. Sự thay đổi vị trí,  $\Delta x$ , có ích hơn vì nó dễ tính toán hơn nhiều: để tính  $\Delta x$ , chúng ta chỉ cần biết vị trí đầu và cuối của vật, không cần toàn bộ thông tin làm thế nào nó đi từ nơi này đến nơi kia.

☺ D. Một quả bóng rơi xuống sàn nhà, nảy lên độ cao 1 m, rơi trở xuống, và chạm sàn lần nữa. Hỏi  $\Delta x$  giữa hai va chạm bằng không, bằng 1, hay bằng 2 m ?

## Hệ quy chiếu

Ví dụ trên cho thấy có hai sự chọn lựa độc đoán bạn phải thực hiện để định nghĩa một biến vị trí,  $x$ . Bạn phải quyết định đặt  $x = 0$  ở đâu, và còn hướng làm chiều dương nữa. Đây được xem là việc chọn hệ tọa độ hay chọn hệ quy chiếu. (Hai thuật ngữ gần như tương đồng, nhưng hệ tọa độ tập trung nhiều hơn vào biến  $x$  thật sự, còn hệ quy chiếu nghiêng về một phương pháp chung chỉ dẫn điểm nhìn của người quan sát) Hễ phù hợp với bạn là được, mọi hệ quy chiếu có giá trị như nhau. Bạn chẳng nên thay đổi hệ tọa độ vào giữa lúc tính toán.

Bạn có bao giờ ngồi trên một chiếc xe lửa trong nhà ga khi bất ngờ bạn để ý thấy nhà ga đang chuyển động lùi lại ? Đa số mọi người mô tả tình huống đó bằng cách nói rằng bạn đã sai khi chú ý thấy xe lửa đang chuyển động – nó chỉ hình như giống như là nhà ga đang chuyển động. Nhưng điều này cho thấy còn có một sự chọn lựa độc đoán thứ ba đi vào việc chọn hệ tọa độ: những hệ quy chiếu có giá trị có thể khác nhau bởi sự chuyển động tương đối với nhau. Dường như thật lạ là bất kì ai cũng khó chịu với một hệ tọa độ đang chuyển động tương đối so với Trái đất, nhưng chẳng hạn hệ quy chiếu chuyển động cùng với chiếc xe lửa có thể thuận tiện hơn nhiều trong việc những thứ xảy ra bên trong xe lửa.

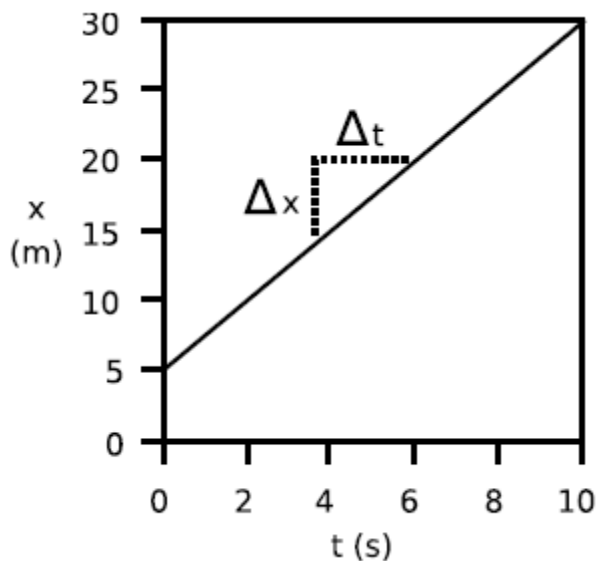
## 2.3 Đồ thị chuyển động; Vận tốc

### Chuyển động với vận tốc không đổi

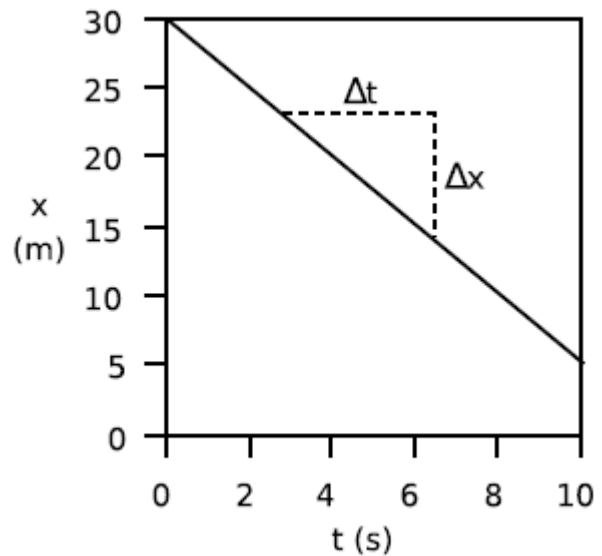
Trong ví dụ 0, một vật đang chuyển động với tốc độ không đổi theo một chiều. Chúng ta có thể nói như vậy vì mỗi 2 giây, vị trí của nó thay đổi đi 5 m.

Theo kí hiệu đại số, chúng ta nói rằng đồ thị của  $x$  theo  $t$  cho thấy sự thay đổi vị trí như nhau,  $\Delta x = 5$  m, trên mỗi khoảng thời gian  $\Delta t = 2,0$  s. Vận tốc hay tốc độ của vật thu được bằng cách tính  $v = \Delta x / \Delta t = (5,0 \text{ m}) / (2,0 \text{ s}) = 2,5$  m/s. Theo thuật ngữ hình học, vận tốc có thể xem là độ dốc của đường thẳng. Vì đồ thị là một đường thẳng, nên sẽ không hề gì nếu chúng ta lấy khoảng thời gian lâu hơn và tính  $v = \Delta x / \Delta t = (10,0 \text{ m}) / (4,0 \text{ s})$ . Câu trả lời vẫn như cũ, 2,5 m/s.

Lưu ý khi chúng ta chia một con số có đơn vị mét cho một con số khác có đơn vị giây, chúng ta thu được đơn vị mét trên giây, viết là m/s. Đây là một trường hợp nữa trong đó chúng ta xem đơn vị như thể chúng là những kí hiệu đại số, cho dù chúng không phải như vậy.

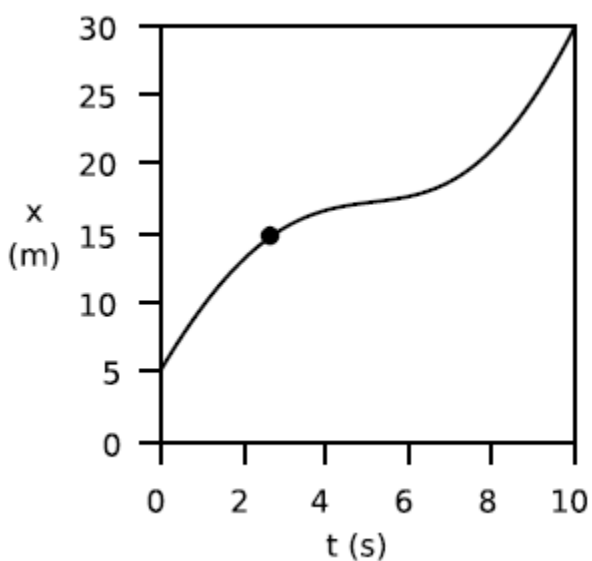


o/ Chuyển động với vận tốc không đổi

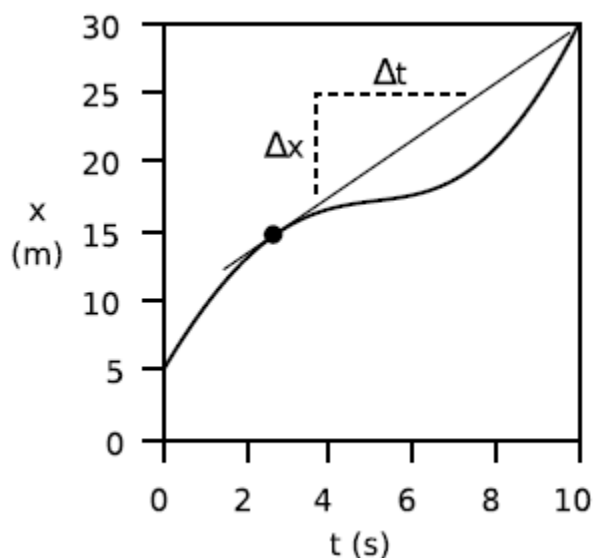


p/ Chuyển động giảm  $x$  được biểu diễn với giá trị âm của  $\Delta x$  và  $v$ .

Trong ví dụ p, vật đang chuyển động theo hướng ngược lại: khi thời gian trôi qua, tọa độ  $x$  của nó giảm đi. Nhắc lại định nghĩa của kí hiệu  $\Delta$  là “lấy sau trừ trước”, chúng ta nhận thấy  $\Delta t$  vẫn dương, nhưng  $\Delta x$  thì âm. Độ dốc của đường thẳng vì thế là âm, và chúng ta nói vật có vận tốc âm,  $v = \Delta x / \Delta t = (-25 \text{ m}) / (2 \text{ s}) = -12,5 \text{ m/s}$ . Chúng ta vừa thấy dấu cộng và trừ của giá trị  $\Delta x$  có cách hiểu cho chúng ta biết hướng vật chuyển động. Vì  $\Delta t$  luôn luôn dương, nên việc chia cho  $\Delta t$  không làm thay đổi dấu cộng hay trừ, và dấu cộng và trừ của vận tốc được hiểu giống như vậy. Theo thuật ngữ hình học, độ dốc dương đặc trưng cho một đường thẳng đi lên khi chúng ta đi sang phía phải, còn độ dốc âm cho chúng ta biết rằng đường thẳng đi xuống khi chúng ta đi sang bên phải.



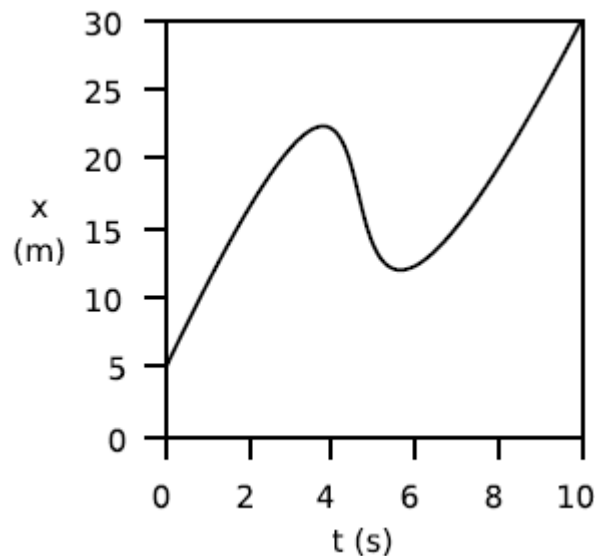
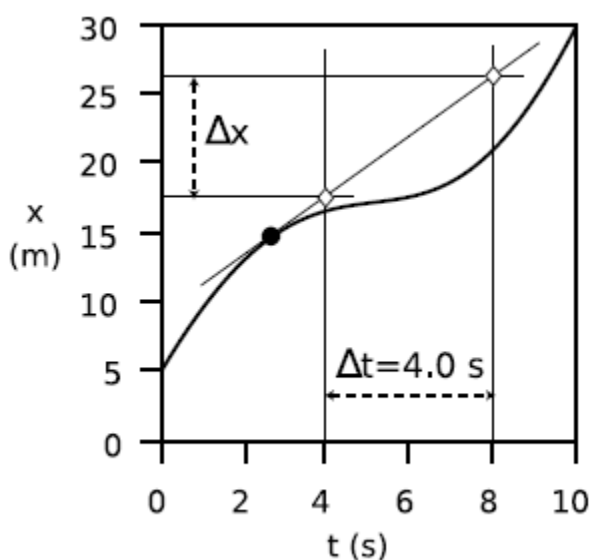
q/ Chuyển động với vận tốc biến thiên



r/ Vận tốc tại một điểm cho trước được xác định là độ dốc của đường tiếp tuyến đi qua điểm có liên quan trên đồ thị

## Chuyển động với vận tốc biến thiên

Giờ thì một đồ thị giống như hình q nói lên điều gì ? Đây có thể là đồ thị của chuyển động của xe hơi khi người lái xe đang rong ruổi trên xa lộ, sau đó lái chậm lại để nhìn một vụ va chạm ô tô trên đường, và rồi tăng tốc trở lại, thất vọng rằng chẳng có gì ngoạn mục đang xảy ra như lửa cháy hay những đứa trẻ bị giữ trên chỗ ngồi trong xe của chúng. (Lưu ý chúng ta vẫn đang nói về chuyển động trong không gian một chiều. Chỉ vì đồ thị cong không có nghĩa là quỹ đạo của chiếc xe cong. Đồ thị không giống như bản đồ, và hướng ngang của đồ thị biểu diễn sự trôi qua của thời gian, chứ không phải khoảng cách)



s/ Ví dụ 2: tìm vận tốc tại điểm chỉ rõ bằng dấu chấm

t/ Đảo chiều chuyển động

Ví dụ q giống ví dụ o ở chỗ vật đi được tổng cộng 25,0 m trong khoảng thời gian 10,0 s, nhưng nó từng lượng tiến triển mỗi giây không còn giống nhau. Không có cách nào mô tả đồ thị bằng một vận tốc hay độ dốc nhất định, vì vận tốc khác nhau tại mỗi thời điểm. Sẽ không chính xác nếu nói rằng vì chiếc xe đi 25,0 m trong 10,0 s nên vận tốc của nó là 2,5 m/s. Nó chuyển động nhanh hơn vào lúc khởi đầu và kết thúc, nhưng lúc giữa đi chậm hơn. Có thể có những chốc lát nhất định chiếc xe thật sự chuyển động 2,5 m/s, nhưng tốc kế trên xe quét qua giá trị đó mà không “ngừng lại”, giống như nó đã quét qua những giá trị khác của tốc độ. (Tôi dứt khoát muốn chiếc xe sau này của mình có tốc kế chế tạo theo m/s và thể hiện cả giá trị dương và âm)

Chúng ta giả sử rằng tốc kế của chúng ta cho chúng ta biết cái đang xảy ra là tốc độ của chiếc xe của chúng ta tại mỗi thời điểm, nhưng làm thế nào chúng ta có thể định nghĩa tốc độ về mặt toán học trong trường hợp như thế này ? Chúng ta không thể định nghĩa ngay nó là độ dốc của đồ thị cong, vì một đường cong không có một độ dốc rõ ràng như đường thẳng. Một định nghĩa toán học tương ứng với số chỉ tốc kế là một định nghĩa gán một giá trị vận tốc khác nhau cho một điểm trên đường cong, tức là một thời điểm trong thời gian, chứ không phải toàn bộ đồ thị. Nếu chúng ta muốn định nghĩa tốc độ tại một thời điểm như thời điểm được chỉ ra bằng dấu chấm, thì cách bắt đầu tốt nhất là minh họa trong hình r, trong đó chúng ta vẽ một đường thẳng

đi qua điểm đó gọi là đường tiếp tuyến, đường thẳng “ôm lấy đường cong”. Khi đó chúng ta có thể thừa nhận định nghĩa vận tốc như sau:

### **định nghĩa vận tốc**

Vận tốc của một vật tại một thời điểm cho trước là độ dốc của đường tiếp tuyến đi qua điểm có liên quan trong đồ thị  $x - t$  của nó.

Một cách hiểu định nghĩa này là vận tốc cho chúng ta biết bao nhiêu mét mà vật đi được trong một giây, nếu như nó chuyển động liên tục ở một tốc độ trong ít nhất là một giây. Đối với một số người, bản chất hình học của định nghĩa này dường như là “không chính xác” hay “không mang tính toán học”. Tuy nhiên, bản thân phương trình đó chỉ có giá trị nếu như vận tốc là không đổi, và vì thế nó không thể nào là một định nghĩa tổng quát.

*Ví dụ 2. Độ dốc của đường tiếp tuyến*

Vận tốc tại điểm đánh dấu chấm trên đồ thị bằng bao nhiêu ?

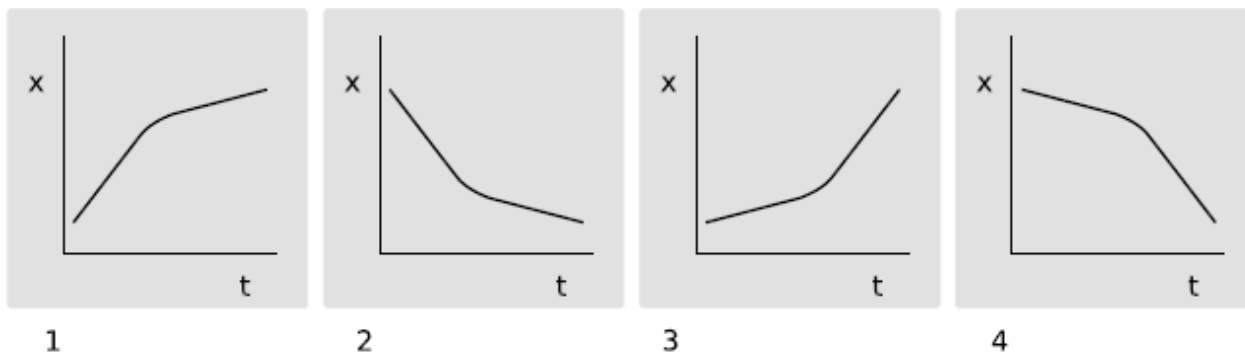
✎ Trước tiên, chúng ta vẽ đường tiếp tuyến đi qua điểm đó. Để tìm độ dốc của đường tiếp tuyến, chúng ta cần lấy hai điểm trên nó. Trên lý thuyết, độ dốc đó phải như nhau cho dù chúng ta chọn hai điểm nào cũng vậy, nhưng trong thực tế chúng ta sẽ có thể đo chính xác hơn nếu như chúng ta lấy hai điểm cách nhau khá xa, ví dụ như hai dấu kim cương trắng trên hình. Để tiết kiệm công sức, chúng ta lấy các điểm nằm về phía trên điểm đã đánh dấu trên trục  $t$ , cho nên dễ dàng đọc được  $\Delta t = 4,0$  s. Một dấu kim cương trắng hàng với  $x \approx 17,5$  m, và dấu kia trắng hàng với  $x \approx 26,5$  m nên  $\Delta x = 9,0$  m. Vận tốc là  $\Delta x / \Delta t = 2,2$  m/s.

### **Quy ước về vẽ đồ thị**

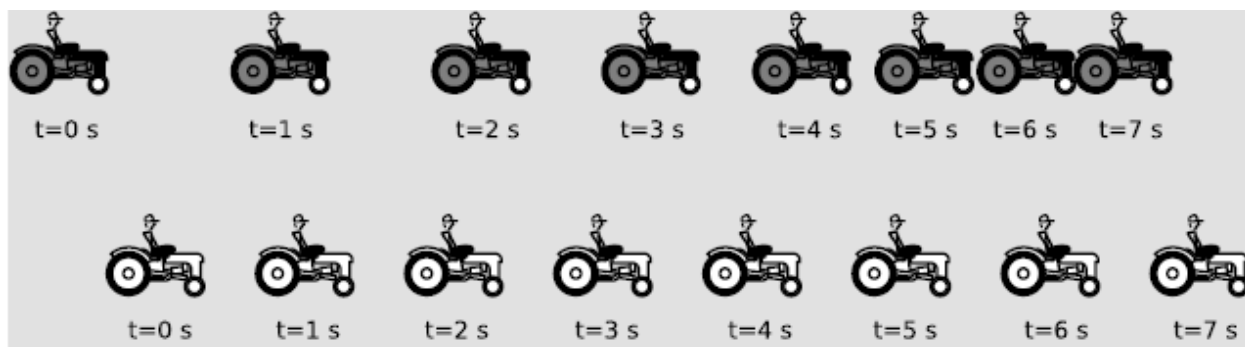
Việc sắp xếp  $t$  trên trục hoành và  $x$  trên trục tung trông như một sự quy ước độc đoán, hay có lẽ nó còn làm bạn bối rối, vì thầy dạy đại số của bạn luôn bảo bạn rằng  $x$  nằm trên trục ngang và  $y$  nằm trên trục dọc. Tuy nhiên, có một lý do khiến người ta bố trí theo kiểu như thế này. Trong ví dụ s, chúng ta có một vật đổi hướng chuyển động của nó hai lần. Nó chỉ có thể ở một nơi tại một thời điểm cho trước, nhưng có nhiều hơn một thời điểm nó khi nó ở một nơi cho trước. Chẳng hạn, vật này đi qua  $x = 17$  m trong ba trường hợp khác nhau, nhưng không có đường nào cho nó ở nhiều hơn một nơi tại  $t = 5,0$  s. Hãy nhớ lại một số thuật ngữ bạn đã học ở môn lượng giác, chúng ta nói  $x$  là hàm số của  $t$ , nhưng  $t$  không phải là hàm của  $x$ . Trong những tình huống như thế này, có một quy ước hữu ích là đồ thị phải định hướng sao cho bất kì đường thẳng đứng nào cũng chỉ cắt qua đường cong tại một điểm. Đặt trục  $x$  nằm ngang trang giấy và trục  $t$  thẳng đứng sẽ vi phạm quy ước này. Đối với những người quen giải thích đồ thị, một đồ thị vi phạm quy ước này khó chịu giống như việc cọ móng tay trên bảng phấn. Chúng ta nói đây là một đồ thị của “ $x$  theo  $t$ ”. Nếu các trục bị đảo lại, nó sẽ là đồ thị của  $t$  theo  $x$ . Tôi nhớ thuật ngữ “theo” bằng cách hình dung các nhãn trên trục  $x$  và  $t$  và ghi nhớ rằng khi bạn đọc, bạn đi từ trái sang phải và từ trên xuống dưới.

© A. Park đang chạy từ từ trong phòng tập thể thao, nhưng khi anh ta thấy Jenna đang nhìn mình, anh ta tăng tốc lên để gây ấn tượng với cô ta. Đồ thị nào trong các đồ thị ở trang bên có thể biểu diễn chuyển động của anh ta ?

B. Hình ở trang bên cho thấy một loạt vị trí đối với hai chiếc máy kéo đang chạy đua. Hãy so sánh vận tốc của hai chiếc máy kéo như cuộc đua tiến triển. Vào lúc nào chúng có vận tốc bằng nhau ?



Câu hỏi A

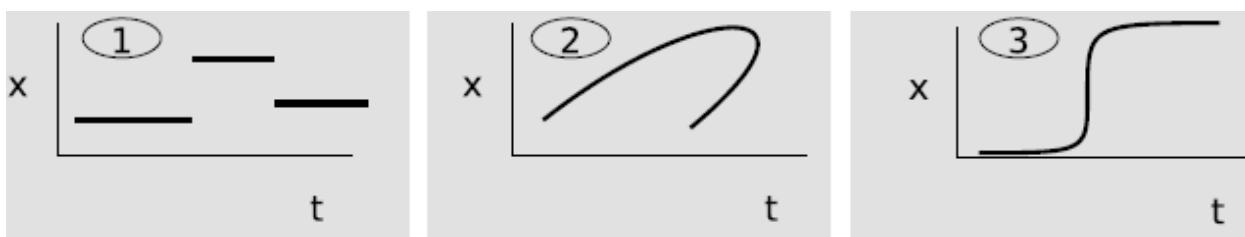


Câu hỏi B

C. Nếu một vật có đồ thị chuyển động là đường thẳng với  $\Delta x = 0$  và  $\Delta t \neq 0$ , thì phát biểu về vận tốc của nó như thế nào là đúng? Điều này trông như thế nào trên đồ thị? Còn khi  $\Delta t = 0$  và  $\Delta x \neq 0$  thì sao?

D. Nếu một vật có đồ thị chuyển động gợn sóng như đồ thị trong hình t ở trang trước, thì tại những điểm nào vật đổi chiều chuyển động của nó? Phát biểu nào là đúng khi nói về vận tốc của vật tại những điểm này?

E. Hãy trình bày những thứ không bình thường trong ba đồ thị sau đây.

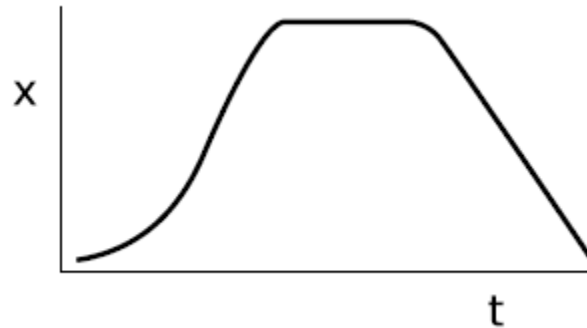


F. Tôi đã sử dụng thuật ngữ “vận tốc” và tránh dùng từ thông dụng hơn là “tốc độ”, vì các sách phổ biến vật lý thường định nghĩa chúng theo nghĩa khác nhau. Họ sử dụng từ “tốc độ” và kí hiệu  $s$  để chỉ giá trị tuyệt đối của vận tốc,  $s = |v|$ . Mặc dù tôi đã lựa chọn là không nhấn mạnh sự khác biệt này về mặt ngữ nghĩa kĩ thuật, nhưng rõ ràng có hai khái niệm khác nhau ở đây. Bạn có thể nghĩ ra một thí dụ về một đồ thị của  $x$  theo  $t$ , trong đó vật có tốc độ không đổi, nhưng không có vận tốc không đổi, hay không?

G. Đối với đồ thị cho trong hình trang bên, hãy mô tả vận tốc của vật thay đổi như thế nào.

H. Hai nhà vật lý trốn khỏi một buổi hội nghị chán ngắt để đi uống bia. Trên đường đến quán bar, họ chứng kiến một vụ tai nạn trong đó người đi bộ bị lái xe đâm vào làm bị thương. Một phiên tòa được tổ chức, và chúng cần được chứng thực. Trong lời khai của cô ta, tiến sĩ Transverz Wayne nói, “Chiếc xe đang chạy trên đường rất nhanh, tôi cho rằng vận tốc là + 40 dặm/giờ. Họ trông thấy người phụ nữ lớn tuổi quá trễ, và

mặc dù họ đã đạp phanh, họ vẫn đâm vào bà ta trước khi dừng lại. Rồi họ ngoặt lại theo chữ U và chạy đi ở vận tốc khoảng  $-20$  dặm/giờ, tôi cho là như vậy”. Tiến sĩ Longitud N.L. Vibrasheun nói, “Anh ta thật sự chạy xe quá nhanh, có lẽ vận tốc của anh ta là  $-35$  hay  $-40$  dặm/giờ. Sau khi anh ta đụng phải cụ bà Hapless, anh ta quay đầu xe và bỏ đi ở vận tốc, ờ, tôi đoán có lẽ là  $+20$  hay  $+25$  dặm/giờ”. Hồi lời khai của họ có mâu thuẫn với nhau không ? Hãy giải thích.



Câu hỏi G

## 2.4 Nguyên lí quán tính

### Các hiệu ứng vật lí chỉ liên quan đến sự biến thiên vận tốc

Xét hai phát biểu thuộc loại có thời đã từng được đưa ra hết sức nghiêm túc:

Những người như Galileo và Copernicus bảo Trái đất đang quay tròn phải thật là điên dại. Chúng ta biết Trái đất không thể nào chuyển động được. Tại sao ư, nếu Trái đất thật sự quay một vòng mỗi ngày, thì toàn bộ thành phố của chúng ta sẽ di chuyển hàng trăm lí [đơn vị đo lường cũ] trong một giờ. Điều đó là không thể được! Các tòa nhà sẽ lung lay trên nền móng của chúng. Gió bão sẽ hạ gục chúng ta. Cây cối sẽ ngã đổ. Địa Trung Hải sẽ tràn qua bờ biển đông của Tây Ban Nha và Italy. Và hơn nữa, lực nào làm cho thế giới xoay chuyển chứ ?

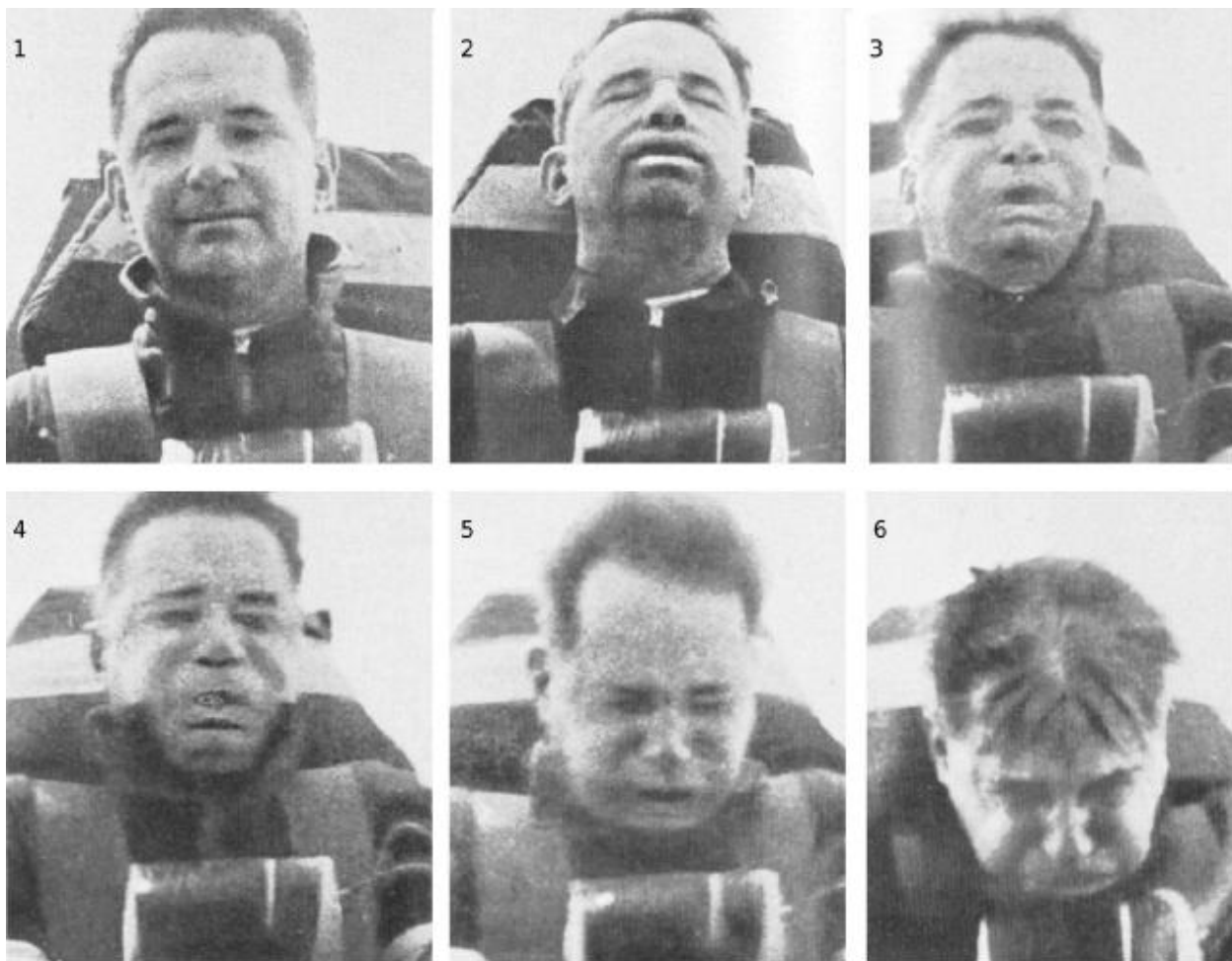
Toàn bộ câu nói các xe lửa chở khách chuyển động  $40$  dặm một giờ chỉ là vớ vẩn! Ở tốc độ đó, không khí trong gian hành khách sẽ tác dụng lực lên thành xe phía sau. Những người ở phía trước xe sẽ bị ngạt thở, và những người ở phía sau sẽ chết vì trong bầu không khí đậm đặc như vậy, họ không thể nào thở ra được.

Một số hiệu ứng tiên đoán trong trích dẫn thứ nhất rõ ràng chỉ dựa trên sự thiếu trải nghiệm với chuyển động nhanh êm ả và sự tự do dao động. Nhưng có một nguyên lí sâu sắc hơn liên quan ở đây. Trong từng trường hợp, người phát biểu giả sử sự kiện chuyển động đơn thuần phải có những ảnh hưởng vật lí đầy kịch tính. Xảo quyết hơn, họ còn tin rằng một lực là cần thiết để giữ cho một vật chuyển động: người thứ nhất nghĩ rằng một lực sẽ cần thiết để duy trì sự quay của Trái đất, và người thứ hai rõ ràng cho rằng thành xe phía sau đẩy lên không khí để giữ cho nó chuyển động.

Kiến thức hiện đại thông dụng và kinh nghiệm cho chúng ta biết rằng tiên đoán của những người này vì lí do gì đó phải dựa trên những suy luận không chính xác, nhưng thật không rõ ràng ngay chỗ sai lầm cơ bản nằm ở đâu. Nó là một trong những thứ mà một đứa trẻ  $4$  tuổi có



thể làm bạn phát cáu vì yêu cầu giải thích khắt khe. Một cách đạt được nguyên lí cơ bản có liên quan là xét xem quan niệm hiện đại về vũ trụ khác như thế nào với quan niệm phổ biến thời kì Phục hưng ở Italy. Đối với chúng ta, từ “Trái đất” chỉ tới một hành tinh, một trong chín hành tinh của hệ Mặt trời của chúng ta, một quả cầu nhỏ của đá và bụi không quan trọng vì với ai trong vũ trụ, ngoại trừ các thành viên trong giống loài của chúng ta, những người sống trên nó. Tuy nhiên, đối với những người đương thời của Galileo, Trái đất là thứ to nhất, rắn chắc nhất, quan trọng nhất trong toàn bộ tạo hóa, không so sánh với những ánh sáng le lói trên bầu trời gọi là các hành tinh. Đối với chúng ta, Trái đất chỉ là một vật thể khác, và khi chúng ta nói mơ hồ về “mức độ nhanh” mà một vật như chiếc xe hơi “đang chuyển động”, là thật sự chúng ta muốn nói tới vận tốc tương đối của vật là chiếc xe hơi so với vật là Trái đất.



u/ Người bác sĩ Không quân này tình nguyện lái một xe trượt tên lửa làm thí nghiệm y khoa. Những tác động rõ rệt lên đầu và khuôn mặt của ông ta không phải vì tốc độ của xe và vì sự thay đổi vận tốc nhanh chóng của nó: tăng lên trong hình 2 và 3, và giảm đi trong hình 5 và 6. Trong hình 4, tốc độ của ông là lớn nhất, nhưng vì tốc độ của ông không tăng hay giảm nhiều lắm tại thời điểm đó, cho nên có ít tác động lên ông.

## Chuyển động là tương đối

Theo thể giới quan hiện đại của chúng ta, không phải là không hợp lý khi trông đợi một lực nhất định là cần thiết để làm cho không khí trong xe lửa có một vận tốc nhất định tương đối so với hành tinh của chúng ta. Sau hết thấy, không khí “đang chuyển động” trong chiếc xe lửa “đang chuyển động” dường như có vận tốc bằng không so với một số hành tinh khác mà chúng ta còn chưa biết. Aristotle khẳng định rằng vạn vật “tự nhiên” muốn nằm yên, trên bề mặt Trái đất. Nhưng thí nghiệm nổi tiếp thí nghiệm cho thấy thật sự chẳng có gì quá đặc biệt về vạn vật nằm nghỉ tương đối so với Trái đất. Chẳng hạn, nếu một tấm đệm rơi ra khỏi phía sau xe tải trên đường cao tốc, nguyên nhân khiến nó nhanh chóng đi đến nằm yên tương đối so với hành tinh đơn giản là vì lực ma sát tác dụng bởi nhựa đường, thứ dường như gắn chặt với hành tinh.

Sự hiểu biết sâu sắc của Galileo được tóm lược như sau:

### Nguyên lý quán tính

Không cần đến một lực nào để duy trì chuyển động với một vận tốc không đổi theo một đường thẳng, và chuyển động tuyệt đối không gây ra bất kỳ hiệu ứng vật lý nào có thể quan sát được.

Có nhiều thí dụ về những tình huống có vẻ như bác bỏ nguyên lý quán tính, nhưng toàn bộ những thí dụ này đều quên rằng ma sát là một lực. Ví dụ, dường như một lực là cần thiết để giữ cho chiếc thuyền buồm chuyển động. Nếu gió ngừng thổi thì chiếc thuyền buồm cũng ngừng lại. Nhưng lực của gió không phải là lực duy nhất tác dụng lên con thuyền; còn có lực ma sát do nước tác dụng. Nếu con thuyền đang lướt đi và gió đột ngột biến mất, thì lực ma sát ngược chiều vẫn tồn tại, và vì không còn có lực của gió chống lại nữa, nên con thuyền ngừng lại. Để bác bỏ nguyên lý tương đối, chúng ta phải tìm một thí dụ trong đó một vật chuyển động chậm dần đi mặc dù chẳng có thứ lực nào tác dụng lên nó.

© Điều nào không đúng về những thí dụ đối lập với nguyên lý quán tính được đề xuất sau đây ?

(1) Khi các nhà du hành bay lên cùng tên lửa, vận tốc khổng lồ của họ thật sự gây ra một tác động vật lý lên cơ thể của họ - họ bị ép xuống chỗ ngồi của mình, da thịt trên gương mặt họ bị bóp méo, và họ khó mà nhấc nổi tay của mình lên.



v/ Tại sao Aristotle trông buồn thế ? Có phải ông đã nhận ra rằng toàn bộ hệ thống vật lý của ông là sai lầm ?



w/ Trái đất quay tròn. Những người sống ở Thượng Hải nói họ đang đứng yên và những người ở Los Angeles thì đang chuyển động. Những người sống ở Los Angeles thì nói giống hệt như vậy về những người sống ở Thượng Hải.



x/ Các máy bay phản lực đứng yên. Còn thành phố New York đang chuyển động.

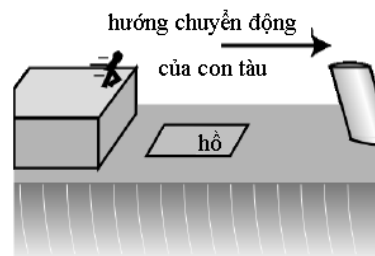
(2) Khi bạn lái một chiếc ô tô gõ bỏ mui đi thì gió lùa trên gương mặt bạn là một tác động vật lí có thể quan sát được của chuyển động tuyệt đối của bạn.

☺ A. Một hành khách trên một con thuyền buồm nhận thấy, trong khi con tàu đậu trong vịnh, anh ta có thể nhảy khỏi boong trên và rơi vào đúng cái hồ trên boong dưới. Nếu con tàu ngừng đậu và đang lướt nhanh đi, thì người hành khách ốm yếu này có còn làm được điều đó không ?

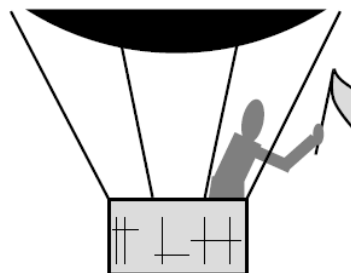
B. Bạn là một hành khách trên cái giỏ mở treo dưới một khí cầu helium. Khí cầu được gió mang đi ở vận tốc không đổi. Nếu bạn giữ một lá cờ trong tay mình thì lá cờ đó có vẫy không ? Nếu có, nó vẫy theo chiều nào ?

C. Aristotle phát biểu rằng mọi vật đều tự nhiên muốn trở lại nằm nghỉ, với ngụ ý không nói ra là “nằm nghỉ” được hiểu theo nghĩa là so với mặt đất. Giả sử chúng ta đi ngược dòng thời gian và chờ Aristotle lên Mặt trăng. Aristotle biết, như chúng ta biết, là Mặt trăng quay tròn xung quanh Trái đất; ông nói nó không rơi xuống vì, giống như mọi thứ khác trên bầu trời, nó cấu thành từ một số chất đặc biệt có hành vi “tự nhiên” là quay tròn xung quanh Trái đất. Chúng ta hạ cánh, mặc đồ phi hành gia cho ông ta và đá ông ta ra khỏi cửa. Hỡi ông ta sẽ trông đợi điều gì với số phận của ông trong tình huống này ? Nếu như các sinh vật thông minh sống được trên Mặt trăng, và một trong số chúng, một cách độc lập, đi đến với cái tương đương của nền vật lí Aristotle, thì chúng sẽ nghĩ gì về các vật đi đến nằm yên ?

D. Một chai bia nằm trên cái bàn nằm ngang trong phòng ăn trên xe lửa, nhưng mặt bia nghiêng đi. Bạn có thể suy ra điều gì về chuyển động của xe lửa ?



Câu hỏi A



Câu hỏi B



Câu hỏi D

## 2.5 Cộng vận tốc

### Cộng vận tốc để mô tả chuyển động tương đối

Vì chuyển động tuyệt đối không thể nào đo rõ ràng được, nên cách duy nhất để mô tả chuyển động một cách không mơ hồ là mô tả chuyển động tương đối của vật này so với vật khác. Một cách tượng trưng, chúng ta có thể viết  $v_{PQ}$  cho vận tốc của vật P tương đối so với vật Q.

Nhưng vận tốc đo so với những điểm tham chiếu khác nhau có thể so sánh bằng phép cộng. Trong hình bên dưới, vận tốc tương đối của quả bóng so với chiếc ghế dài bằng với vận tốc tương đối của quả bóng so với xe tải cộng với vận tốc tương đối của xe tải so với chiếc ghế dài:

$$\begin{aligned} v_{BC} &= v_{BT} + v_{TC} \\ &= 5 \text{ cm/s} + 10 \text{ cm/s} \\ &= 15 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

Phương trình tương tự có thể sử dụng cho bất kì kết hợp nào của ba vật, chỉ bằng cách thay thế các chỉ số dưới tương ứng cho B [bóng], T [xe tải] và C [ghế dài]. Hãy nhớ viết phương trình sao cho vận tốc được cộng có cùng

chỉ số dưới xuất hiện hai lần trong một dòng. Trong thí dụ này, nếu bạn đọc trơn chỉ số dưới từ trái sang phải, bạn thu được  $BC \dots = \dots BTTC$ . Thật ra thì hai chỉ số “phía trong” ở về phải có cùng ý nghĩa là phương trình được thiết lập chính xác. Chú ý cách các chỉ số dưới ở về trái trông giống như các chỉ số dưới ở về phải, nhưng với hai kí hiệu T bị loại trừ.

## Vận tốc âm trong chuyển động tương đối

Trình bày của tôi về cách hiểu các dấu dương và âm của vận tốc có lẽ khiến bạn nghi vấn tại sao chúng ta phải rắc rối như vậy. Tại sao không cho vận tốc dương ngay bằng định nghĩa? Nguyên nhân căn nguyên tại sao số âm được phát minh là vì những người kế toán thấy sự thuận lợi của việc sử dụng số âm cho các khoản chi để phân biệt nó với tiền thu vào. Nó đúng là dễ hơn việc viết tiền thu vào bằng mực đen và tiền chi ra bằng mực đỏ. Sau khi cộng tiền dương thu vào và tiền âm chi ra hàng tháng của bạn, bạn thu được một số dương, biểu thị sự tăng trưởng, hoặc một số âm, biểu thị sự thua lỗ. Khi đó bạn có thể biểu diễn tổng đó với một dấu công nghệ cao “+” hoặc “-”, thay cho việc loay hoay đi tìm lọ mực thích hợp.

Ngày nay, chúng ta sử dụng số dương và số âm cho mọi thứ, nhưng trong mỗi trường hợp, điểm có ý nghĩa là cộng và trừ những thứ đó theo những quy luật bạn đã được học ở trường phổ thông, ví dụ “trừ trừ là cộng, tại sao điều này đúng thì chúng ta không phải bàn cãi”. Cộng vận tốc có ý nghĩa so sánh chuyển động tương đối, và với cách hiểu này, các vận tốc dương và âm có thể được sử dụng trong một khuôn khổ thích hợp. Ví dụ, vận tốc tương đối của xe tải so với chiếc ghế dài bằng với vận tốc tương đối của xe tải so với quả bóng cộng với vận tốc tương đối của quả bóng so với chiếc ghế dài:

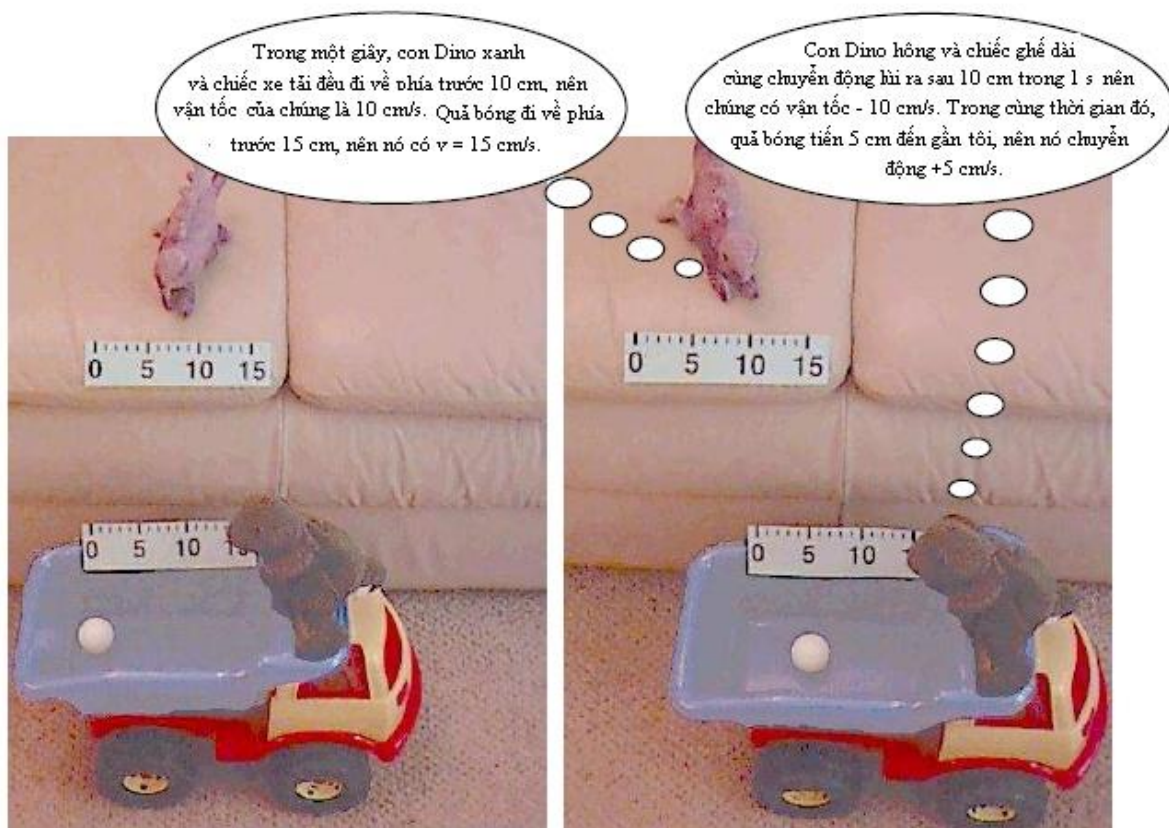
$$\begin{aligned}v_{TC} &= v_{TB} + v_{BC} \\&= -5 \text{ cm/s} + 15 \text{ cm/s} \\&= 10 \text{ cm/s}\end{aligned}$$

Nếu chúng ta không có kĩ thuật số âm, chúng ta sẽ phải ghi nhớ một bộ quy luật phức tạp cho phép cộng: (1) nếu hai vật đều chuyển động về phía trước, bạn cộng lại, (2) nếu một vật chuyển động tới trước và một vật chuyển động ra sau, bạn trừ đi, nhưng (3) nếu hai vật đều chuyển động ra phía sau, bạn cộng lại. Đúng là một hình phạt.

☺ A. Giải thích quy luật chung  $v_{AB} = -v_{BA}$  bằng lời.

B. Wa-Chuen bị lạc mất cha của em tại khu chợ đông người và đi lên chiếc thang cuốn đang chạy xuống, nên cô bé vẫn giẫm chân tại chỗ. Hãy viết lại điều này theo kí hiệu.



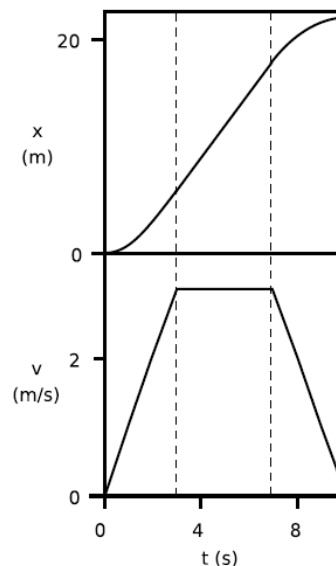


y/ Hai nhà vật lí sành sỏi này bất đồng về vận tốc tuyệt đối, nhưng chúng đồng ý với nhau về vận tốc tương đối. Con Dino hồng xem chiếc ghế dài là đứng yên, còn con Dino xanh thì coi chiếc xe tải là đứng yên. Tuy nhiên, chúng đồng ý rằng vận tốc tương đối của xe tải so với chiếc ghế dài là  $v_{TC} = 10 \text{ cm/s}$ , vận tốc tương đối của quả bóng so với xe tải là  $v_{BT} = 5 \text{ cm/s}$ , và vận tốc tương đối của quả bóng so với chiếc ghế dài là  $v_{BC} = v_{BT} + v_{TC} = 15 \text{ cm/s}$ .

## 2.6 Đồ thị vận tốc – thời gian

Vì sự biến thiên vận tốc giữ vai trò nổi bật trong vật lí học, nên chúng ta cần một phương pháp khảo sát sự biến thiên vận tốc tốt hơn so với việc căn cứ vẽ các đường tiếp tuyến trên đồ thị  $x$  theo  $t$ . Một phương pháp hay là vẽ đồ thị vận tốc theo thời gian. Các ví dụ ở hình bên cho thấy đồ thị  $x - t$  và  $v - t$  có thể vẽ ra cho một chiếc xe hơi bắt đầu chạy đi từ đèn tín hiệu giao thông, tăng tốc, lướt đi trong một khoảng thời gian với vận tốc không đổi, và cuối cùng chạy chậm lại đến điểm dừng đèn đỏ. Nếu bạn có một chai xịt thơm treo cạnh gương chiếu hậu của bạn, thì bạn sẽ thấy sự tác dụng lên chai xịt trong khoảng thời gian bắt đầu và kết thúc khi vận tốc biến thiên, nhưng nó sẽ không nghiêng đi trong khoảng thời gian vận tốc không đổi biểu diễn bằng đoạn nằm ngang ở giữa đồ thị  $v - t$ .

Học sinh thường nhầm lẫn các thứ biểu diễn trên hai loại đồ thị này. Chẳng hạn, nhiều học sinh nhìn vào đồ thị ở trên nói rằng chiếc xe tăng tốc trong toàn bộ thời gian, vì “đồ thị dốc lên trên”. Cái tăng lên trong đồ thị này là  $x$ , không phải  $v$ .



z/ Đồ thị của  $x$  và  $v$  theo  $t$  đối với một chiếc xe đang tăng tốc ra xa một cột đèn giao thông, và rồi dừng lại trước ngọn đèn đỏ khác.

Tương tự, nhiều học sinh nhìn vào đồ thị bên dưới và nghĩ nó biểu diễn chiếc xe hơi quay trở lại vì “nó đi ngược lại tại phần cuối”. Nhưng cái giảm đi tại phần cuối là  $v$ , không phải  $x$ . Có cả đồ thị  $x - t$  và  $v - t$  trước mặt bạn giống như thế này thường thật tiện lợi, vì đồ thị này có thể dễ giải thích hơn đồ thị kia cho một mục đích nhất định. Việc chồng chúng lên nhau như thế này có nghĩa là những điểm tương ứng trên trục thời gian của hai đồ thị thẳng hàng với nhau theo chiều đứng. Tuy nhiên, một điều hơi khác thường về sự sắp xếp này là trong một tình huống như thế này người này thì nghĩ tới chiếc xe hơi, người kia thì dễ nhầm hình dung ra phong cảnh trải ra theo trục ngang của một trong hai đồ thị. Tuy nhiên, các trục ngang biểu diễn thời gian, không phải vị trí. Cách chính xác hình dung ra phong cảnh là quay nhăm trong đầu đường chân trời đi 90 độ ngược chiều kim đồng hồ và tưởng tượng nó trải dọc theo trục thẳng đứng của đồ thị  $x - t$ , trục duy nhất biểu diễn những vị trí khác nhau trong không gian.

## 2.7 | Áp dụng giải tích

Kí hiệu tích phân,  $\int$ , ở trước phần này có nghĩa là phần này chỉ dành cho những học sinh đã học vi tích phân. Học sinh có nền tảng đại số nên bỏ qua những phần này. Những phần có liên quan tới vi tích phân trong cuốn sách này không thích hợp cho những học sinh đồng thời đang học giải tích, nên tại điểm bắt đầu này trong khóa học vật lí, tôi không giả sử bạn biết bất kì phép tính giải tích nào. Vì thế, phần này không khác gì một phần xem trước của phép tính giải tích, nhằm giúp bạn liên hệ cái bạn đang học ở hai môn giải tích và vật lí.

Newton là người đầu tiên nêu ra định nghĩa đường tiếp tuyến của vận tốc cho những trường hợp trong đó đồ thị  $x - t$  không thẳng. Trước Newton, không ai từng khái niệm hóa mô tả chuyển động theo đồ thị  $x - t$  và  $v - t$ . Ngoài kĩ thuật hình học nói tới trong chương này, Newton còn phát minh ra một bộ kĩ thuật trừu tượng gọi là vi tích phân. Nếu bạn có một phương trình cho  $x$  theo  $t$ , thì vi tích phân cho phép bạn, chẳng hạn, tìm một phương trình cho  $v$  theo  $t$ . Theo thuật ngữ giải tích, chúng ta nói hàm  $v(t)$  là đạo hàm của hàm  $x(t)$ . Nói cách khác, đạo hàm của một hàm số là một hàm số mới cho biết hàm ban đầu biến thiên nhanh như thế nào. Ngày nay, chúng ta không sử dụng tên gọi của Newton cho kĩ thuật của ông (ông gọi nó là “phương pháp liên tục”) cũng không dùng kí hiệu của ông. Kí hiệu được sử dụng thông dụng hơn là do người Đức đương thời với Newton, Leibnitz, người mà người Anh cho là đã ăn cắp ý tưởng giải tích từ Newton. Theo kí hiệu Leibnitz, chúng ta viết

$$v = \frac{dx}{dt}$$

để chỉ rằng hàm  $v(t)$  bằng độ dốc của đường tiếp tuyến của đồ thị  $x(t)$  tại mỗi thời điểm  $t$ . Kí hiệu Leibnitz gọi lên kí hiệu delta, nhưng với khoảng thời gian rất nhỏ. Vì  $dx$  và  $dt$  được cho là  $\Delta x$  và  $\Delta t$  rất nhỏ, tức là những độ biến thiên rất nhỏ, nên phần giải tích làm toán với đạo hàm được gọi là giải tích vi phân.

Phép tính vi phân gồm ba điều:

- Khái niệm và định nghĩa của đạo hàm, chúng không được trình bày trong cuốn sách này nhưng sẽ được trình bày chi tiết trong môn toán bạn học.



- Ký hiệu Leibnitz mô tả ở trên bạn sẽ học cho quen dần trong môn toán.
- Một bộ quy luật cho phép bạn tìm một phương trình cho đạo hàm của một hàm cho trước. Ví dụ, nếu bạn gặp một tình huống trong đó vị trí của một vật được cho bởi phương trình  $x = 2t^7$ , thì bạn có thể sử dụng những quy luật đó để tìm  $dx/dt = 14t^6$ . Gói mảnh lời này sẽ có mặt trong môn toán của bạn.

## Tóm tắt chương

### Từ khóa chọn lọc

khối tâm .....	điểm cân bằng của một vật
vận tốc .....	tốc độ biến thiên của vị trí; độ dốc của đường tiếp tuyến trên đồ thị $x - t$

### Kí hiệu

$x$ .....	một điểm trong không gian
$t$ .....	một điểm trong thời gian; số chỉ đồng hồ
$\Delta$ .....	“sự biến thiên”; giá trị của một biến sau khi trừ cho giá trị trước đó của nó
$\Delta x$ .....	khoảng cách, hay chính xác hơn là độ biến thiên của $x$ , nó có thể nhỏ hơn quãng đường đã đi; dấu cộng và trừ của nó cho biết hướng
$\Delta t$ .....	một khoảng thời gian
$v$ .....	vận tốc
$v_{AB}$ .....	vận tốc tương đối của vật A so với vật B

### Thuật ngữ và kí hiệu khác

độ dời .....	một tên gọi cho kí hiệu $\Delta x$
tốc độ .....	giá trị tuyệt đối của vận tốc, tức là vận tốc bị loại mất mọi thông tin về hướng của nó

### Tóm tắt

Khối tâm của một vật là điểm mà tại đó nó có thể cân bằng. Vào lúc này, chúng ta đang nghiên cứu mô tả toán học chỉ của chuyển động của khối tâm của vật trong những trường hợp hạn chế với một chiều. Chuyển động của khối tâm của vật thường đơn giản hơn nhiều so với chuyển động của bất kì phần nào khác của nó.

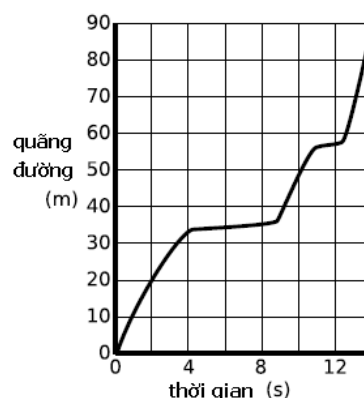
Điều quan trọng là phân biệt vị trí,  $x$ , với khoảng cách,  $\Delta x$ , và số chỉ đồng hồ,  $t$ , với khoảng thời gian,  $\Delta t$ . Khi đồ thị  $x - t$  của một vật là đường thẳng, chúng ta định nghĩa vận tốc của nó là độ nghiêng của đường thẳng đó,  $\Delta x/\Delta t$ . Khi đồ thị là đường cong, chúng ta khái quát hóa định nghĩa sao cho vận tốc là độ dốc của đường tiếp tuyến tại một điểm cho trước trên đồ thị.

Nguyên lí quán tính Galileo phát biểu rằng không cần lực nào để duy trì chuyển động với vận tốc không đổi theo một đường thẳng, và chuyển động tuyệt đối không gây ra bất kì hiệu ứng vật lí nào có thể quan sát được. Mọi vật thường có xu hướng giảm vận tốc tương đối của chúng so với bề mặt hành tinh chúng ta chỉ vì chúng bị ma sát vật lí với hành tinh (hay với một số vật gắn liền với hành tinh), không phải vì có cái gì đó đặc biệt là nằm nghỉ so với mặt đất. Ví dụ, khi một lực là cần thiết để giữ cho một cuốn sách trượt trên bàn, thực ra thì lực đó chỉ đóng vai trò triệt tiêu với lực ma sát có chiều ngược lại.

Chuyển động tuyệt đối không phải là một khái niệm hoàn toàn xác định, và nếu hai nhà quan sát không đứng yên so với nhau, họ sẽ bất đồng về vận tốc tuyệt đối của các vật. Tuy nhiên, họ sẽ thống nhất với nhau về vận tốc tương đối. Nếu vật A chuyển động tương đối so với vật B, và B chuyển động tương đối so với C, thì vận tốc tương đối của A so với C được cho bởi  $v_{AC} = v_{AB} + v_{BC}$ . Các dấu dương và âm được sử dụng để chỉ hướng chuyển động của vật.

## Bài tập

1. Đồ thị hình bên biểu diễn chuyển động của một xe hơi đi qua trạm đèn đỏ trên xa lộ. (a) Nếu bạn chỉ biết chiếc xe đi bao xa trong toàn bộ khoảng thời gian này, thì bạn nghĩ vận tốc của nó là bao nhiêu? (b) Vận tốc lớn nhất của chiếc xe là bao nhiêu?



Bài toán 1

2. (a) Đặt  $\theta$  là vĩ độ của một điểm trên bề mặt Trái đất. Hãy tìm phương trình đại số cho quãng đường,  $L$ , đi được bởi điểm đó trong một vòng quay của Trái đất quanh trục của nó, tức là trong một ngày, biểu diễn theo  $L$ ,  $\theta$ , và  $R$ , bán kính của Trái đất. Hãy kiểm tra: phương trình của bạn sẽ cho  $L = 0$  đối với Cực Bắc.

(b) Ở tốc độ nào là Fullerton, tại vĩ độ  $\theta = 34^\circ$ , chuyển động cùng với sự quay của Trái đất quanh trục của nó? Đưa ra đáp án của bạn theo đơn vị dặm/giờ.

3. Một người đang nhảy dù. Trong thời gian từ khi cô ta nhảy khỏi máy bay đến khi cô ta bung dù, độ cao của cô ta được cho bởi phương trình

$$y = (10000 \text{ m}) - (50 \text{ m/s}) [t + (5,0 \text{ s}) e^{-t/5,0 \text{ s}}]$$

Tìm vận tốc của cô ta tại  $t = 7,0 \text{ s}$ . (Yêu cầu này có thể thực hiện trên máy tính bỏ túi, không cần biết đến vi tích phân) Do sức cản không khí, vận tốc của cô ta không tăng lên ở tốc độ đều như một vật rơi đang tự do chân không.

4. Một năm ánh sáng là đơn vị khoảng cách dùng trong thiên văn học, và được định nghĩa là quãng đường mà ánh sáng đi được trong một năm. Tốc độ ánh sáng là  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Tìm xem có bao nhiêu mét trong một năm ánh sáng, biểu diễn đáp án của bạn theo kí hiệu khoa học.

5. Bạn đang đứng trong một xe lửa chờ hàng, và không có cách nào nhìn ra bên ngoài. Nếu bạn phải nghiêng chân của mình để trụ lại, thì nó có thể cho bạn biết điều gì về vận tốc của xe lửa? Hãy giải thích.

6. Vị trí của một con ong mật là một hàm của thời gian cho bởi  $x = 10t - t^3$ , trong đó  $t$  đo bằng s và  $x$  đo bằng m. Hỏi vận tốc của nó bằng bao nhiêu lúc  $t = 3,0$  s ?

7. Hình bên biểu diễn chuyển động của một điểm trên vành bánh xe đang quay (Hình có tên gọi là cycloid). Giả sử con rệp A đang bám trên vành bánh xe trên một chiếc xe đạp đang lăn bánh, còn con rệp B bám trên bánh xe quay tròn của chiếc xe đạp đang dựng ngược trên sàn nhà. Cả hai bánh xe quay với số vòng quay mỗi phút bằng nhau. Hỏi con rệp nào khó bám vững hơn, hay là chúng cảm thấy khó cân bằng như nhau ?

8. Cây đậu phong khép lá của chúng lại vào ban đêm. Hãy ước tính tốc độ lớn nhất của phần rìa một trong những chiếc lá trong hình, biểu diễn đáp án của bạn bằng kí hiệu khoa học theo đơn vị SI.

9. (a) Hãy chuyển thông tin sau đây thành kí hiệu, sử dụng kí hiệu với hai chỉ số dưới đưa ra trong phần 2.5. Eowyn đang cười trên con ngựa của cô ta ở vận tốc 11 m/s. Cô xoay người quanh yên ngựa và bắn ra một mũi tên về phía sau. Cung tên của cô ta bắn tên ra ở vận tốc 25 m/s.

(b) Tìm tốc độ của mũi tên tương đối so với đất.

10. Phần khảo sát của chúng ta về chuyển động hai và ba chiều được hoãn lại đến phần sau của cuốn sách này, nhưng đây là cơ hội sử dụng một chút óc sáng tạo toán học tham gia vào hoạt động khái quát hóa. Giả sử một con tàu đang chạy về hướng đông ở vận tốc nhất định  $v$ , và một hành khách đang đi bộ trên boong tàu cũng ở tốc độ  $v$ , sao cho đường đi của anh ta trên boong tàu vuông góc với đường chính giữa con tàu. Hỏi tốc độ tương đối của anh ta so với nước bằng bao nhiêu, và anh ta chuyển động tương đối so với nước theo hướng nào ?

11. Freddi Fish<sup>(TM)</sup> có vị trí là hàm của thời gian cho bởi phương trình  $x = a / (b + t^2)$ . Hãy tìm tốc độ lớn nhất của nó.

12. Đang lái xe, bạn đưa chân mình ra ngoài không khí, và tốc kế của bạn chỉ một sự giảm tốc độ. Hãy mô tả một hệ quy chiếu trong đó chiếc xe của bạn đang *tăng tốc* cũng trong khoảng thời gian này (Hệ quy chiếu phải được định nghĩa bởi một nhà quan sát không thay đổi tốc độ hay hướng chuyển động riêng của cô ta, mặc dù có thể nằm trong chuyển động tương đối so với Trái đất).

13. Hình bên dưới cho thấy chuyển động của một con cá ngừ đại dương đo bằng một tấm thẻ phát vô tuyến, trong khoảng thời gian chừng vài năm. Tính cho đến nghiên cứu này, người ta tin rằng số lượng cá ngừ ở miền đông và tây Đại Tây Dương là độc lập nhau, nhưng loài cá đặc biệt này đã được theo dõi là đã di xuyên qua toàn bộ Đại Tây Dương, từ Virginia đến Ireland.

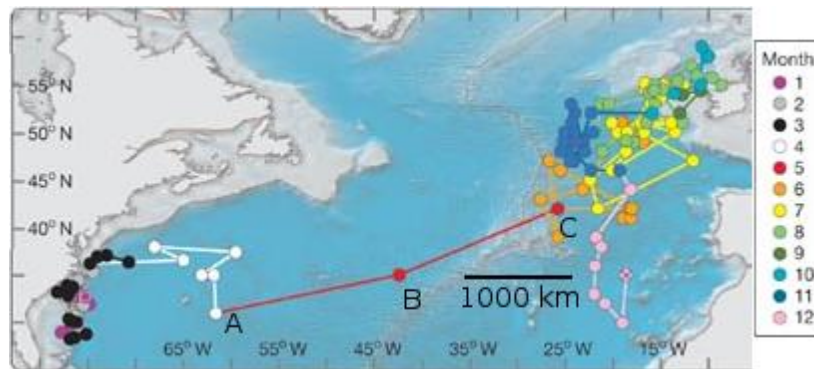


Bài toán 7



Bài toán 8

Các điểm A, B, và C biểu diễn khoảng thời gian một tháng, trong thời gian đó cá ngừ đã di chuyển nhanh nhất. Hãy ước tính tốc độ của nó trong tháng đó, theo đơn vị km/h.



Bài toán 13





Sự mâu thuẫn của Galileo với Aristotle đã có những hệ quả nghiêm trọng. Ông bị giới chức Giáo hội thẩm vấn và ép buộc phải giảng dạy rằng Trái đất quay xung quanh Mặt trời, như trước đó ông đề xuất, chỉ là một giả thuyết toán học thuần túy, chứ không phải sự thật. Ông bị quản thúc vĩnh viễn tại nhà, và cấm viết sách hay giảng dạy lý thuyết của ông. Ngay sau khi bị buộc phải rút lại lời khẳng định của ông rằng Trái đất quay xung quanh Mặt trời, lão già vẫn bướng bỉnh lắm bầm “và dù sao thì nó vẫn quay”. Câu chuyện đầy kịch tính, nhưng có một số thiếu sót trong phiên bản mang tính chất anh hùng thường được truyền dạy. Có tin đồn là nhân vật Simplicio là ám chỉ Đức Giáo hoàng. Ngoài ra, một số ý tưởng do Galileo chủ trương có những ngụ ý tôn giáo gây tranh cãi. Ông tin vào sự tồn tại của các nguyên tử, và nguyên tử luận bị một số người cho là mâu thuẫn với học thuyết hóa thể của Giáo hội, học thuyết nói rằng trong đại chúng Công giáo, phúc lành của bánh mì và rượu đúng là chuyển hóa chúng thành máu thịt của Chúa. Sự ủng hộ của ông cho một lý thuyết vũ trụ trong đó Trái đất quay tròn xung quanh Mặt trời cũng bị mang tai mang tiếng, vì một trong những người ủng hộ của nó, Giordano Bruno, cũng đã đề xuất một sự dung hợp kì lạ của đạo Cơ đốc với tín ngưỡng Hi Lạp cổ đại.

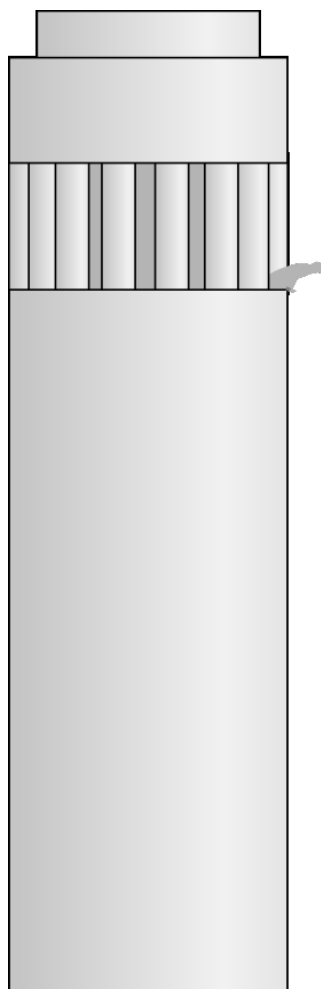
## Chương 3

### Gia tốc và sự rơi tự do

#### 3.1 Chuyển động của vật rơi

Chuyển động của vật rơi là thí dụ đơn giản nhất và thông dụng nhất của chuyển động với vận tốc biến thiên. Những người tiên phong buổi đầu nghiên cứu vật lý đã có trực giác chính xác rằng cách thức vật rơi là một lời nhắn gửi trực tiếp từ Tự nhiên về cách thức vũ trụ hoạt động.

Những thí dụ khác dường như kém có tầm quan trọng sâu sắc hơn. Một người đi bộ bước đi nhanh lên là đang thực hiện một sự lựa chọn có ý thức. Nếu như một nhánh của con sông chảy nhanh hơn nhánh khác, có thể chỉ là vì dòng chảy ở đó hẹp hơn, nó chỉ là một sự ngẫu nhiên của địa lí cục bộ. Nhưng có một số điều hết sức phù hợp, phổ biến và không lay chuyển được về cách thức các vật rơi.



a/ Galileo thả rơi một quả đại bác và một viên đạn đồng thời từ một tòa tháp xuống, và quan sát thấy chúng chạm đất gần như cùng một lúc. Điều này mâu thuẫn với ý tưởng được chấp nhận lâu nay của Aristotle rằng các vật nặng sẽ rơi nhanh hơn.

Hãy đứng dậy nào và hãy đồng thời thả rơi một đồng tiền mà một miếng giấy. Miếng giấy mất nhiều thời gian hơn để chạm đất. Đó là lí do tại sao Aristotle viết rằng các vật nặng rơi nhanh hơn. Người châu Âu đã tin vào ông ta trong hai nghìn năm trời.

Giờ hãy lặp lại thí nghiệm, nhưng làm một cuộc đua giữa đồng tiền và chiếc giày của bạn. Chiếc giày của tôi nặng gấp 50 lần đồng nickel, nhưng tôi thấy hình như chúng chạm đất chính xác cùng một lúc. Quá sai lầm cho Aristotle! Galileo, kẻ có tài nhận thấy ngay tình hình, đã tiến hành thí nghiệm thả rơi một viên đạn và một quả đại bác nặng từ một tòa tháp cao. Các quan sát của Aristotle không hoàn chỉnh, cách giải thích của ông là quá sức đơn giản.

Thật không thể tưởng tượng được, Galileo đã là người đầu tiên quan sát thấy một sự trái ngược với những tiên đoán của Aristotle. Galileo là người đã làm thay đổi nội dung bài học lịch sử vì ông có khả năng tập hợp các quan sát thành một khuôn mẫu chặt chẽ, và cũng vì ông đã tiến hành những phép đo định lượng (dạng số) có hệ thống thay cho việc mô tả các thứ một cách định tính.

Tại sao một số vật, như đồng tiền và chiếc giày, có chuyển động giống nhau, nhưng một số vật khác, như lông chim hay miếng giấy, lại chuyển động khác nhau? Galileo biện luận rằng ngoài lực luôn luôn hút vật xuống dưới, còn có một lực hướng lên trên tác dụng bởi không khí. Bất kì ai cũng có thể biện luận, nhưng Galileo vượt xa hơn biện luận và đi đến hai thí nghiệm tài tình để khảo sát vấn đề. Thứ nhất, ông thí nghiệm với các vật rơi trong nước, nó khảo sát cùng loại vấn đề nhưng làm cho chuyển động đủ chậm để ông tiến hành đo thời gian với một cái đồng hồ quả lắc ban sơ. Với kĩ thuật này, ông đã thiết lập nên những thực tế sau:

- Tất cả các vật nặng, dạng thuần (ví dụ một thanh thép thả thẳng đứng) chạm đáy bể trong khoảng thời gian như nhau, chỉ hơi lâu hơn thời gian cho chúng rơi từ cùng khoảng cách trong không khí.
- Các vật nhẹ hơn hay kém thuần hơn mất nhiều thời gian hơn mới chạm tới đáy.

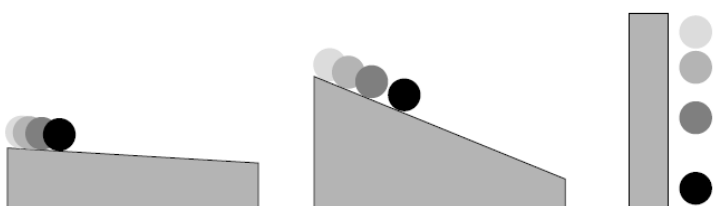
Kết quả này củng cố cho giả thuyết của ông về hai lực ngược chiều. Ông tưởng tượng ra một tình huống lí tưởng trong đó vật rơi không phải xô đẩy đường đi của nó qua bất kì chất nào



cả. Rơi trong không khí sẽ giống trường hợp lí tưởng này hơn rơi trong nước, nhưng ngay cả một môi trường mỏng, thưa thớt như không khí cũng đủ gây ra những hiệu ứng rõ ràng lên chiếc ống chim hay những vật nhẹ khác không có dạng thuôn dài. Ngày nay, chúng ta có bơm chân không cho phép chúng ta hút hầu như toàn bộ không khí ra khỏi ống, và nếu chúng ta thả một cái lông chim và một viên đá đồng thời trong chân không, cái lông chim sẽ không còn rơi trễ hơn đá nữa.

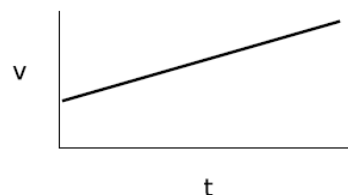
Hành động thiên tài thứ hai của Galileo là tìm một cách thực hiện các phép đo định lượng xem vận tốc của vật rơi tăng lên như thế nào khi nó chuyển động xuống. Một lần nữa thật khó mà tiến hành những phép đo thời gian đủ chính xác với một cái đồng hồ thô sơ, và một lần nữa ông tìm thấy một cách tinh tế làm chậm mọi thứ đi trong khi vẫn giữ nguyên các hiện tượng vật lí cơ bản: ông cho một quả cầu lăn xuống một mặt nghiêng thay vì thả nó rơi thẳng đứng. Mặt phẳng nghiêng càng dốc thì quả cầu thu vận tốc càng nhanh. Không hề có camera thu hình tối tân nào, Galileo đã phát minh ra một cách tiến hành phiên bản chuyển động chậm của sự rơi.

Mặc dù đồng hồ của Galileo chỉ đủ tốt cho tiến hành những thí nghiệm chính xác ở những góc nhỏ, nhưng ông chắc chắn sau khi thực hiện một nghiên cứu có hệ thống ở nhiều góc nhỏ khác nhau rằng kết luận cơ bản của ông nói chung là đúng. Phát biểu theo ngôn ngữ hiện đại, cái ông tìm thấy là đồ thị vận tốc theo thời gian là một đường thẳng. Theo ngôn ngữ đại số, chúng ta biết một đường thẳng có phương trình thuộc dạng  $y = ax + b$ , nhưng các biến của chúng ta là  $v$  và  $t$ , nên nó sẽ là  $v = at + b$  (Hằng số  $b$  có thể hiểu đơn giản là vận tốc ban đầu của vật, tức là vận tốc của nó tại thời điểm khi chúng ta bắt đầu đo giờ, thường chúng ta viết là  $v_0$ ).

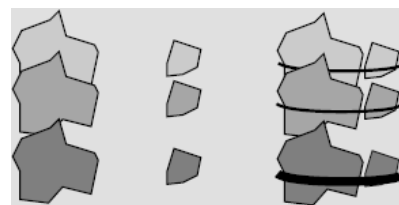


b/ Vận tốc tăng nhanh hơn trên mặt nghiêng dốc hơn, nhưng mặt khác, chuyển động là giống như chuyển động của vật rơi.

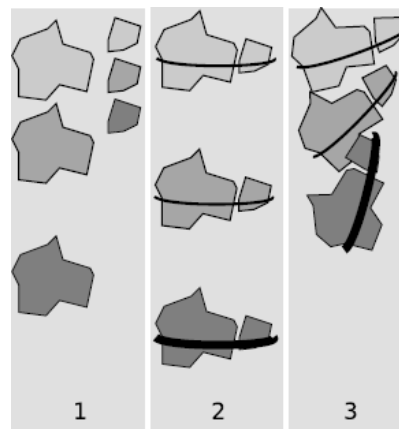
© Một vật đang lăn xuống một mặt phẳng nghiêng. Sau khi lăn được một khoảng thời gian, người ta thấy nó đi được 13 cm trong khoảng thời gian 1 giây nhất định. Trong giây tiếp sau đó, nó đi được 16 cm. Hỏi nó sẽ đi được bao nhiêu cm trong giây thứ hai sau đó ?



c/ Đồ thị  $v - t$  của một vật rơi là đường thẳng.



d/ Các thí nghiệm của Galileo cho thấy tất cả những vật rơi có cùng chuyển động nếu như sức cản không khí có thể bỏ qua.



e/ 1. Aristotle nói vật nặng thì rơi nhanh hơn vật nhẹ. 2. Nếu hai hòn đá buộc lại với nhau, tạo thành một hòn đá nặng hơn, thì chúng sẽ rơi nhanh hơn. 3. Nhưng lí thuyết của Aristotle cũng tiên đoán rằng hòn đá nhẹ bị giữ lại phía sau hòn đá nặng, làm cho sự rơi chậm hơn.

## Mâu thuẫn trong lí giải của Aristotle

Thí nghiệm mặt phẳng nghiêng của Galileo đã bác bỏ điều khẳng định được công nhận lâu nay bởi Aristotle rằng một vật rơi có một “tốc độ rơi tự nhiên” xác định tỉ lệ với trọng lượng của nó. Galileo tìm thấy tốc độ chỉ giữ tăng lên, và trọng lượng chẳng có liên quan gì khi sức cản không khí có thể bỏ qua. Galileo không chỉ chứng minh bằng thí nghiệm rằng Aristotle đã sai, mà ông còn chỉ ra một mâu thuẫn lô gic trong cách lí giải riêng của Aristotle. Simplicio, nhân vật xuẩn ngốc, khoe khoang kinh nghiệm học từ Aristotle:

Simplicio: Không nghi ngờ gì một vật nhất định... có một vận tốc cố định được xác định bởi tự nhiên...

Salviati: Nếu khi đó chúng ta xét hai vật có vận tốc tự nhiên khác nhau, thì rõ ràng rằng [theo Aristotle], khi buộc hai vật lại với nhau, vật rơi nhanh sẽ bị vật rơi chậm kéo lại, còn vật rơi chậm sẽ bị vật rơi nhanh thúc lên. Anh đồng ý với tôi trên quan điểm này chứ ?

Simplicio: Nhất định là anh nói đúng.

Salviati: Nhưng nếu điều này đúng, và nếu hòn đá lớn chuyển động với tốc độ, nói ví dụ, 8 [đơn vị không rõ] còn hòn đá nhỏ chuyển động với tốc độ 4, thì hai vật hợp làm một, hệ sẽ chuyển động với tốc độ nhỏ hơn 8; nhưng hai hòn đá khi buộc chặt với nhau, chúng tạo thành một hòn đá lớn hơn hòn trước đó rơi với tốc độ 8. Vậy thì vật nặng chuyển động với tốc độ nhỏ hơn vật nhẹ; một kết quả trái với giả thuyết của anh. Như vậy, anh thấy đó, từ giả thuyết của anh rằng vật nặng rơi nhanh hơn vật nhẹ, tôi suy ra rằng vật nặng lại chuyển động chậm hơn.

## Hấp dẫn là gì ?

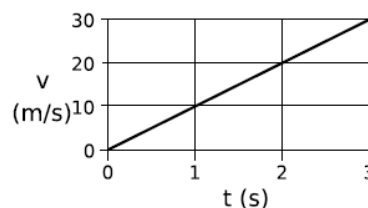
Nhà vật lí Richard Feynman thích kể một câu chuyện rằng khi ông còn là một đứa trẻ, ông đã hỏi bố ông “Tại sao các vật lại rơi xuống?”. Khi trưởng thành, ông ca ngợi bố của ông vì đã trả lời rằng “Không ai biết tại sao các vật lại rơi xuống. Nó là một bí ẩn sâu sắc, và những con người đau khổ trên thế giới không biết nguyên do cơ bản cho điều đó”. Trái với câu trả lời ửng khẩu của một người bình thường, “Ồ, đó là vì lực hấp dẫn”, Feynman thích câu trả lời của bố ông, vì bố ông nhận ra rằng việc đơn giản đặt một cái tên cho một thứ gì đó không có nghĩa là bạn đã hiểu nó. Điều căn bản về phương pháp tiếp cận khoa học của Galileo và Newton là họ tập trung trước hết vào việc mô tả cái thật sự xảy ra, chứ không mất quá nhiều thời gian cho những lập luận không thể kiểm tra được như phát biểu của Aristotle rằng “Các vật rơi xuống vì chúng cố chạm tới vị trí tự nhiên của chúng là tiếp xúc với đất”. Điều đó không có nghĩa là khoa học có thể không bao giờ trả lời được những câu hỏi “tại sao”. Trong một hai tháng tới khi bạn nghiên cứu sâu hơn về vật lí, bạn sẽ biết rằng có những lí do cơ bản hơn lí giải vì sao mọi vật rơi có đồ thị  $v - t$  có cùng độ dốc, bất kể khối lượng của chúng. Tuy nhiên, các phương pháp khoa học luôn luôn gặp phải những hạn chế trên mức độ sâu sắc mà lời giải thích của chúng ta có thể đi tới.

## 3.2 Gia tốc

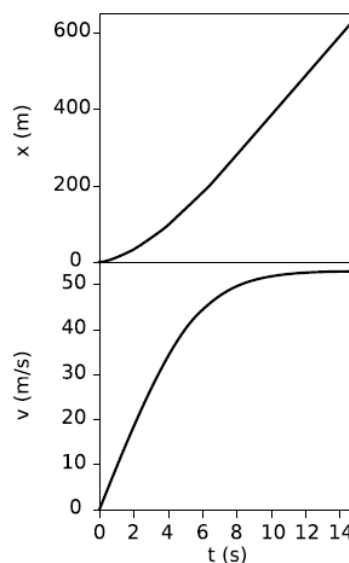
### Định nghĩa gia tốc cho các đồ thị $v - t$ thẳng

Thí nghiệm của Galileo với các vật nặng và nhẹ rơi từ một tòa tháp cho thấy mọi vật rơi có chuyển động giống như nhau, và thí nghiệm mặt phẳng nghiêng của ông cho thấy chuyển động đó được mô tả bởi phương trình  $v = at + v_0$ . Vận tốc ban đầu  $v_0$  phụ thuộc vào việc bạn thả vật ra từ trạng thái nghỉ hay là ném nó xuống, nhưng cho dù là bạn ném nó xuống, bạn không thể làm thay đổi độ dốc,  $a$ , của đồ thị  $v - t$ .

Vì những thí nghiệm này cho thấy tất cả những vật rơi đều có đồ thị  $v - t$  thẳng với cùng độ dốc, cho nên độ dốc của một đồ thị như thế hiển nhiên là quan trọng và là đại lượng có ích. Chúng ta sử dụng từ gia tốc, và kí hiệu  $a$ , cho độ dốc của một đồ thị như thế. Theo kí hiệu thì  $a = \Delta v / \Delta t$ . Gia tốc có thể hiểu là lượng vận tốc thu được trong mỗi giây, và nó có đơn vị của vận tốc chia cho thời gian, tức là “mét trên giây trên giây”, hay  $\text{m/s/s}$ . Tiếp tục xem đơn vị như thế chúng là kí hiệu đại số, chúng ta đơn giản “ $\text{m/s/s}$ ” để đọc “ $\text{m/s}^2$ ”. Gia tốc có thể là đại lượng có ích cho việc mô tả những loại chuyển động khác ngoài sự rơi, và từ gọi và kí hiệu  $a$  có thể sử dụng trong ngữ cảnh tổng quát hơn. Chúng ta dành kí hiệu “ $g$ ” chuyên dụng hơn cho gia tốc của vật rơi, trên bề mặt hành tinh chúng ta nó bằng  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Thông thường khi tính gần đúng hay những ví dụ bằng số mang tính minh họa đơn thuần, có thể lấy  $g = 10 \text{ m/s}^2$  cũng đủ, sai số chỉ là 2%.



f/ Ví dụ 1



g/ Ví dụ 6

Ví dụ 1. Cho biết thời gian, tìm tốc độ cuối cùng

Một học sinh vật lí thoải chí nhảy cầu tự vẫn, và rơi trong ba giây trước khi chạm tới nước. Hỏi anh ta chuyển động bao nhanh khi anh ta chạm tới nước ?

☞ Lấy xấp xỉ  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , anh ta sẽ thu được  $10 \text{ m/s}$  tốc độ mỗi giây. Sau 1 giây, vận tốc của anh ta là  $10 \text{ m/s}$ , sau 2 giây, nó là  $20 \text{ m/s}$ , và khi va chạm, sau khi rơi hết 3 giây, anh ta đang chuyển động ở vận tốc  $30 \text{ m/s}$ .

Ví dụ 2. Tính gia tốc từ đồ thị

Các đồ thị  $x - t$  và  $v - t$  biểu diễn chuyển động của một chiếc xe hơi bắt đầu từ điểm dừng đèn đỏ. Gia tốc của xe bằng bao nhiêu ?

☞ Gia tốc được định nghĩa là độ dốc của đồ thị  $v - t$ . Đồ thị tăng  $3 \text{ m/s}$  trong khoảng thời gian  $3 \text{ s}$ , nên gia tốc là  $(3 \text{ m/s}) / (3 \text{ s}) = 1 \text{ m/s}^2$ .

Lời giải không đúng #1: Vận tốc cuối cùng là  $3 \text{ m/s}$ , và gia tốc là vận tốc chia cho thời gian, nên gia tốc là  $(3 \text{ m/s}) / (10 \text{ s}) = 0,3 \text{ m/s}^2$ .

Lời giải không đúng vì bạn không thể tìm độ dốc của một đồ thị từ một điểm. Người này chỉ sử dụng điểm tại đầu cuối bên phải của đồ thị  $v - t$  để tìm độ dốc của đường cong.

Lời giải không đúng #2: Vận tốc là quãng đường chia cho thời gian nên  $v = (4,5 \text{ m}) / (3 \text{ s}) = 1,5 \text{ m/s}$ . Gia tốc là vận tốc chia cho thời gian, nên  $a = (1,5 \text{ m/s}) / (3 \text{ s}) = 0,5 \text{ m/s}^2$ .

Lời giải không đúng vì vận tốc là độ dốc của đường tiếp tuyến. Trong trường hợp vận tốc thay đổi như thế này, bạn không thể lấy hai điểm trên đồ thị  $x - t$  và sử dụng chúng để tìm vận tốc.

### Ví dụ 3. Đổi g sang đơn vị khác

- g bằng bao nhiêu tính theo đơn vị  $\text{cm/s}^2$  ?

☒ Câu trả lời là có bao nhiêu  $\text{cm/s}$  tốc độ mà một vật rơi thu được trong một giây. Nếu nó thu được  $9,8 \text{ m/s}$  trong  $1 \text{ s}$ , thì nó thu được  $980 \text{ cm/s}$  trong  $1 \text{ s}$ , nên  $g = 980 \text{ cm/s}^2$ . Cách khác, chúng ta có thể sử dụng phương pháp phân số bằng 1:

$$\frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = \frac{980 \text{ cm}}{\text{s}^2}$$

- g bằng bao nhiêu tính theo đơn vị dặm/giờ<sup>2</sup> ?

$$\frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} \times \frac{1 \text{ dặm}}{1600 \text{ m}} \times \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ giờ}} \right)^2 = 7,9 \times 10^4 \text{ dặm/giờ}^2$$

Con số lớn này có thể hiểu là tốc độ, theo đơn vị dặm/giờ, mà bạn thu được khi rơi trong 1 giờ. Chú ý chúng ta có hệ số chuyển đổi bình phương của  $3600 \text{ s/giờ}$  để triệt tiêu đơn vị  $\text{s}^2$  ở mẫu.

- g bằng bao nhiêu tính theo đơn vị dặm/giờ/giây ?

$$\frac{9,8 \text{ m}}{\text{s}^2} \times \frac{1 \text{ dặm}}{1600 \text{ m}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ giờ}} = 22 \text{ dặm/giờ/s}$$

Đây là con số mà người Mỹ có sự cảm nhận trực giác. Nếu chiếc xe của bạn đang gia tốc về phía trước bằng với gia tốc của một vật rơi, thì bạn thu được  $22 \text{ dặm/h}$  tốc độ trong mỗi giây. Tuy nhiên, việc sử dụng thời gian hỗn hợp giờ và giây như thế này thường không thuận tiện cho việc giải toán. Nó giống như việc sử dụng đơn vị foot-inch cho diện tích thay vì  $\text{ft}^2$  hay  $\text{in}^2$ .

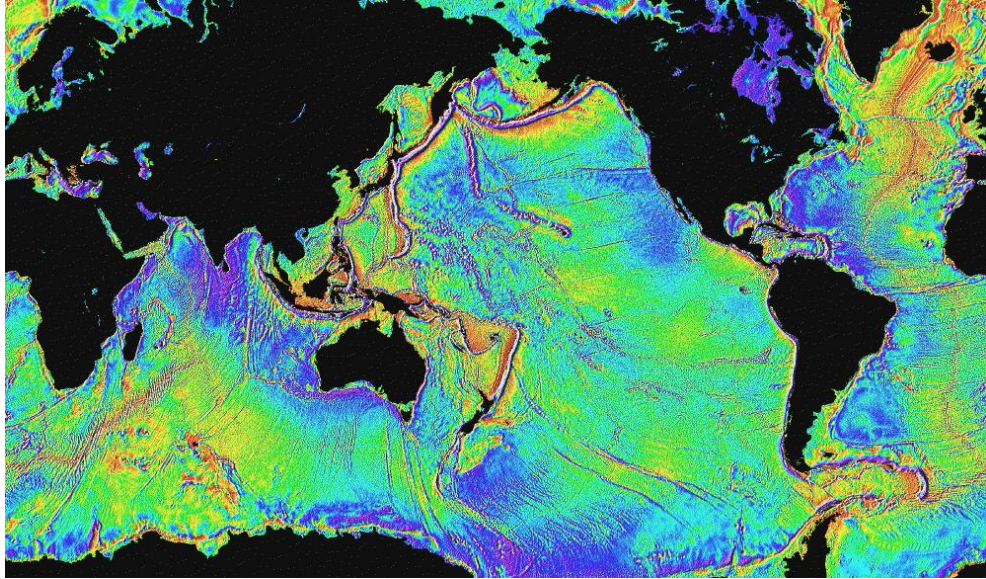
## Gia tốc hấp dẫn khác nhau ở những nơi khác nhau

Mọi người biết rằng ở trên Mặt trăng lực hấp dẫn yếu hơn, nhưng thật ra nó còn không bằng nhau ở mọi nơi trên Trái đất, như cho bởi ví dụ số trong bảng sau đây.

Địa điểm	Vĩ độ	Độ cao (m)	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$
Cực bắc	$90^\circ \text{ N}$	0	9,8322
Reykjavik, Iceland	$64^\circ \text{ N}$	0	9,8225
Fullerton, California	$34^\circ \text{ N}$	0	9,7957
Guayaquil, Ecuador	$2^\circ \text{ S}$	0	9,7806
Núi Cotopaxi, Ecuador	$1^\circ \text{ S}$	5896	9,7624
Núi Everest	$28^\circ \text{ N}$	8848	9,7643

Các biến chính liên quan đến giá trị của  $g$  trên Trái đất là vĩ độ và độ cao. Mặc dù bạn chưa biết  $g$  được tính như thế nào dựa trên bất kỳ lý thuyết hấp dẫn nào sâu sắc hơn, nhưng thật chẳng khó khăn gì việc đoán xem vì sao  $g$  phụ thuộc vào độ cao. Lực hấp dẫn là lực hút giữa các vật có khối lượng, và lực hút yếu đi khi khoảng cách tăng lên. Khi bạn đi từ hải cảng Guayaquil lên đỉnh núi Copotaxi gần đó, bạn đang tăng khoảng cách của mình đến khối lượng của hành tinh. Sự phụ thuộc vào vĩ độ xảy ra vì chúng ta đo gia tốc hấp dẫn tương đối so với mặt đất, nhưng chuyển động quay của Trái đất làm cho mặt đất rơi khỏi bên dưới chân bạn. (Chúng ta sẽ nói về lực hấp dẫn và sự quay này chi tiết hơn ở phần sau)





h/ Bản đồ ảnh màu giả này biểu diễn sự biến thiên của độ lớn lực hấp dẫn của Trái đất. Vùng màu tím có lực hấp dẫn mạnh nhất, vùng màu vàng là yếu nhất. Khuynh hướng chung càng về xích đạo lực hấp dẫn càng yếu và càng về hai cực lực hấp dẫn càng mạnh đã bị loại trừ nhân tạo để cho phép biểu diễn các biến thiên cục bộ yếu hơn. Bản đồ chỉ bao quát vùng đại dương do kĩ thuật sử dụng để tạo ra nó: vệ tinh tìm kiếm các chỗ lồi và lõm trong mặt đại dương.

Một chỗ lồi rất yếu sẽ xuất hiện trên một ngọn núi chìm, chẳng hạn, vì lực hút hấp dẫn của ngọn núi kéo nước về phía nó. Chính quyền Mỹ ban đầu bắt đầu thu thập dữ liệu như thế này cho mục đích quân sự, để hiệu chỉnh sự chệch hướng quỹ đạo của tên lửa. Dữ liệu gần đây đã được công bố cho mục đích khoa học và thương mại (ví dụ, tìm vị trí các mỏ dầu).

Sự khác biệt ngoạn mục hơn nhiều ở độ lớn lực hấp dẫn có thể quan sát cách xa bề mặt Trái đất:

Vị trí	$g \text{ (m/s}^2\text{)}$
Tiểu hành tinh Vesta (trên mặt)	0,3
Mặt trăng của Trái đất (trên mặt)	1,6
Hỏa tinh (trên mặt)	3,7
Trái đất (trên mặt)	9,8
Mộc tinh (những đám mây trên cùng)	26
Mặt trời (bề mặt nhìn thấy)	270
Sao neutron điển hình (trên mặt)	$10^{12}$
Lỗ đen (tại tâm)	Vô hạn, theo một số lí thuyết; vào bậc $10^{52}$ , theo một số lí thuyết khác

Một sao neutron tiêu biểu không khác biệt gì nhiều về kích thước so với một tiểu hành tinh cỡ lớn, nhưng bậc độ lớn lực hấp dẫn thì lớn hơn nhiều, nên khối lượng của một vật tương quan rạch ròi với  $g$  mà nó tạo ra. Mặt khác, một sao neutron có khối lượng cỡ như Mặt trời của chúng ta, vậy tại sao  $g$  của nó lại lớn hơn hàng tỉ lần ? Nếu như bạn có vận xui ở trên mặt của một sao neutron, bạn ở trong vòng vài nghìn dặm của toàn bộ khối lượng của nó, còn ở trên bề mặt Mặt trời, bạn vẫn cách hàng triệu dặm đến đa phần khối lượng của nó.

☺ A. Điều gì sai với những định nghĩa sau đây của  $g$  ?

(1) “ $g$  là lực hấp dẫn”

(2) “ $g$  là tốc độ của một vật rơi”

(3) “ $g$  là mức độ mạnh mà lực hấp dẫn hút các vật”

B. Khi các nhà quảng cáo chỉ rõ bao nhiêu gia tốc mà một chiếc xe hơi có thể thu vào, họ không cung cấp gia tốc như định nghĩa trong vật lí. Thay vì vậy, họ thường ghi rõ bao nhiêu giây là cần thiết cho chiếc xe đó đi từ trạng thái nghỉ lên 60 dặm/h. Giả sử chúng ta sử dụng kí hiệu “ $a$ ” cho gia tốc như định nghĩa trong vật lí, và “ $a_{qcx}$ ” cho đại lượng sử dụng cho quảng cáo xe hơi. Trong hệ đơn vị phi mét của người Mỹ, thì đơn vị của  $a$  và  $a_{qcx}$  là gì ? Hỏi công dụng và phải hiểu như thế nào trước các giá trị lớn và nhỏ, dương và âm khác nhau đối với  $a$  và  $a_{qcx}$  ?

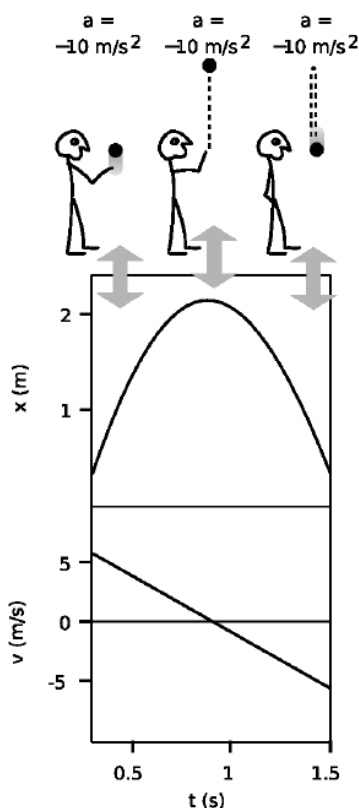
C. Hai người đứng trên bờ của một vách đá. Khi họ dựa lên thành, một người ném một hòn đá xuống, còn người kia ném hòn đá thẳng lên trên với vận tốc ban đầu chính xác ngược lại. Hãy so sánh tốc độ của các hòn đá khi va chạm tại đáy vách đá.

### 3.3 Gia tốc dương và âm

Lực hấp dẫn luôn luôn hút xuống, nhưng điều đó không có nghĩa là nó luôn luôn làm tăng tốc vật lên. Nếu bạn ném một quả cầu thẳng lên trên, thoát đầu lực hấp dẫn sẽ làm chậm nó xuống đến  $v = 0$  và sau đó bắt đầu làm tăng tốc độ của nó. Khi tôi học vật lí ở trường phổ thông, tôi có ấn tượng là các dấu dương của gia tốc chỉ sự tăng tốc, còn gia tốc âm biểu diễn sự chậm dần, tức là giảm tốc. Tuy nhiên, một định nghĩa như thế sẽ thật bất tiện vì khi đó chúng ta sẽ phải nói cùng một lực hút xuống của hấp dẫn có thể tạo ra gia tốc dương hoặc âm. Như chúng ta sẽ thấy trong ví dụ sau, một định nghĩa như thế cũng sẽ không giống như độ dốc của đồ thị  $v - t$ .

Hãy nghiên cứu ví dụ quả bóng bay lên và rơi xuống. Trong ví dụ người nhảy ra khỏi cầu, tôi đã giả sử giá trị vận tốc dương mà không chú ý tới nó, nghĩa là tôi đã giả sử một hệ tọa độ có trục  $x$  hướng xuống. Trong ví dụ này, trong đó quả bóng đảo chiều chuyển động, không thể nào tránh vận tốc âm bằng thủ thuật chọn trục tọa độ, nên hãy thực hiện một lựa chọn tự nhiên hơn là trục hướng lên trên. Vận tốc của quả bóng ban đầu sẽ là số dương, vì nó hướng lên trên, cùng chiều với trục  $x$ , nhưng trên đường đi trở xuống, nó sẽ là số âm. Như biểu diễn trong hình, đồ thị  $v - t$  không có gì đặc biệt tại chóp đỉnh đường bay của quả bóng, nơi đó  $v = 0$ . Độ dốc của nó luôn luôn âm. Trong nửa bên trái của đồ thị, có độ dốc âm vì vận tốc dương tiến gần tới 0. Ở phía bên phải, độ dốc âm là do vận tốc âm tiến xa khỏi 0, nên chúng ta nói quả bóng đang tăng tốc, nhưng vận tốc của nó thì đang giảm!

Tóm lại, điều có ý nghĩa nhất là nên nhớ định nghĩa ban đầu của gia tốc là độ dốc của đồ thị  $v - t$ ,  $\Delta v / \Delta t$ . Theo định nghĩa này, không nhất thiết các vật đang tăng tốc có gia tốc dương còn



i/ Gia tốc quả bóng vẫn như cũ - trên đường đi lên, tại trên đỉnh, và trên đường đi xuống. Nó luôn luôn âm.



các vật đang giảm tốc có gia tốc âm. Từ “giảm tốc” không được nhiều nhà vật lý sử dụng, và từ “gia tốc” được sử dụng vô tội vạ để chỉ sự giảm tốc cũng như tăng tốc: “Có một ngọn đèn đỏ, chúng ta gia tốc đến điểm dừng”.

*Ví dụ 4. Tính toán bằng số một gia tốc âm*

Trong hình i, điều gì xảy ra nếu như bạn tính gia tốc giữa  $t = 1,0$  và  $1,5$  s ?

☒ Đọc đồ thị, có vẻ vận tốc là khoảng  $-1$  m/s tại  $t = 1,0$  s, và khoảng  $-6$  m/s tại  $t = 1,5$  s. Gia tốc, tính giữa hai điểm này, là

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(-6 \text{ m/s}) - (-1 \text{ m/s})}{(1.5 \text{ s}) - (1.0 \text{ s})} = -10 \text{ m/s}^2$$

Mặc dù quả bóng đang tăng tốc, nhưng nó có gia tốc âm.

Một cách khác thuyết phục bạn rằng phương pháp trình bày với dấu cộng và trừ này có ý nghĩa là hãy nghĩ tới một dụng cụ đo gia tốc. Xét cho cùng, vật lý học được cho là sử dụng các định nghĩa hoạt động, các định nghĩa liên hệ kết quả bạn thu được với những dụng cụ đo thật sự. Hãy xét cái bình xịt thơm không khí treo từ gương nhìn ra sau trong xe hơi của bạn. Khi bạn tăng tốc, cái bình xịt lắc ra phía sau. Giả sử chúng ta định nghĩa đây là số chỉ dương. Khi bạn cho xe đi chậm dần, bình xịt nghiêng ra phía trước, nên chúng ta gọi đây là số chỉ âm trên gia tốc kế của chúng ta. Nhưng điều gì xảy ra nếu bạn cho xe hơi chạy ngược và bắt đầu tăng tốc ra phía sau ? Cho dù bạn đang tăng tốc, gia tốc kế vẫn phản ứng theo kiểu giống như khi bạn đang chạy về phía trước và chậm dần. Có 4 trường hợp có thể xảy ra:

Chuyển động của xe	Gia tốc kế chỉ	Độ dốc của đồ thị $v - t$	Hướng của lực tác dụng lên xe
tới trước, nhanh dần	ra sau	+	tới trước
tới trước, chậm dần	tới trước	-	ra sau
ra sau, nhanh dần	tới trước	-	ra sau
ra sau, chậm dần	ra sau	+	tới trước

Lưu ý tính nhất quán của ba cột bên phải – tự nhiên muốn nói với chúng ta rằng đây là sự phân loại đúng, chứ không phải cột bên trái.

Vì dấu dương và âm của gia tốc phụ thuộc vào việc chọn hệ tọa độ, nên gia tốc của một vật dưới tác dụng của lực hấp dẫn có thể dương hoặc âm. Thay vì phải viết “ $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ” hay “ $g = -9,8 \text{ m/s}^2$ ” mỗi khi chúng ta muốn nói tới giá trị bằng số của  $g$ , chúng ta định nghĩa đơn giản  $g$  là giá trị tuyệt đối của gia tốc của vật chuyển động dưới tác dụng của lực hấp dẫn. Chúng ta trước sau đặt  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , nhưng chúng ta có thể có  $a = g$  hoặc  $a = -g$ , tùy thuộc vào việc chọn hệ tọa độ của chúng ta.

*Ví dụ 5. Gia tốc với sự thay đổi hướng chuyển động*

Một người đá vào một quả bóng, nó lăn lên một con đường nghiêng dốc, đến điểm dừng, và rồi lăn ngược trở xuống. Quả bóng có gia tốc không đổi. Quả bóng ban đầu chuyển động ở vận tốc  $4,0$  m/s, và sau  $10,0$  s nó trở lại vị trí nơi nó bắt đầu. Lúc sau, nó tăng tốc trở lại bằng với tốc độ mà nó có lúc đầu, nhưng theo hướng ngược lại. Hỏi gia tốc của nó bằng bao nhiêu ?

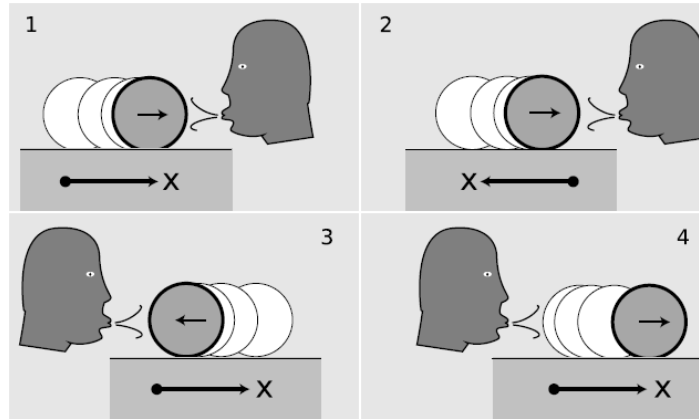
✎ Gán số dương cho vận tốc ban đầu, cách trình bày của câu hỏi ngụ ý trục tọa độ hướng lên theo độ nghiêng của ngọn đồi. Tốc độ “như cũ” theo hướng ngược lại vì thế được biểu diễn bằng một số âm, - 4,0 m/s. Gia tốc là

$$a = \Delta v / \Delta t = (v_{sau} - v_{trước}) / 10,0 \text{ s} = [(- 4,0 \text{ m/s}) - (4,0 \text{ m/s})] / 10,0 \text{ s} = - 0,80 \text{ m/s}^2$$

Gia tốc không khác nhau trong suốt đoạn đi lên cũng như đoạn đi xuống của quả bóng.

Lời giải không đúng: Gia tốc là  $\Delta v / \Delta t$ , và lúc sau quả bóng không chuyển động nhanh hơn hay chậm hơn lúc mới bắt đầu, nên  $\Delta v = 0$ , và  $a = 0$ .

Vận tốc thật sự biến đổi, từ một số dương sang một số âm.

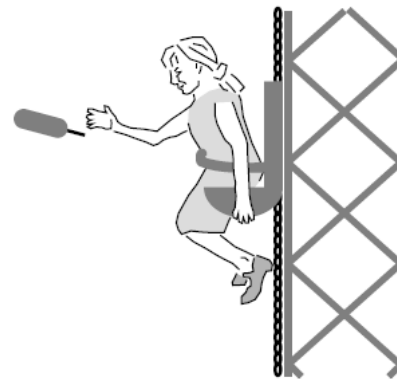


j/ Câu hỏi B

☺ A. Một đĩa bé liên tục nhảy lên nhảy xuống trên một tấm bạt lò xo căng trên khung. Hãy nói về dấu và độ lớn của gia tốc của nó, xét thời gian khi nó ở trong không khí và thời gian khi chân của nó chạm với tấm bạt.

B. Hình j biểu diễn một người tị nạn từ tranh vẽ của Picasso đang thổi lên một chai nước đang lăn. Trong một số trường hợp, việc thổi của người đó làm cái chai chuyển động nhanh lên, nhưng trong một số trường hợp khác, nó làm cái chai chuyển động chậm dần. Mũi tên bên trong chai biểu diễn hướng nó đang chuyển động, và một hệ tọa độ được cho tại dưới mỗi hình. Trong từng trường hợp, hãy chỉ ra dấu cộng hay trừ của vận tốc và gia tốc. Có lẽ có ích là hãy vẽ đồ thị  $v - t$  trong từng trường hợp.

C. Sally tham gia trò chơi trong công viên bắt đầu với ghế ngồi của cô ta được kéo thẳng đứng lên một tòa tháp ở tốc độ không đổi 60 dặm/h. Bất chấp lời cảnh báo nghiêm khắc từ phía bố cô rằng cô sẽ phải nằm liệt trong nhà nếu cô hành xử không đúng, cô quyết định vẫn tiến hành một thí nghiệm khoa học mà cô cần là bỏ rơi thời xúc xích sang một bên trên đường đi lên. Cô không ném nó. Cô chỉ đơn giản buông nó ra khỏi ra, để cho nó chuyển động, và xem nó đi qua nền trời, không có cây cối hay nhà cửa làm điểm tham chiếu. Hỏi chuyển động của thời xúc xích mà Sally nhìn thấy trông như thế nào ? Tốc độ của nó có bao giờ bằng không đối với cô hay không ? Gia tốc cô quan sát mà nó có: là dương ? âm ? bằng không ? Câu trả lời bức dọc của bố cô là gì nếu như ông được yêu cầu cho một mô tả tương tự về chuyển động của nó như nó xuất hiện trước mặt ông, đang đứng trên mặt đất ?



Câu hỏi C

D. Một vật có thể duy trì một gia tốc không đổi trong khi hướng vận tốc của nó đảo ngược lại hay không ?

E. Một vật có thể có một vận tốc dương và tăng lên đồng thời khi gia tốc của nó đang giảm đi hay không ?

### 3.4 Gia tốc biến thiên

Từ trước đến giờ, chúng ta chỉ xét những ví dụ trong đó đồ thị  $v - t$  là đường thẳng. Nếu chúng ta muốn khái quát hóa định nghĩa của chúng ta cho những đồ thị  $v - t$  là những đường cong phức tạp hơn, cách tốt nhất là bắt đầu tương tự như cách chúng ta định nghĩa vận tốc cho các đồ thị  $x - t$  cong:

#### định nghĩa gia tốc

Gia tốc của một vật tại một thời điểm bất kỳ là độ dốc của đường tiếp tuyến đi qua đồ thị  $v$  theo  $t$  của nó tại điểm tương ứng.

*Ví dụ 6. Người nhảy dù*

Các đồ thị trong hình k biểu diễn kết quả của một mô phỏng máy tính khá thực tế về chuyển động của một người nhảy dù, có tính cả tác dụng của sức cản không khí. Trục  $x$  được chọn hướng từ trên xuống, nên  $x$  tăng khi cô ta rơi. Tìm (a) gia tốc của người nhảy dù tại  $t = 3,0$  s, và (b) tại  $t = 7,0$  s.

✎ Lời giải biểu diễn trong hình l. Tôi vẽ thêm các đường tiếp tuyến tại hai điểm trong câu hỏi.

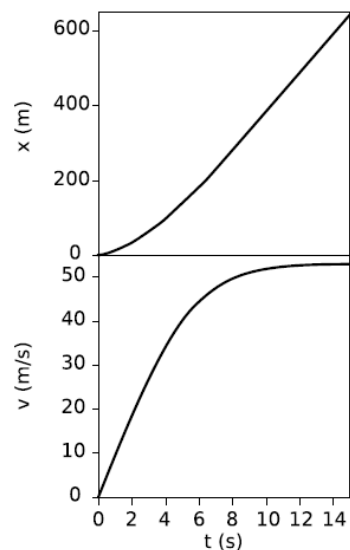
(a) Để tìm độ dốc của đường tiếp tuyến, tôi lấy hai điểm trên đường thẳng (không nhất thiết trên đường cong):  $(3,0 \text{ s}; 28 \text{ m/s})$  và  $(5,0 \text{ s}; 42 \text{ m/s})$ . Độ dốc của đường tiếp tuyến là  $(42 \text{ m/s} - 28 \text{ m/s}) / (5,0 \text{ s} - 3,0 \text{ s}) = 7,0 \text{ m/s}^2$ .

(b) Hai điểm trên đường tiếp tuyến này là  $(7,0 \text{ s}; 47 \text{ m/s})$  và  $(9,0 \text{ s}; 52 \text{ m/s})$ . Độ dốc của đường tiếp tuyến là  $(52 \text{ m/s} - 47 \text{ m/s}) / (9,0 \text{ s} - 7,0 \text{ s}) = 2,5 \text{ m/s}^2$ .

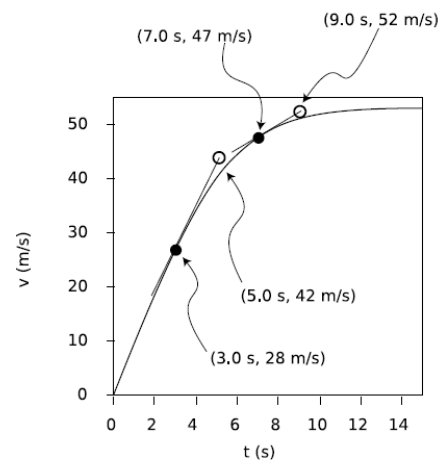
Theo quy luật tự nhiên, cái đang xảy ra là tại  $t = 3,0$  s, người nhảy dù không chuyển động nhanh lắm nên sức cản của không khí chưa mạnh lắm. Vì thế, cô ta có gia tốc lớn gần như cỡ  $g$ . Tại  $t = 7,0$  s, cô ta chuyển động gần như nhanh gấp đôi (chừng 100 dặm/h), và sức cản không khí cực kỳ mạnh, đem lại sự lệch đáng kể khỏi trường hợp lý tưởng không có sức cản không khí.

Trong ví dụ 6, đồ thị  $x - t$  không được sử dụng trong lời giải của bài toán, vì định nghĩa gia tốc xét đến đồ thị  $v - t$ . Tuy nhiên, có thể giải thích đồ thị  $x - t$  để suy luận ra đôi điều về gia tốc. Một vật có gia tốc bằng không, tức là vận tốc không đổi, có đồ thị  $x - t$  là một đường thẳng. Một đường thẳng thì không có độ cong. Một sự thay đổi vận tốc yêu cầu một sự thay đổi độ dốc của đồ thị  $x - t$ , nghĩa là nó cong chứ không thẳng. Như vậy, gia tốc liên hệ với độ cong của đồ thị  $x - t$ . Hình m trình bày một số thí dụ.

Trong ví dụ 6, đồ thị  $x - t$  cong nhiều hơn tại lúc bắt đầu, và trở nên gần như thẳng vào lúc sau. Nếu đồ thị  $x - t$  gần như thẳng, thì độ dốc của nó, tức vận tốc, gần như không đổi, và gia tốc vì thế là nhỏ. Do đó, chúng ta có thể hiểu gia tốc theo độ cong của đồ thị  $x - t$ , như trình bày

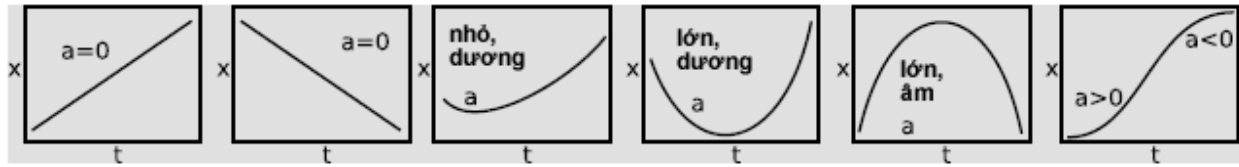


k/ Ví dụ 6



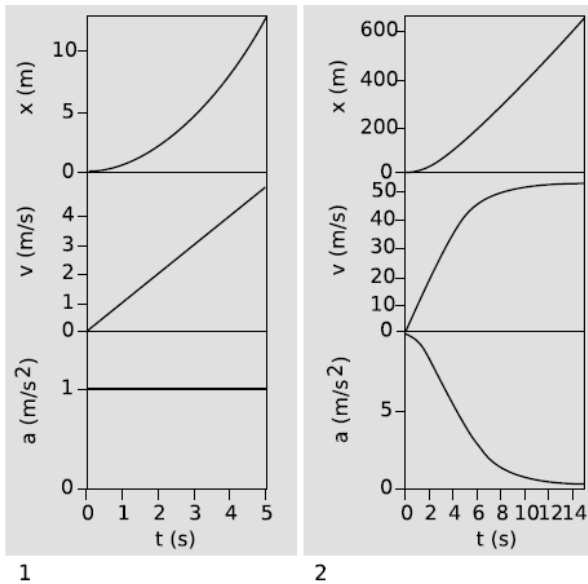
l/ Lời giải cho ví dụ 6

trong hình m. Nếu “cái tách” của đường cong hướng lên trên, thì gia tốc là dương, và nếu nó hướng xuống, thì gia tốc là âm.



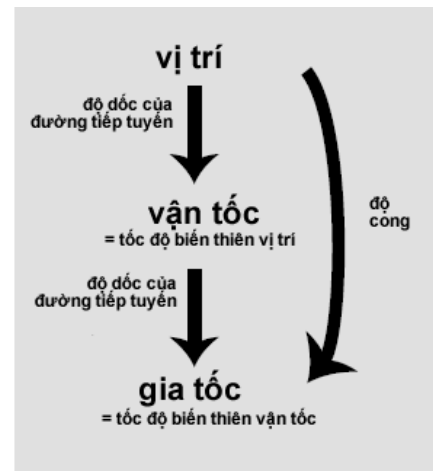
m/ Gia tốc liên hệ với độ cong của đồ thị  $x - t$

Vì mối quan hệ giữa  $a$  và  $v$  tương tự như mối quan hệ giữa  $v$  và  $x$ , nên chúng ta cũng có thể vẽ đồ thị gia tốc là hàm của thời gian, như trình bày trong hình n.



n/ Ví dụ các đồ thị  $x$ ,  $v$  và  $a$  theo  $t$ .

1. Một vật rơi tự do, không có ma sát.
2. Hình vẽ tiếp theo ví dụ 6, người nhảy dù



o/ Liên hệ giữa vị trí, vận tốc, và gia tốc

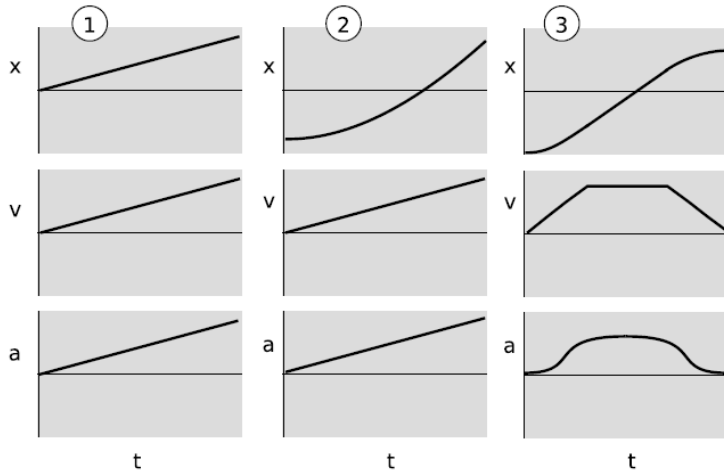
Hình o tóm tắt mối quan hệ giữa ba loại đồ thị trên.

© A. Hãy mô tả bằng lời sự thay đổi trong đồ thị  $a - t$  ở hình n/2 liên hệ như thế nào với hành vi của đồ thị  $v - t$ .

B. Giải thích xem từng bộ đồ thị bên dưới chứa mâu thuẫn như thế nào, và hãy sửa chúng lại.

C. Trong từng trường hợp, hãy chọn một hệ tọa độ và vẽ các đồ thị  $x - t$ ,  $v - t$  và  $a - t$ . Chọn một hệ tọa độ có nghĩa là lấy một nơi mà bạn muốn  $x = 0$ , và lấy một hướng làm chiều dương cho trục  $x$ .

- (1) Một tàu thủy đang tiến lên theo đường thẳng ở tốc độ không đổi.
- (2) Bạn thả rơi một quả bóng. Hãy vẽ hai bộ đồ thị khác nhau (tổng cộng 6 đồ thị), với trục  $x$  dương của bộ này hướng ngược lại so với bộ kia.
- (3) Bạn đang lái xe trên đường tìm kiếm một ngôi nhà bạn chưa ở đó bao giờ. Bạn nhận ra mình đã đi qua khỏi, nên bạn chạy chậm lại, quay đầu xe, chạy trở lại, và dừng phía trước ngôi nhà.



Câu hỏi B

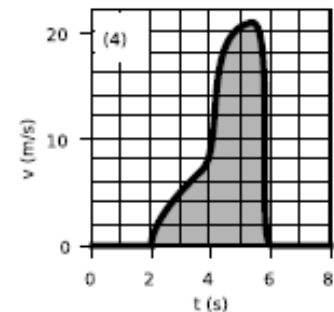
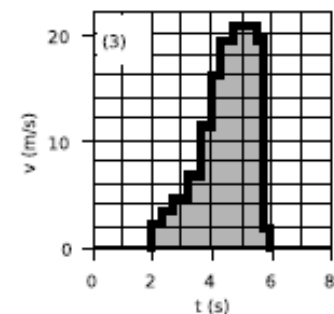
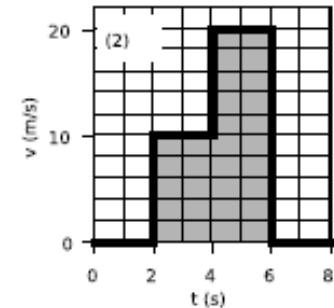
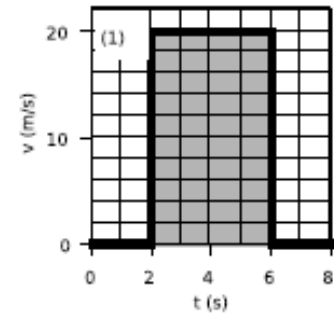
### 3.5 Diện tích bên dưới đồ thị vận tốc – thời gian

Một câu hỏi tự nhiên về các vật rơi là chúng rơi nhanh như thế nào, nhưng Galileo chỉ ra rằng câu hỏi đó không có câu trả lời. Quy luật vật lý mà ông phát hiện liên hệ một nguyên nhân (lực hút của khối lượng hành tinh Trái đất) với một kết quả, nhưng kết quả được đoán trước theo gia tốc chứ không phải vận tốc. Thật vậy, không có một định luật vật lý nào tiên đoán một vận tốc rõ ràng là kết quả của một hiện tượng nhất định, vì vận tốc không thể đo theo giá trị tuyệt đối, và chỉ sự biến thiên vận tốc mới liên quan trực tiếp đến các hiện tượng vật lý.

Điều không may ở tình huống này là định nghĩa của vận tốc và gia tốc được phát biểu theo kỹ thuật đường tiếp tuyến, nó đưa bạn đi từ  $x$  sang  $v$  đến  $a$ , nhưng không đi xoay tròn hết vòng. Không có kỹ thuật nào đi ngược lại từ  $a$  sang  $v$  đến  $x$ , nên chúng ta không thể nói bất cứ điều gì định lượng, chẳng hạn, về đồ thị  $x - t$  của một vật rơi. Một kỹ thuật như thế thật sự tồn tại, và tôi sử dụng nó vẽ đồ thị  $x - t$  cho tất cả những ví dụ ở trên.

Trước hết, hãy tập trung vào cách lấy thông tin  $x$  ra khỏi đồ thị  $v - t$ . Trong ví dụ p/1, một vật chuyển động ở tốc độ 20 m/s trong khoảng thời gian 4,0 s. Quãng đường đi là  $\Delta x = v\Delta t = (20 \text{ m/s}) \times (4,0 \text{ s}) = 80 \text{ m}$ . Lưu ý là các đại lượng đem nhân là chiều rộng và chiều cao của hình chữ nhật tô đậm – hay, nói đúng ra, thời gian biểu diễn bằng chiều rộng của nó và vận tốc biểu diễn bằng chiều cao của nó. Quãng đường  $\Delta x = 80 \text{ m}$  như vậy tương ứng với diện tích của phần tô đen của đồ thị.

Bước tiếp theo trong sự phức tạp hóa là ví dụ như p/2, trong đó vật chuyển động ở tốc độ không đổi 10 m/s trong 2 s, rồi trong 2 s sau chuyển động ở tốc độ không đổi khác là 20 m/s. Vùng tô đậm có thể tách thành một hình chữ nhật nhỏ ở bên trái, với diện tích biểu diễn

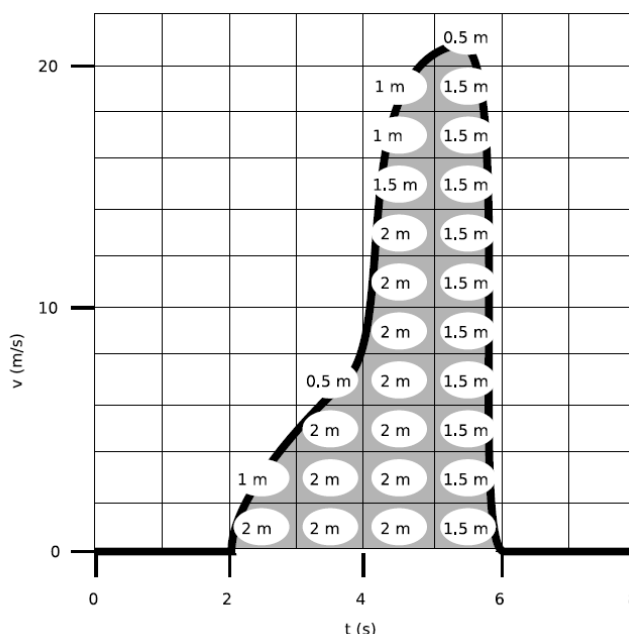


p/ Diện tích bên dưới đồ thị  $v - t$  cho biết  $\Delta x$

$\Delta x = 20$  m, và một hình chữ nhật cao hơn ở bên phải, tương ứng với 40 m nữa của chuyển động. Như vậy, quãng đường tổng cộng là 60 m, nó ứng với tổng diện tích nằm dưới đồ thị.

Một ví dụ như p/3 bây giờ đúng là một sự khái quát hóa tầm thường; đơn giản là có một số lớn diện tích hình chữ nhật gầy để cộng dồn. Nhưng lưu ý đồ thị p/3 là một sự gần đúng khá tốt cho đường cong trơn p/4. Cho dù chúng ta không có công thức tính diện tích một hình là lạ như p/4, nhưng chúng ta có thể xấp xỉ diện tích của nó bằng cách chia nó thành những diện tích nhỏ hơn giống hình chữ nhật, có diện tích dễ tính hơn. Nếu ai đó đưa cho bạn một đồ thị như p/4 và yêu cầu bạn tìm diện tích bên dưới nó, cách đơn giản nhất là bạn hãy đếm số hình chữ nhật nhỏ trên giấy kẻ li bên dưới, tiến hành ước tính sơ bộ các hình chữ nhật lẻ khi bạn cộng lại.

Đó là cái tôi đã làm trong hình q. Mỗi hình chữ nhật trên giấy kẻ li là 1,0 s rộng và 2 m/s cao, nên nó biểu diễn 2 m. Cộng tất cả các số cho  $\Delta x = 41$  m. Nếu bạn cần độ chính xác chi li hơn, bạn có thể sử dụng giấy kẻ ô li nhỏ hơn.



q/ Một thí dụ sử dụng phép ước tính các phần lẻ của hình chữ nhật

Điều quan trọng cần nhận ra là kỹ thuật này cho bạn  $\Delta x$ , chứ không phải  $x$ . Đồ thị  $v - t$  không có thông tin cho biết vật ở đâu khi nó bắt đầu chuyển động.

Sau đây là những điểm quan trọng bạn cần ghi nhớ khi áp dụng kỹ thuật này:

- Nếu như vùng giá trị  $v$  trên đồ thị của bạn không trải rộng xuống tới không, thì bạn sẽ nhận câu trả lời sai trừ khi bạn bổ sung bằng cách cộng thêm phần diện tích không được biểu diễn.
- Như trong ví dụ, một hình chữ nhật trên giấy vẽ đồ thị không nhất thiết ứng với quãng đường 1 m.
- Các giá trị vận tốc âm biểu diễn chuyển động theo hướng ngược lại, nên diện tích dưới trục  $t$  phải trừ đi, tức là đếm như “diện tích âm”.



- Vì kết quả là một giá trị  $\Delta x$ , nó chỉ cho bạn biết  $x_{sau} - x_{trước}$ , nó có thể nhỏ hơn quãng đường đã đi. Chẳng hạn, vật có thể đi trở lại vị trí ban đầu của nó vào lúc cuối, ứng với  $\Delta x = 0$ , mặc dù thật ra nó đã đi một quãng đường khác không.

Cuối cùng, cần lưu ý rằng người ta có thể tìm  $\Delta v$  từ đồ thị  $a - t$  bằng cách sử dụng phương pháp hoàn toàn tương tự. Mỗi hình chữ nhật trên đồ thị  $a - t$  biểu diễn một lượng biến thiên vận tốc nhất định.

© A. Đại khái thì đồ thị  $v - t$  của một con lắc trông như thế nào? Điều gì xảy ra khi bạn áp dụng kĩ thuật diện tích dưới đường cong để tìm  $\Delta x$  của con lắc trong khoảng thời gian nhiều chu kì chuyển động qua lại?

### 3.6 Kết quả đại số đối với gia tốc không đổi

Mặc dù kĩ thuật diện tích dưới đường cong có thể áp dụng cho bất kì đồ thị nào, không quan trọng chúng phức tạp như thế nào, nhưng có thể thật khó thực hiện, và nếu phải ước tính các phần lẻ của hình chữ nhật thì kết quả sẽ chỉ là gần đúng. Trong trường hợp chuyển động đặc biệt với gia tốc không đổi, người ta có thể tìm một biện pháp tắt tiện lợi mang lại kết quả chính xác. Khi gia tốc không đổi, đồ thị  $v - t$  là đường thẳng, như biểu diễn trên hình. Diện tích dưới đường cong có thể chia thành một hình tam giác cộng với một hình chữ nhật, cả hai có diện tích có thể tính chính xác:  $A = bh$  cho hình chữ nhật và  $A = bh/2$  đối với hình tam giác. Chiều cao của hình chữ nhật là vận tốc ban đầu,  $v_0$ , và chiều cao của hình tam giác là độ biến thiên vận tốc từ lúc đầu đến lúc cuối,  $\Delta v$ .  $\Delta x$  của vật vì thế được cho bởi phương trình  $\Delta x = v_0 \Delta t + \Delta v \Delta t / 2$ . Phương trình này có thể đơn giản hóa đi một chút bằng sử dụng định nghĩa gia tốc,  $a = \Delta v / \Delta t$ , để loại bỏ  $\Delta v$ , cho ta

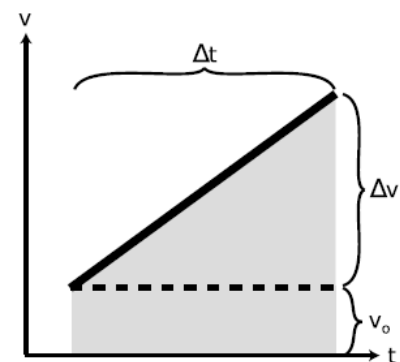
$$\Delta x = v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2 \quad [\text{chuyển động với gia tốc không đổi}]$$

Vì đây là đa thức bậc hai theo  $\Delta t$ , nên đồ thị của  $\Delta x$  theo  $\Delta t$  là một parabol và điều tương tự đúng cho đồ thị của  $x$  theo  $t$  – hai đồ thị chỉ khác nhau ở sự lệch dọc theo hai trục. Mặc dù tôi đã suy ra phương trình từ một hình vẽ biểu diễn  $v_0$  dương,  $a$  dương, và vân vân, nhưng nó vẫn đúng cho dù là bạn sử dụng dấu cộng và trừ.

Một phương trình hữu ích khác có thể suy ra nếu người ta muốn liên hệ độ biến thiên vận tốc với quãng đường đi được. Phương trình này có ích, ví dụ, trong trường hợp tìm quãng đường mà một chiếc xe hơi phải đi để tới điểm dừng. Để cho đơn giản, chúng ta bắt đầu bằng việc rút ra phương trình cho trường hợp đơn giản  $v_0 = 0$ , trong đó vận tốc cuối cùng  $v_f$  có vai trò như  $\Delta v$ . Vì vận tốc và quãng đường là các biến ta quan tâm, chứ không phải thời gian, nên chúng ta lấy phương trình  $\Delta x = \frac{1}{2} a \Delta t^2$  và sử dụng

$\Delta t = \Delta v / a$  để loại trừ  $\Delta t$ . Kết quả là  $\Delta x = (\Delta v)^2 / 2a$ , có thể viết lại như sau:

$$v_f^2 = 2a\Delta x \quad [\text{chuyển động với gia tốc không đổi, } v_0 = 0]$$



r/ Diện tích tô đậm cho biết vật đi được bao xa trong khi gia tốc của nó không đổi

Đối với trường hợp tổng quát hơn, chúng ta hãy bỏ qua phép biến đổi đại số tẻ ngắt dẫn đến phương trình tổng quát hơn,

$$v_f^2 = v_0^2 + 2a\Delta x \quad [\text{chuyển động với gia tốc không đổi}]$$

Để giúp tổ chức tất cả những thứ này trong đầu của bạn, trước tiên hãy phân loại các biến như sau:

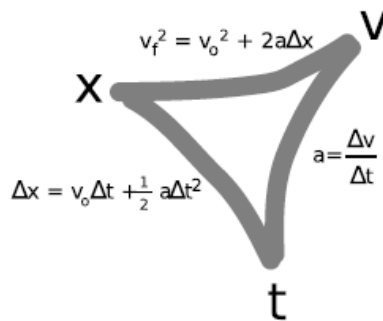
Các biến thay đổi trong chuyển động với gia tốc không đổi:

$x, v, t$

Biến không thay đổi:

$a$

Nếu bạn đã biết một trong các biến thay đổi và muốn tìm biến kia, luôn luôn có một phương trình liên hệ hai biến đó:



Sự đối xứng giữa ba biến này không hoàn hảo chỉ vì phương trình liên hệ  $x$  và  $t$  có chứa vận tốc ban đầu.

Có hai khó khăn chủ yếu mà học sinh thường gặp phải khi áp dụng các phương trình này:

- Các phương trình chỉ áp dụng cho chuyển động với gia tốc không đổi. Bạn không thể áp dụng chúng nếu như gia tốc biến thiên.
- Học sinh thường không biết chắc nên sử dụng phương trình nào, hoặc làm những bước không cần thiết theo đường đi dài trong tam giác như ở hình trên. Hãy tổ chức suy nghĩ của bạn bằng cách liệt kê các biến bạn đã biết, biến nào bạn muốn tìm, và những biến nào bạn không được cho biết hoặc không chắc chắn.

*Ví dụ 7. Cứu một bà lão*

Bạn đang cố kéo một bà lão ra khỏi con đường có chiếc xe tải đang lao tới. Bạn có thể cấp cho bà lão gia tốc  $20 \text{ m/s}^2$ . Bắt đầu từ trạng thái nghỉ, hỏi cần có bao nhiêu thời gian để đưa bà lão đi ra  $2 \text{ m}$ ?

✎ Trước tiên, chúng ta hãy tổ chức suy nghĩ của mình:

Các biến đã cho:  $\Delta x, a, v_0$

Biến cần tìm:  $\Delta t$

Biến không liên quan:  $v_f$

Tham khảo biểu đồ tam giác ở trên, phương trình chúng ta cần rõ ràng là  $\Delta x = v_0 \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$ , vì nó chứa 4

biến ta quan tâm và bỏ qua biến không liên quan. Khử điều kiện  $v_0$  và giải cho  $\Delta t$  mang lại  $\Delta t = \sqrt{2\Delta x / a} = 0,4 \text{ s}$ .

© A. Trong chương 1, tôi đã cho các ví dụ giải thích đúng và không đúng về sự tỉ lệ, sử dụng các phương trình về sự phân chia diện tích và thể tích. Hãy thử chuyển những kiểu lí giải không đúng cho ở đó thành sai sót về câu hỏi sau: Nếu gia tốc hấp dẫn trên Hỏa tinh bằng 1/3 trên Trái đất, hỏi thời gian cần thiết cho một hòn đá rơi từ cùng độ cao như vậy ở trên Hỏa tinh dài hơn bao nhiêu ?

B. Kiểm tra các đơn vị là có ý nghĩa trong ba phương trình luận ra trong phần này.

### 3.7 Tác dụng sinh lí của sự không trọng lượng

Lợi ích của không gian bên ngoài đã được đưa vào tận nhà cư dân Bắc Mỹ vào năm 1998 bởi sự thất bại bất ngờ của vệ tinh viễn thông điều khiển hầu như toàn bộ tín hiệu đèn giao thông của châu lục đó. So với chi phí kinh tế và khoa học khổng lồ của các vệ tinh và tàu thăm dò không gian, thì việc du hành không gian của con người có ít kiêu hãnh hơn trong chừng bốn thập kỉ. Đưa người lên quỹ đạo đúng là quá đắt để là một hoạt động khoa học hay thương mại hiệu quả. Trạm Không gian Quốc tế bội chi ngân sách hầu như không mang lại kết quả khoa học gì, và chương trình tàu con thoi không gian hiện giữ kỉ lục hai thất bại thảm khốc trong số 113 sứ mệnh.

Trong cuộc sống của chúng ta, chúng ta có thể chỉ muốn nhìn thấy một nguyên do khả thi về mặt kinh tế cho việc đưa người lên không gian: đó là du lịch! Chưa có đến ba công ti tư nhân sẵn sàng nhận tiền của bạn đặt cọc cho một chuyến du hành 2 đến 4 phút vào không gian, mặc dù không công ti nào có lịch trình chắc chắn ngày bắt đầu phục vụ. Trong một thập kỉ, du hành không gian có thể là một biểu tượng địa vị xã hội mới trong số những người có đủ can đảm và giàu có.

#### Bệnh không gian

Khỏe, giàu có, can đảm, và có sức chịu đựng thép. Các công ti du lịch có lẽ sẽ không nhấn mạnh đến tính xác thực của chứng bệnh không gian. Đối với chúng ta, loài vật tiến hóa chức năng trong  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , sống trong  $g = 0$  là cực kì không dễ chịu. Chương trình không gian ban đầu tập trung một cách ám ảnh vào việc giữ các nhà huấn luyện du hành vũ trụ ở hình thể vật lí hoàn hảo, nhưng điều sớm trở nên rõ ràng là một cơ thể như một á thần Hi Lạp không chống chọi nổi cảm giác khủng khiếp là



s/ Vào ngày 4/10/2004, con tàu SpaceShipOne do tư nhân tài trợ đã giành giải thưởng Ansari X 10 triệu đô la khi đạt tới độ cao 100 km hai lần trong không gian 14 ngày.



t/ Các du hành Nga và Mỹ trên Trạm Không gian Quốc tế, tháng 10/2000.

dạ dày của bạn đang rơi xuống bên dưới bạn và bạn không bao giờ bắt kịp nó. Tai trong của chúng ta, cơ quan thường cho chúng ta biết hướng nào là hướng xuống, tra tấn chúng ta khi hướng xuống không được tìm thấy ở đâu cả. Có thông tin trái ngược về việc người ta có khắc phục được nó hay không; nền văn hóa “nhồi nhét” tạo khích lệ mạnh mẽ cho các nhà du hành vũ trụ phủ nhận rằng họ bị bệnh.

## **Ảnh hưởng của các sứ mệnh không gian dài ngày**

Tệ hại hơn cả sự buồn nôn là các tác dụng đe dọa sức khỏe của sự mất trọng lượng dài ngày. Người Nga là những chuyên gia trong các sứ mệnh dài ngày, trong đó các nhà du hành chịu sự tổn hại đến máu, cơ và, quan trọng nhất, xương của họ.

Tác dụng lên cơ và bộ xương có vẻ giống như tác dụng mà những người già và người nằm lâu ngày trên giường bệnh phải chịu. Mọi người biết rằng cơ của chúng ta trở nên mạnh hơn hay yếu hơn phụ thuộc vào lượng vận động mà chúng ta tập, nhưng xương cũng có thể thích nghi. Thông thường, khối lượng xương già liên tục suy giảm và được thay thế bằng chất mới, nhưng sự cân bằng giữa sự mất mát và thay thế của nó bị phá hỏng khi người ta không có bài tập đủ mang nặng. Tác dụng chủ yếu là xương của phần cơ thể dưới. Cần có thêm nghiên cứu để tìm ra xem sự mất khối lượng xương của nhà du hành do sự phá hủy xương nhanh hơn, sự thay thế chậm hơn, hay cả hai. Người ta cũng không biết tác dụng đó có thể loại trừ thông qua thức ăn hay thuốc uống hay không.

Một tập hợp tác dụng sinh lí có hại khác dường như có nguyên nhân từ sự phân bố lại của chất lỏng. Bình thường, các động mạch và tĩnh mạch ở chân bị siết chặt lại để ngăn không cho lực hấp dẫn làm máu tụ lại ở đó. Thật không dễ chịu cho người trưởng thành trồng cây chuối thật lâu, vì các mạch máu ở đầu không có khả năng siết lại đủ chặt. Máu của nhà du hành không trọng lượng có xu hướng bị tổng ra bởi các mạch máu siết chặt ở phần cơ thể dưới, và đọng lại xung quanh tim của họ, trong ngực của họ, và trên đầu của họ. Kết quả trực tiếp duy nhất là cảm giác khó chịu vì sự căng lên trong phần cơ thể trên, nhưng trong điều kiện dài ngày, chuỗi sự kiện có hại sẽ xảy ra. Những cố gắng của cơ thể nhằm duy trì dung tích máu chính xác là nhảy nhót với mức chất lỏng ở trong đầu. Vì nhà du hành có thêm chất lỏng trong đầu của họ, nên cơ thể tưởng rằng dung tích máu tổng cộng trở nên quá lớn. Nó phản ứng bằng cách giảm dung tích máu dưới mức bình thường. Việc này làm tăng nồng độ các tế bào hồng cầu, nên cơ thể khi đó quyết định máu trở nên quá đặc, và giảm số tế bào máu. Trong những sứ mệnh kéo dài chừng một năm, hiện tượng này không gây tổn hại như các tác dụng cơ-xương, nhưng người ta không



u/ Trạm Không gian Quốc tế, tháng 9/2000. Trạm không gian không quay để tạo ra sự hấp dẫn giả. Trạm hoàn chỉnh sẽ to hơn nhiều.

biết những khoảng thời gian lâu hơn trong không gian có làm cho số tế bào hồng cầu giảm tới mức nguy hại hay không.

## Tái sản xuất trong không gian

Đối với những ai bị cuốn hút bởi sự lãng mạn của việc chiếm hữu không gian của con người, sự tái sản sinh con người trong tình trạng không trọng lượng trở thành một vấn đề. Một nhà du hành vũ trụ người Nga vừa có mang đã trải qua một số thời gian trên quỹ đạo hồi thập niên 1960, và sau đó đã hạ sinh một đứa trẻ bình thường ở trên mặt đất. Gần đây, một trong những mối quan hệ công chúng của NASA về chương trình tàu con thoi không gian đã làm nản lòng nghiên cứu về tình dục không gian, vì nỗi e ngại phản ứng của những người dân đóng thuế phản đối chương trình không gian trở thành một dạng xa xỉ của thú vui kì lạ.

Nghiên cứu khoa học tập trung vào việc nghiên cứu sự tái sản xuất thực vật và động vật trong không gian. Cây xanh, nấm, côn trùng, cá, và động vật lưỡng cư đều đã trải qua ít nhất là một thế hệ trong các thí nghiệm hấp dẫn bằng không mà không gặp bất kì vấn đề nghiêm trọng nào. Trong nhiều trường hợp, phôi động vật hình thành trên quỹ đạo bắt đầu bằng sự phát triển khác thường, nhưng trong giai đoạn phát triển sau đó, chúng hình như tự sửa lại. Tuy nhiên, phôi gà thụ tinh trên Trái đất chưa đầy 24 giờ trước khi đưa vào quỹ đạo đã không sống được. Vì gà là sinh vật gần gũi với con người nhất trong số những loài đã nghiên cứu từ trước tới nay, cho nên xét cho cùng thì không chắc chắn là con người sẽ tái sản sinh thành công trong một cuộc chiếm hữu không gian hấp dẫn bằng không.

## Giả hấp dẫn

Nếu con người từng sống và làm việc trong không gian trong hơn một năm hay ngắn ấy thời gian, thì giải pháp duy nhất có khả năng là xây dựng các trạm không gian quay tròn để mang lại ảo giác trọng lượng, như trình bày trong phần 9.2. Lực hấp dẫn bình thường có thể mô phỏng được, nhưng những người du lịch có khả năng thích  $g = 2 \text{ m/s}^2$  hay  $g = 5 \text{ m/s}^2$ . Những người say mê không gian đã đề xuất toàn bộ những thành phố quỹ đạo xây dựng trên những kế hoạch hình trụ quay. Mặc dù truyện khoa học viễn tưởng đã nói về sự xâm chiếm của con người đối với những vật thể tương đối giống Trái đất như Mặt trăng của chúng ta, Hỏa tinh, và vệ tinh Europa băng giá của Mộc tinh, nhưng có khả năng là không có biện pháp khả thi nào xây dựng những cấu trúc lớn quay tròn trên bề mặt của chúng. Nếu tác dụng sinh lí của gia tốc hấp dẫn  $2 - 3 \text{ m/s}^2$  của chúng gây tổn hại như tác dụng của  $g = 0$ , thì có lẽ chúng ta phải đi đến kết quả ngạc nhiên là không gian giữa các hành tinh còn thích hợp cho sự sống của giống loài chúng ta hơn là Mặt trăng và các hành tinh.

*Tự chọn: Nói thêm về sự mất trọng lượng biểu kiến*

Các nhà du hành trên quỹ đạo không thật sự không có trọng lượng; họ chỉ ở trên cao vài trăm dặm, nên họ vẫn bị tác dụng mạnh bởi lực hấp dẫn của Trái đất. Mục 10.3 của cuốn sách này sẽ trình bày vì sao họ lại chịu sự mất trọng lượng biểu kiến. Thông tin thêm về sự mô phỏng lực hấp dẫn bằng cách quay tròn phi thuyền, xem mục 9.2 của cuốn sách này.



## 3.8 | Áp dụng giải tích

Trong mục Áp dụng giải tích ở cuối chương trước, tôi đã trình bày làm thế nào ý tưởng độ dốc của đường tiếp tuyến liên quan đến khái niệm giải tích của phép tính đạo hàm, và ngành học giải tích gọi là vi tích phân. Phép tính chủ yếu khác của giải tích, phép tính tích phân, phải thực hiện với khái niệm diện tích dưới đường cong trình bày trong mục 3.5 của chương này. Một lần nữa, có một khái niệm, một kí hiệu và một túi quy tắc thực hiện các phép tính mang tính biểu trưng chứ không còn là hình học nữa. Trong giải tích, diện tích dưới đồ thị  $v - t$  giữa  $t = t_1$  và  $t = t_2$  được kí hiệu như thế này:

$$\text{diện tích dưới đường cong} = \Delta x = \int_{t_1}^{t_2} v dt$$

Biểu thức ở vế phải gọi là tích phân, và kí hiệu hình chữ s, dấu tích phân, được đọc là “tích phân của...”

Phép tính tích phân và phép tính vi phân liên hệ chặt chẽ với nhau. Ví dụ, nếu bạn lấy đạo hàm của hàm  $x(t)$ , bạn nhận được hàm  $v(t)$ , và nếu bạn tích phân hàm  $v(t)$ , bạn nhận được hàm  $x(t)$  trở lại. Nói cách khác, tích phân và đạo hàm là những toán tử ngược nhau. Đây là định lí cơ sở của giải tích.

Về một chủ đề không có liên quan, có một kí hiệu đặc biệt cho việc lấy đạo hàm của một hàm số hai lần. Ví dụ, gia tốc là đạo hàm bậc hai của vị trí, vì lấy đạo hàm  $x$  một lần cho ta  $v$ , và sau đó đạo hàm  $v$  cho ta  $a$ . Nó được viết như sau:

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

Sự sắp đặt đường như không nhất quán giữa hai số 2 ở trên tử và dưới mẫu làm rối trí mọi học sinh mới học giải tích. Động cơ cho kí hiệu ngộ nghĩnh này là gia tốc có đơn vị  $\text{m/s}^2$ , và kí hiệu đó cho thấy chính xác rằng: tử trông có vẻ có đơn vị m, còn mẫu có đơn vị  $\text{s}^2$ . Tuy nhiên, kí hiệu đó không có nghĩa là  $t$  thật sự bình phương lên.

## Tóm tắt chương

### Từ khóa chọn lọc

hấp dẫn .....	thuật ngữ chung chỉ hiện tượng hút nhau giữa các vật có khối lượng. Lực hút giữa hành tinh chúng ta và một vật kích cỡ con người làm cho vật rơi xuống.
gia tốc .....	tốc độ biến thiên vận tốc; độ dốc của đường tiếp tuyến trên đồ thị $v - t$ .

### Kí hiệu

$a$ .....	gia tốc
-----------	---------

$g$  .....

gia tốc của vật rơi tự do; độ lớn của trường hấp dẫn địa phương

## Tóm tắt

Galileo chỉ ra rằng khi sức cản không khí là không đáng kể, thì mọi vật rơi có chuyển động giống nhau, bất kể đến khối lượng. Ngoài ra, đồ thị  $v - t$  của chúng là đường thẳng. Do đó, chúng ta định nghĩa một đại lượng gọi là gia tốc là độ dốc,  $\Delta v / \Delta t$ , của đồ thị  $v - t$  của vật. Trong những trường hợp khác ngoài sự rơi tự do, đồ thị  $v - t$  có thể cong, trong trường hợp đó định nghĩa gia tốc được khái quát hóa là độ dốc của một đường tiếp tuyến trên đồ thị  $v - t$ . Gia tốc của vật rơi tự do khác nhau chút ít trên mặt đất, và khác biệt nhiều trên những hành tinh khác.

Dấu dương và âm của gia tốc được xác định theo độ dốc đồ thị  $v - t$  là hướng lên hay hướng xuống. Định nghĩa này có sự tiện lợi là một lực theo một hướng cho trước luôn tạo ra gia tốc có cùng dấu.

Diện tích nằm dưới đồ thị  $v - t$  cho biết  $\Delta x$ , và tương tự, diện tích dưới đồ thị  $a - t$  cho biết  $\Delta v$ .

Đối với chuyển động với gia tốc không đổi, áp dụng ba phương trình sau đây:

$$\Delta x = v_o \Delta t + \frac{1}{2} a \Delta t^2$$

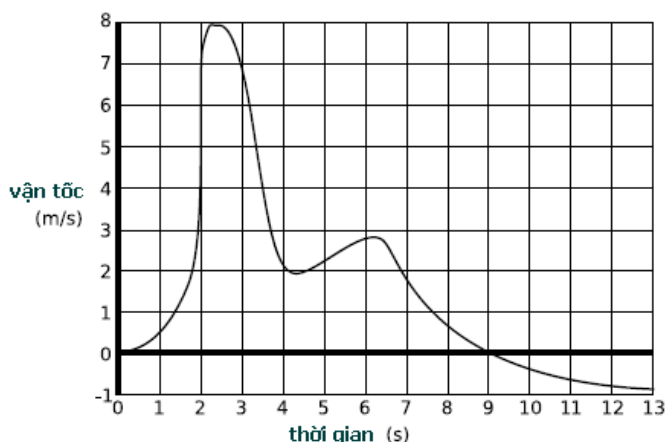
$$v_f^2 = v_o^2 + 2a\Delta x$$

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

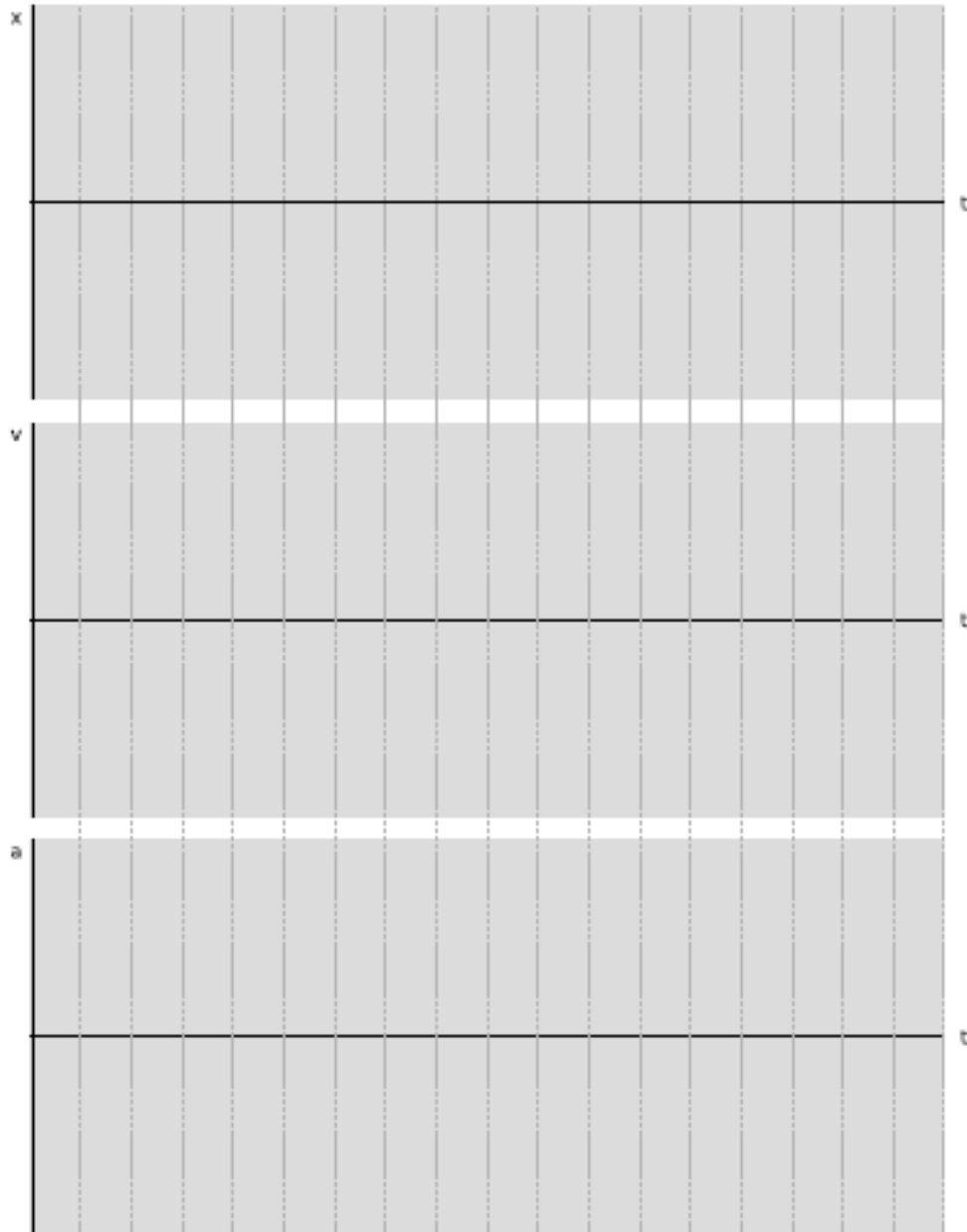
Chúng không có giá trị nếu như gia tốc biến thiên.

## Bài tập

1. Đồ thị bên dưới biểu diễn vận tốc của một con ong bay theo một đường thẳng. Lúc  $t = 0$ , con ong ở tại tổ ong. (a) Khi nào con ong ở xa tổ ong nhất? (b) Điểm xa nhất đó cách tổ của nó bao xa? (c) Lúc  $t = 13$  s, con ong cách tổ của nó bao xa?



2. Thả một hòn đá rơi vào trong một hồ nước. Vẽ đồ thị vị trí của nó theo thời gian, vận tốc theo thời gian, và gia tốc theo thời gian. Xét toàn bộ chuyển động của nó, bắt đầu từ thời điểm nó rơi, và tiếp tục khi nó rơi trong không khí, đi vào nước, và cuối cùng nằm yên tại đáy hồ. Hãy vẽ trên giấy photocopy hoặc bản in sau đây.



3. Trong một trận thủy chiến thế kỉ 18, một quả đại bác được bắn đi theo phương ngang, đi qua mạn vỏ tàu của kẻ thù, bay qua thuyền, và đâm vào buồng tàu. Hãy vẽ đồ thị vị trí theo phương ngang, vận tốc và gia tốc của nó là hàm của thời gian, bắt đầu khi nó ở bên trong khẩu đại bác và chưa bị bắn, và kết thúc khi nó đã nằm yên. Không có lượng ma sát đáng kể nào từ phía không khí. Mặc dù quả đạn có thể bay lên và rơi xuống, nhưng bạn chỉ quan tâm tới chuyển động theo phương ngang của nó, giống như nhìn từ trên xuống. Vẽ hình trên mẫu giấy ở hình trên.

4. Vẽ đồ thị vị trí, vận tốc, và gia tốc là hàm của thời gian cho một người nhảy bungee (Trong trò nhảy bungee, một người có một sợi dây thừng đàn hồi kéo căng buộc ngang mắt cá chân anh ta/cô ta, và nhảy ra khỏi một sàn cao. Tại đáy quỹ đạo rơi, sợi dây thừng giật người đó lên. Có lẽ người đó hơi bật trở lên một chút) Hãy vẽ trên mẫu giấy ở trang trước.

5. Một quả bóng lăn xuống bờ dốc như trong hình, gồm một khúc cong, một dốc thẳng, và một đáy cong. Trong mỗi phần của bờ dốc, hãy cho biết vận tốc của quả bóng tăng, giảm, hay không đổi, và còn gia tốc của quả bóng tăng, giảm, hay không đổi. Giải thích câu trả lời của bạn. Giả sử không có ma sát của không khí và lực cản chuyển động lăn.

6. Một chiếc xe hơi đồ chơi chạy trên mặt một mẫu đường rãnh uốn cong thành hình chữ U dựng đứng. Chiếc xe chạy tới chạy lui. Khi chiếc xe đạt tới giới hạn của chuyển động của nó ở một phía, vận tốc của nó bằng không. Hỏi gia tốc của nó cũng có bằng không hay không? Giải thích bằng đồ thị  $v - t$ .

7. Gia tốc của một chiếc xe hơi chuyển động ở vận tốc đều 100 km/h trong 100 s bằng bao nhiêu? Giải thích.

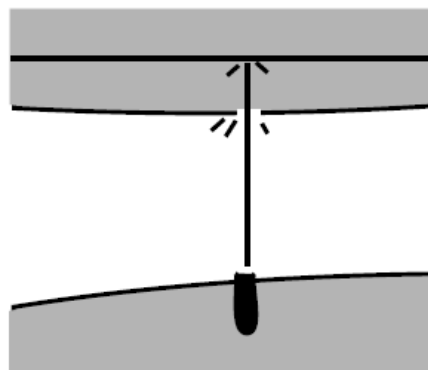
8. Một bài tập vật lý về nhà yêu cầu, “Nếu bạn bắt đầu từ trạng thái nghỉ và gia tốc ở  $1,54 \text{ m/s}^2$  trong 3,29 s thì bạn đi được bao xa vào cuối thời gian đó?”. Một học sinh trả lời như sau:

$$1,54 \times 3,29 = 5,07 \text{ m}$$

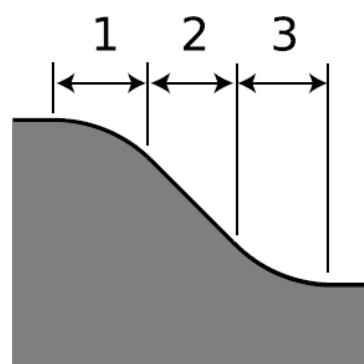
Dì của cậu ta là một người giỏi tính toán với những con số, nhưng chưa hề học qua vật lý. Bà không biết khoảng cách đi được dưới gia tốc không đổi trong một lượng thời gian cho trước, nhưng bà nói bà biết bài làm của người cháu trai kia không thể nào đúng được. Hỏi làm sao bà biết?

9. Bạn đang nhìn vào một cái giếng sâu. Nó tối đen, và bạn không thể nhìn thấy đáy. Bạn muốn tìm xem cái giếng sâu bao nhiêu, nên bạn thả một hòn đá vào, và bạn nghe tiếng nước bắn tóe 3,0 s sau đó. Hỏi cái giếng sâu bao nhiêu?

10. Bạn thực hiện một chuyến du lịch trên phi thuyền của mình đến một vì sao khác. Cất cánh, bạn tăng tốc độ của mình lên ở gia tốc không đổi. Một khi bạn đã đi được nửa chặng đường, bạn bắt đầu giảm tốc, ở tốc độ như cũ, sao cho lúc bạn đến đó, bạn giảm vận tốc của mình xuống tới không. Bạn thấy những sức hút du lịch, và rồi thẳng tiến về nhà bằng phương pháp như cũ.



Bài toán 3



Bài toán 5

(a) Tìm công thức cho thời gian,  $T$ , cần thiết cho trọn vòng chuyển du hành, theo  $d$ , khoảng cách từ Mặt trời của chúng ta đến ngôi sao đó, và  $a$ , độ lớn của gia tốc. Lưu ý gia tốc không phải không đổi trong suốt hành trình, nhưng chuyển đi có thể chia thành những chặng đường có gia tốc không đổi.

(b) Ngôi sao gần Trái đất nhất (ngoài Mặt trời của chúng ta) là Proxima Centauri, ở khoảng cách  $d = 4 \times 10^{16}$  m. Giả sử bạn sử dụng gia tốc  $4 \text{ m/s}^2$ , chỉ đủ cho bù lại sự thiếu lực hấp dẫn thật và làm cho bạn cảm thấy thoải mái. Hỏi chuyến du hành kéo dài bao lâu, tính theo năm?

(c) Cũng sử dụng các số  $d$  và  $a$ , hãy tìm tốc độ lớn nhất của bạn. So sánh tốc độ này với tốc độ ánh sáng,  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$  (Trong phần sau cuốn sách này, bạn sẽ biết có một số điều mới lạ xảy ra trong vật lý khi người ta tiến gần đến tốc độ ánh sáng, và không thể nào vượt quá tốc độ ánh sáng. Tuy nhiên, hiện tại, chỉ sử dụng những ý tưởng đơn giản mà bạn đã học được từ trước đến giờ thôi).

11. Bạn trèo nửa chừng lên một cái cây và thả rơi một hòn đá. Sau đó, bạn leo lên ngọn cây và thả rơi một hòn đá nữa. Hỏi vận tốc của hòn đá thứ hai khi chạm đất lớn hơn bao nhiêu lần so với hòn đá thứ nhất? Giải thích (Đáp án không phải là hai lần).

12. Alice thả một hòn đá xuống vách đá. Bubba bắn một phát đạn thẳng xuống từ cùng bờ vách đá đó. So sánh gia tốc của hòn đá và viên đạn khi chúng đang trên đường rơi xuống trong không khí.

13. Một người đang nhảy dù. Trong thời gian từ lúc cô tả nhảy khỏi máy bay đến lúc cô tả mở dù, độ cao của cô ta được cho bởi phương trình có dạng

$$y = b - c(t + ke^{-t/k})$$

trong đó  $e$  là cơ số logarithm tự nhiên, còn  $b$ ,  $c$  và  $k$  là các hằng số. Do sức cản không khí, vận tốc của cô ta không tăng ở tốc độ đều như trường hợp một vật rơi trong chân không.

(a)  $b$ ,  $c$  và  $k$  phải có đơn vị gì để cho phương trình có nghĩa?

(b) Tìm vận tốc  $v$  của người đó là hàm của thời gian. [Bạn cần sử dụng quy luật dây chuyền, và sự thật thì  $d(e^x)/dx = e^x$ ]

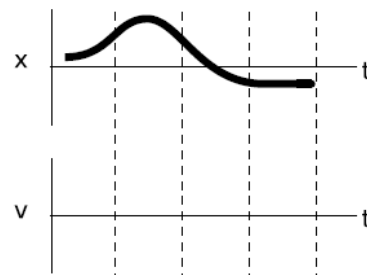
(c) Sử dụng câu trả lời của bạn cho câu (b) để cho lời giải thích về hằng số  $c$  [Gợi ý  $e^{-x}$  tiến tới không khi  $x$  lớn]

(d) Tìm gia tốc  $a$  của người đó là hàm của thời gian.

(e) Sử dụng câu trả lời của bạn cho câu (b) để chỉ ra rằng nếu như cô tả chờ đủ lâu mới mở dù, thì gia tốc của cô ta sẽ trở nên rất nhỏ.



14. Phần trên của hình biểu diễn đồ thị vị trí theo thời gian cho một vật chuyển động trong không gian một chiều. Ở phần dưới của hình, hãy kéo tương ứng đồ thị  $v$  theo  $t$ .

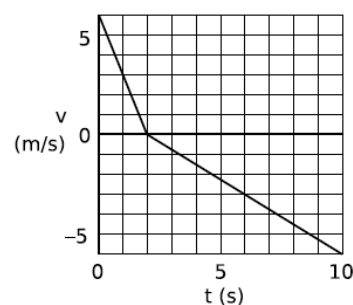


Bài toán 14

15. Vào ngày năm mới, một kẻ ngu ngốc bắn một phát súng lục thẳng đứng lên trời. Viên đạn rời khỏi súng ở tốc độ 100 m/s. Hỏi mất bao nhiêu thời gian trước khi viên đạn chạm đất ?

16. Nếu gia tốc hấp dẫn của Hỏa tinh bằng  $1/3$  trên Trái đất, hỏi thời gian cho một viên đá rơi từ cùng một độ cao trên Hỏa tinh lâu gấp bao nhiêu lần ? Bỏ qua sức cản không khí.

17. Vị trí của một con ong mật là hàm của thời gian cho bởi  $x = 10t - t^3$ , trong đó  $t$  tính theo s và  $x$  tính theo m. Gia tốc của nó bằng bao nhiêu lúc  $t = 3,0$  s ?

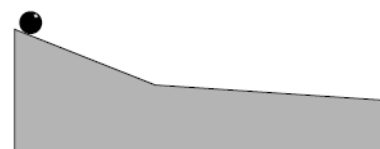


Bài toán 19

18. Tháng 7/1999, Popular Mechanics đã tiến hành những phép thử nhằm tìm xem chiếc xe nào được bán bởi một nhà sản xuất ô tô chủ đạo đi được một phần tư dặm (402 m) trong thời gian ngắn nhất, bắt đầu từ trạng thái nghỉ. Do khoảng cách quá ngắn, nên loại phép thử này được thiết kế để xem xét chiếc xe nào có gia tốc lớn nhất, chứ không phải tốc độ lớn nhất (nó không liên quan tới một người bình thường). Kẻ chiến thắng là Dodge Viper, với thời gian 12,08 s. Tốc độ lớn nhất của xe (và có lẽ là tốc độ cuối cùng) là 118,51 dặm/h (52,98 m/s). (a) Nếu một chiếc xe, bắt đầu từ trạng thái nghỉ và chuyển động với gia tốc *không đổi*, đi hết một phần tư dặm trong khoảng thời gian này, thì gia tốc của nó bằng bao nhiêu ? (b) Tốc độ cuối cùng của chiếc xe hơi đi một phần tư dặm với gia tốc không đổi bạn tìm được trong câu a bằng bao nhiêu ? (c) Dựa trên sự chênh lệch giữa đáp số của bạn trong câu b và tốc độ cuối cùng thật sự của Viper, bạn có thể kết luận gia tốc của nó biến thiên theo thời gian như thế nào ?

19. Đồ thị hình bên biểu diễn chuyển động của một quả bóng đang lăn bật ra khỏi tường. Khi nào quả bóng quay trở lại vị trí ban đầu của nó lúc  $t = 0$  ?

20. (a) Quả bóng được thả ra từ đỉnh của một bờ dốc như trong hình. Ma sát là không đáng kể. Dùng cách lí giải vật lí để vẽ đồ thị  $v - t$  và  $a - t$ . Giả sử quả bóng không bị bật tại điểm bờ dốc thay đổi độ nghiêng. (b) Thực hiện yêu cầu tương tự cho trường hợp trong đó quả bóng lăn lên dốc từ phía bên phải, nhưng không đủ tốc độ để lăn lên tới đỉnh.



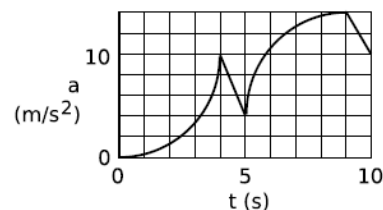
Bài toán 20

21. Bạn ném một quả bóng cao su lên cao, và nó rơi và nảy trở lên một vài lần. Vẽ đồ thị vị trí, vận tốc và gia

tốc là hàm của thời gian.

22. Bắt đầu từ trạng thái nghỉ, một quả bóng lăn xuống một bờ dốc, đi quãng đường  $L$  và thu được vận tốc cuối cùng  $v$ . Hỏi quả bóng đã đi được quãng đường bao nhiêu trước khi thu được tốc độ  $v/2$  ?

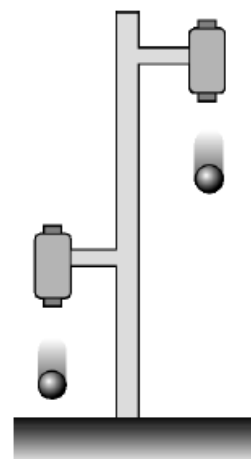
23. Đồ thị ở hình bên biểu diễn gia tốc của một con sóc chuột trong phim hoạt hình trên ti vi. Lúc  $t = 0,00$  s, vận tốc của con sóc chuột là  $-3,10$  m/s. Vận tốc của nó bằng bao nhiêu lúc  $t = 10,00$  s ?



Bài toán 23

24. Tìm sai sót trong phép tính sau. Một học sinh muốn tìm quãng đường đi được bởi một chiếc xe gia tốc từ trạng thái nghỉ trong 5,0 s với gia tốc  $2,0 \text{ m/s}^2$ . Trước tiên, anh ta giải  $a = \Delta v / \Delta t$ , cho  $\Delta v = 10 \text{ m/s}$ . Sau đó anh ta nhân để tìm  $(10 \text{ m/s})(5,0 \text{ s}) = 50 \text{ m}$ . Không cần tính lại kết quả bằng một phương pháp khác; nếu bạn làm lại như vậy, bạn không có cách nào biết cách tính nào đúng, của bạn hay của anh ta.

25. Gia tốc có thể định nghĩa là  $\Delta v / \Delta t$ , hoặc là độ dốc của đường tiếp tuyến trên đồ thị  $v - t$ . Có định nghĩa nào là ưu tiên hơn, hay chúng tương đương nhau ? Nếu bạn nói định nghĩa này tốt hơn, hãy cho thí dụ về một tình huống trong đó có sự khác biệt do loại định nghĩa bạn sử dụng.



Bài toán 27

26. Nếu một vật bắt đầu gia tốc từ trạng thái nghỉ, chúng ta có  $v^2 = 2a\Delta x$  cho tốc độ của nó sau khi đi được quãng đường  $\Delta x$ . Giải thích bằng lời tại sao phương trình có ý nghĩa khi mà nó có vận tốc bình phương, những quãng đường chỉ lũy thừa một. Không tóm tắt lại chỉ dẫn trong sách, hay cho suy luận dựa trên đơn vị. Vấn đề là giải thích đặc điểm này của phương trình cho chúng ta biết điều gì về cách thức tốc độ tăng lên khi quãng đường đi được tăng thêm.

27. Hình trên biểu diễn một thí nghiệm đơn giản, thực tế dùng xác định  $g$  đến độ chính xác cao. Hai quả cầu thép được treo bằng các nam châm điện, và thả ra đồng thời khi dòng điện bị ngắt. Chúng rơi qua những độ cao không bằng nhau  $\Delta x_1$  và  $\Delta x_2$ . Một máy vi tính ghi lại âm thanh qua một microphone khi quả cầu thứ nhất và rồi quả cầu kia chạm xuống sàn. Từ số ghi này, chúng ta có thể xác định chính xác đại lượng  $T$  được định nghĩa là  $T = \Delta t_2 - \Delta t_1$ , tức là độ trễ thời gian giữa va chạm thứ nhất và thứ hai. Lưu ý các quả bóng không phát ra âm thanh nào khi chúng được thả ra, nên chúng ta không có cách nào đo từng thời gian riêng  $\Delta t_2$  và  $\Delta t_1$ .

- Tìm phương trình cho  $g$  theo các đại lượng đo được,  $T$ ,  $\Delta x_1$  và  $\Delta x_2$ .
- Kiểm tra đơn vị phương trình của bạn.
- Kiểm tra phương trình của bạn cho kết quả chính xác trong trường hợp  $\Delta x_1$  rất gần với không. Tuy nhiên, trường hợp này có thực tế không ?
- Điều gì xảy ra khi  $\Delta x_1 = \Delta x_2$  ? Hãy trình bày theo toán học lẫn theo vật lí học.

28. Tốc độ cần thiết cho một quỹ đạo thấp quanh Trái đất là  $7,9 \times 10^3$  m/s (xem chương 10). Khi tên lửa được phóng vào quỹ đạo, ban đầu nó đi thẳng lên hầu như khỏi bầu khí quyển, nhưng sau đó nó đi ngang để đi vào tốc độ quỹ đạo. Giả sử gia tốc ngang được hạn chế đến  $3g$  để giữ cho không phá hỏng hàng hóa (hay làm tổn thương phi hành gia, trong chuyến bay có người). (a) Quãng đường tối thiểu tên lửa phải đi thẳng đứng trước khi đạt tới tốc độ quỹ đạo của nó bằng bao nhiêu? Hỏi giá trị đó lệch đi bao nhiêu nếu bạn tính cả vận tốc hướng về phía đông ban đầu do sự quay của Trái đất? (b) Thay cho phi thuyền tên lửa đẩy, có thể thật tiện lợi là sử dụng một thiết kế kiểu súng bắn ray, trong đó phi hành đoàn được gia tốc lên tốc độ quỹ đạo theo một đường ray xe lửa. Cách này có tiện lợi là không cần thiết phải nâng một khối lượng lớn nhiên liệu, vì nguồn năng lượng nằm bên ngoài. Dựa trên trả lời của bạn cho câu a, hãy bình luận về tính khả thi của thiết kế này cho việc phóng phi hành đoàn lên từ mặt đất.

29. Một số con bọ chét có thể nhảy cao đến 30 cm. Con bọ chỉ có thời gian ngắn để tăng tốc – trong thời gian đó, khối tâm của nó gia tốc hướng lên trên nhưng chân của nó vẫn tiếp xúc với đất. Hãy ước tính bậc độ lớn của gia tốc mà con bọ phải có trong khi nấn thẳng chân nó lên, và trình bày câu trả lời theo đơn vị  $g$ , tức là “bao nhiêu  $g$ ” mà nó kéo. (Để so sánh, người phi công máy bay sẽ thoáng ngất hay mất mạng nếu gia tốc vượt quá 5 hay 10  $g$ )

30. Xét đoạn văn sau trích từ truyện *Alice ở Xứ sở thần kì*, trong đó Alice rơi một thời gian dài xuống một cái lỗ vô tận:

Xuống, xuống, xuống. Sự rơi *không hề* có kết thúc ư? “Tôi tự hỏi không biết đến lúc này mình đã rơi bao nhiêu dặm rồi?”, cô bé la to. “Tôi phải ở đâu đó gần tâm của Trái đất. Để xem: tôi nghĩ, nó phải cỡ bốn ngàn dặm chứ không ít” (đấy, bạn thấy, Alice đã học được vài điều thuộc loại này trong những bài học ở trên lớp, và dẫu vậy đây không phải là cơ hội tốt lắm cho việc trình diễn kiến thức của cô bé, vì không có ai nghe cô bé nói cả, nhưng đây vẫn là một bài thực hành tốt để nói về nó...)

Alice không biết nhiều về vật lí, nhưng hãy thử tính thời gian cần thiết để rơi bốn ngàn dặm, bắt đầu từ nghỉ với gia tốc  $10 \text{ m/s}^2$ . Đây thật ra chỉ là một giới hạn thấp; nếu cái hố đó thật sâu, thì sự rơi thật ra cần nhiều thời gian hơn so với kết quả bạn tính, do sức cản không khí và vì lực hấp dẫn yếu hơn đi khi bạn ở sâu hơn (tại tâm Trái đất,  $g$  bằng không, vì Trái đất hút bạn bằng nhau theo mỗi hướng cùng lúc).



Isaac Newton

## Chương 4

### Lực và chuyển động

*Nếu tôi có tầm nhìn xa hơn những người khác, đó là vì tôi đứng trên vai của những người khổng lồ.*

*Newton, nhắc tới Galileo*

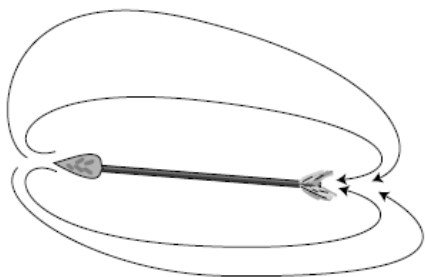
Ngay cả một bậc thiên tài vĩ đại và hay ngờ vực như Galileo cũng không thể mang lại nhiều tiến bộ về nguyên nhân của chuyển động. Mãi cho đến thế hệ sau này, Isaac Newton (1642 – 1727) mới có khả năng giải quyết vấn đề một cách thành công. Theo nhiều mặt, tính cách của Newton trái ngược hẳn với Galileo. Trong khi Galileo hào hứng công khai ý tưởng của ông, thì Newton phải bị bạn bè tán đồng mới chịu cho xuất bản sách về những khám phá vật lý của ông. Trong khi tác phẩm của Galileo nổi tiếng và đầy kịch tính, thì Newton xuất phát từ phong cách cứng nhắc, vô tư mà đa số mọi người nghĩ là chuẩn cho tác phẩm khoa học. (Các tập san khoa học ngày nay khuyến khích phong cách kém nặng nề hơn, và các bài báo thường viết theo ngôi thứ nhất) Tài năng của Galileo trong việc khuấy động sự thù địch trong số những người giàu có

và quyền lực cân xứng với sự khéo léo của Newton ở việc làm cho bản thân ông trở thành vị khách nổi tiếng tại tòa án. Galileo suýt nữa bị chôn vùi tại giàn thiêu, còn Newton có vận may tốt ở về phe chiến thắng của cuộc cách mạng thay thế nhà vua James II với William và Mary xứ Cam, đưa đến một trụ cột có lợi điều hành hoàng gia Anh.

Newton phát hiện ra mối quan hệ giữa lực và chuyển động, và làm cách mạng hóa quan điểm của chúng ta về vũ trụ bằng việc chỉ ra rằng các định luật vật lý là áp dụng như nhau cho toàn bộ vật chất, cho dù là sống hay không sống, ở trên hay ở bên ngoài bề mặt hành tinh của chúng ta. Cuốn sách của ông về lực và chuyển động, *Các nguyên lý toán học của triết học tự nhiên*, không mâu thuẫn với thực nghiệm trong 200 năm, nhưng công trình chủ yếu khác của ông, *Quang học*, đi theo lối mòn sai lầm, quả quyết rằng ánh sáng gồm các hạt chứ không phải sóng. Newton còn là một nhà giả kim thuật nhiều tham vọng, một sự thật mà các nhà khoa học hiện đại muốn quên đi.

## 4.1 Lực

### Chúng ta chỉ cần giải thích sự thay đổi trong chuyển động, chứ không phải bản thân sự chuyển động



a/ Aristotle nói chuyển động có nguyên nhân bởi một lực. Để giải thích tại sao mũi tên vẫn giữ hướng bay sau khi dây cung không còn đẩy lên nó, ông nói không khí xô xung quanh phía sau mũi tên và đẩy nó về phía trước. Chúng ta biết điều này sai, vì một mũi tên bắn trong buồng chân không không rơi ngay xuống sàn khi nó rời cây cung. Galileo và Newton nhận ra rằng một lực sẽ chỉ cần thiết để làm biến đổi chuyển động của mũi tên, chứ không làm cho chuyển động tiếp tục.

Từ trước tới nay, bạn đã nghiên cứu phép đo chuyển động ở một số mức độ chi tiết, nhưng không lí giải tại sao một vật nhất định sẽ chuyển động theo một hướng nhất định. Chương này nghiên cứu câu hỏi “tại sao” đó. Ý tưởng của Aristotle về nguyên nhân của chuyển động hoàn toàn sai lầm, giống như mọi ý tưởng khác của ông về khoa học vật lý, nhưng thật đáng để học là hãy bắt đầu với chúng, vì chúng chung quy là lộ trình hình thành quan niệm sai lầm của học sinh hiện đại.

Aristotle nghĩ ông cần phải giải thích tại sao chuyển động xuất hiện lần tại sao chuyển động có thể biến đổi. Newton kế thừa từ Galileo tư tưởng chống Aristotle quan trọng rằng chuyển động không cần giải thích, rằng chỉ có sự *biến đổi* chuyển động là đòi hỏi một nguyên nhân vật lý. Hệ thống phức tạp vô ích của Aristotle đưa ra ba nguyên nhân cho chuyển động:

Chuyển động tự nhiên, như sự rơi, do xu hướng của các vật đi đến vị trí “tự nhiên” của chúng, ở trên mặt đất, và đi đến nằm yên.

Chuyển động tự phát là loại chuyển động biểu hiện bởi động vật, chúng chuyển động vì chúng chọn như thế.

Chuyển động cưỡng bức xảy ra khi một vật bị tác dụng bởi một số vật khác làm cho nó chuyển động.



## Chuyển động biến đổi do tương tác giữa hai vật

Theo lí thuyết Aristotle, chuyển động tự nhiên và chuyển động tự phát là hiện tượng một chiều: vật gây ra chuyển động riêng của nó. Chuyển động cưỡng bức được cho là hiện tượng hai chiều, vì vật này áp đặt “yêu cầu” của nó lên vật kia. Trong khi Aristotle xem một số hiện tượng chuyển động là một chiều và một số khác là hai chiều, thì Newton nhận ra rằng sự biến đổi chuyển động luôn luôn là mối quan hệ hai chiều của lực tác dụng giữa hai đối tượng vật chất.

Mô tả “chuyển động tự nhiên” một chiều của sự rơi phạm phải một sai sót quan trọng. Gia tốc của một vật rơi không gây ra bởi khuynh hướng “tự nhiên” riêng của nó mà bởi lực hút giữa nó và hành tinh Trái đất. Đắt đá Mặt trăng mang về Trái đất chúng ta không “muốn” bay trở lại Mặt trăng là vị trí “tự nhiên” của chúng. Chúng rơi xuống sàn khi bạn thả chúng, giống hệt như đất đá quê nhà của chúng ta. Như chúng ta sẽ thảo luận chi tiết hơn ở phần sau khóa học này, lực hấp dẫn đơn giản là lực hút giữa bất kì hai khối lượng vật chất nào. Lực hấp dẫn nhỏ còn có thể đo giữa những vật kích cỡ con người trong phòng thí nghiệm.

Tư tưởng chuyển động tự nhiên cũng giải thích không đúng tại sao các vật đi đến nằm yên. Một quả bóng rổ lăn trên bãi biển chậm dần đến ngừng lại vì nó tương tác với các thông qua lực ma sát, không phải vì mong muốn riêng của nó là nằm yên. Nếu không có ma sát bề mặt, nó sẽ không bao giờ chậm lại. Nhiều sai sót của Aristotle có nguyên nhân từ sự thất bại của ông trước việc công nhận ma sát là một lực.

Quan niệm chuyển động tự phát cũng rạn nứt không kém. Bạn có thể đã có chút băn khoăn về nó từ khi bắt đầu, vì nó giả định một sự khác biệt rõ ràng giữa các vật sống và không sống. Tuy nhiên, ngày nay, chúng ta thường sánh cơ thể người với một cỗ máy phức tạp. Trong thế giới hiện đại, ranh giới giữa vật sống và vật vô tri vô giác là một vành đai trắng mờ nhạt thống trị bởi virus, prion và chip silicon. Hơn nữa, phát biểu của Aristotle rằng bạn có thể bước về phía trước “vì bạn chọn thế” đã hòa trộn không thích hợp hai mức độ giải thích. Ở mức độ giải thích vật lí, nguyên nhân cơ thể bạn bước về phía trước là vì lực ma sát tác dụng giữa chân bạn và sàn nhà. Nếu sàn nhà đổ đầy một vũng dầu, thì không có lượng “chọn như thế” cho phép bạn sải chân phong nhã về phía trước.

## Lực có thể hoàn toàn đo được trên cùng thang đo số

Theo truyền thống kinh viện Aristotle, mô tả của chuyển động là tự nhiên, tự phát và cưỡng bức chỉ là những mức độ rộng nhất của sự phân loại, giống như phân chia động vật thành chim, bò sát, thú, và động vật lưỡng cư. Có thể có hàng nghìn loại chuyển động, mỗi loại tuân



b/ “Mắt của chúng ta nhận ánh sáng màu xanh phản xạ từ bức tranh này vì Monte muốn thể hiện nước với màu xanh”. Đây là một phát biểu có giá trị ở một mức độ giải thích, nhưng vật lí hoạt động ở mức độ vật chất của giải thích, trong đó ánh sáng xanh đi đến mắt bạn vì nó bị phản xạ bởi sắc tố màu xanh trong bức tranh.

theo những quy luật riêng của nó. Nhận thức rõ của Newton là tất cả những biến đổi ở chuyển động gây ra bởi các tương tác hai chiều khiến đường như rằng hiện tượng đó bao quát hơn nó biểu hiện. Theo mô tả của Newton, chỉ có một nguyên nhân cho sự thay đổi chuyển động, cái chúng ta gọi là lực. Lực có thể thuộc nhiều loại khác nhau, nhưng chúng đều tạo ra sự thay đổi chuyển động theo những quy luật như nhau. Bất kì gia tốc nào có thể tạo ra bởi một lực từ có thể được tạo ra bằng như vậy bởi một dòng nước được điều khiển thích hợp. Chúng ta có thể nói hai lực là bằng nhau nếu chúng tạo ra cùng sự thay đổi chuyển động khi tác dụng trong cùng tình huống, nghĩa là chúng đẩy hoặc hút mạnh như nhau theo cùng hướng.

Ý tưởng thang đo số và đơn vị newton của lực đã được giới thiệu trong chương 0. Để tóm lại ngắn gọn, một lực là khi một cặp vật đẩy hoặc hút lẫn nhau, và một newton là lực cần thiết để gia tốc một vật 1 kg từ nghỉ lên tốc độ 1 m/s trong 1 s.

## Nhiều lực tác dụng lên một vật

Như thế chúng ta đã không đá lão già Aristotle tội nghiệp đi đủ xa, lí thuyết của ông có một sai lầm quan trọng nữa, nó đáng được bàn tới vì nó tương ứng với một quan niệm sai lầm cực kì phổ biến ở học sinh. Aristotle nghĩ về chuyển động cưỡng bức là một mối quan hệ trong đó một vật là chủ và vật kia “tuân theo mệnh lệnh”. Vì thế, chỉ có thể nhận thức một vật chịu một lực tại một thời điểm, vì một vật không thể tuân theo mệnh lệnh từ hai vật đồng thời. Theo lí thuyết Newton, lực là số, không phải mệnh lệnh, và nếu có nhiều hơn một lực tác dụng lên một vật đồng thời, thì kết quả được tìm thấy bằng cách cộng gộp tất cả các lực. Thật không may là việc sử dụng từ tiếng Anh “lực” đã trở thành chuẩn, vì với nhiều người nó gợi ra rằng bạn đang “buộc” một vật thực hiện cái gì đó. Lực của sức hấp dẫn của Trái đất không thể “buộc” con tàu chìm, vì còn có những lực khác tác dụng lên con tàu. Cộng chúng lại cho tổng bằng không, cho nên con tàu không gia tốc lên hoặc xuống.

## Các vật có thể tác dụng lực lên nhau xuyên khoảng cách

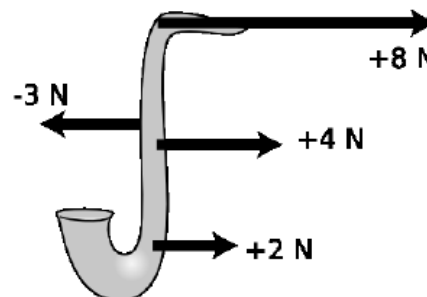
Aristotle công nhận rằng lực chỉ có thể tác dụng giữa các vật chạm tiếp xúc nhau, có khả năng vì ông muốn tránh loại lập luận huyền bí gán cho các hiện tượng vật lí sự tác động của một vị chúa trời xa xôi và vô hình. Tuy nhiên, ông đã sai, như bạn có thể quan sát thấy khi một nam châm nhảy trên tủ lạnh nhà bạn hay khi hành tinh Trái đất tác dụng lực hấp dẫn lên các vật nằm trong không khí. Một số loại lực, như ma sát, chỉ hoạt động giữa các vật tiếp xúc, và được gọi là lực tiếp xúc. Mặt khác, lực từ là một thí dụ của loại lực không tiếp xúc. Mặc dù lực từ là mạnh hơn khi nam châm ở gần tủ lạnh hơn, nhưng sự tiếp xúc là không cần thiết.

## Trọng lượng

Trong vật lí, trọng lượng của một vật,  $F_w$ , được định nghĩa là lực hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên nó. Đơn vị SI của trọng lượng do đó là newton. Người ta thường xem kilogram là một đơn vị của trọng lượng, nhưng kilogram là một đơn vị khối lượng, không phải trọng lượng. Lưu ý trọng lượng của một vật không phải là tính chất cố hữu của vật đó. Các vật cân nặng ở nơi này hơn so với ở nơi khác, tùy thuộc vào độ lớn hấp dẫn địa phương. Chỉ khối lượng của nó là luôn luôn giữ nguyên không đổi. Một cầu thủ bóng chày có thể ném bóng 90 dặm/giờ trên Trái đất sẽ không thể ném đi nhanh hơn chút nào trên Mặt trăng, vì quán tính của quả bóng vẫn như cũ.

## Dấu dương và âm của lực

Chúng ta sẽ bắt đầu chỉ xét những trường hợp chuyển động khối tâm một chiều trong đó tất cả các lực song song với hướng chuyển động, tức là hoặc hướng về phía trước, hoặc hướng về phía sau. Trong không gian một chiều, dấu cộng và trừ có thể sử dụng để chỉ hướng của lực, như biểu diễn trong hình. Khi đó chúng ta có thể xem xét tổng quát phép cộng lực, thay vì phải nói đôi khi là cộng, đôi khi là trừ. Chúng ta cộng các lực biểu diễn trong hình và thu được 11 N. Nói chung, chúng ta chọn một hệ tọa độ một chiều với trục  $x$  song song với hướng chuyển động. Các lực hướng xuôi theo trục  $x$  là dương, và các lực hướng ngược lại là âm. Các lực không hướng theo trục  $x$  không thể kết hợp ngay trong khuôn khổ này, nhưng không hề gì, vì lúc này chúng ta tránh những trường hợp như thế.



c/ Trong ví dụ này, dấu dương dùng cho lực hướng sang phải, và dấu âm cho lực hướng sang trái. (Lực đặt vào những nơi khác nhau trên cây kèn saxophone, nhưng giá trị số của lực không mang thông tin về điều đó)

☺ A. Trong chương 0, tôi định nghĩa 1 N là lực sẽ gia tốc một khối lượng  $\text{kg}$  từ trạng thái nghỉ lên  $1 \text{ m/s}$  trong  $1 \text{ s}$ . Biết trước, bạn có thể đoán rằng 2 N có thể định nghĩa là lực sẽ gia tốc cùng khối lượng đó lên tốc độ gấp đôi, hay khối lượng gấp đôi lên cùng tốc độ. Có cách nào dễ hơn định nghĩa 2 N dựa trên định nghĩa 1 N không?

## 4.2 Định luật I Newton

Bây giờ chúng ta đã sẵn sàng đưa ra một phát biểu lại có sức mạnh hơn của nguyên lý quán tính:

### Định luật I Newton

Nếu tổng hợp lực tác dụng lên một vật bằng không, thì khối tâm của nó tiếp tục trạng thái chuyển động như cũ.

Nói cách khác, một vật ban đầu nằm yên được đoán là vẫn nằm yên nếu như tổng hợp lực đặt lên nó bằng không, và một vật đang chuyển động vẫn chuyển động với vận tốc cũ theo hướng cũ. Điều ngược lại của định luật I Newton cũng đúng: nếu chúng ta thấy một vật chuyển động với vận tốc không đổi theo một đường thẳng, thì tổng hợp lực tác dụng lên nó phải bằng không.

Trong khóa học vật lý tương lai hoặc trong sách giáo khoa khác, bạn có thể gặp thuật ngữ “hợp lực”, nó đơn giản là từ đồng nghĩa với lực tổng hợp.

Điều gì xảy ra nếu như tổng hợp lực tác dụng lên một vật không bằng không? Nó sẽ gia tốc. Dự đoán dạng số của gia tốc thu được là nội dung của định luật II Newton, chúng ta sẽ nói tới trong phần sau.

Đây là định luật thứ nhất trong số ba định luật của Newton về chuyển động. Không quan trọng việc ghi nhớ định luật nào trong ba định luật này của Newton là mang số một, hai, hay ba. Nếu như thầy dạy vật lý tương lai hỏi bạn như thế này, “Định luật Newton nào mà bạn đang nghĩ tới”, thì một câu trả lời hoàn toàn có thể chấp nhận là “Định luật I nói về vận tốc không đổi khi

có lực tổng hợp bằng không”. Quan niệm thì quan trọng hơn bất kì công thức đặc biệt nào của chúng. Newton viết bằng tiếng Latin, và tôi không quan tâm đến bất kì cuốn sách giáo khoa hiện đại nào sử dụng bản dịch nguyên văn phát biểu của ông về các định luật chuyển động. Viết rõ ràng không phải là phong cách thịnh hành vào thời của Newton, và ông thiết lập ba định luật của ông theo cái ngày nay gọi là động lượng, và sau đó liên hệ nó với khái niệm lực. Hầu như toàn bộ sách vở hiện đại, trong đó có cuốn này, đều bắt đầu với lực và trình bày về động lượng ở phần sau.

#### *Ví dụ 1. Thang máy*

Một thang máy có trọng lượng 5000 N. So sánh các lực mà dây cáp phải tác dụng để nâng nó lên ở vận tốc không đổi, hạ nó xuống ở vận tốc không đổi, và giữ treo nó.

Trả lời: Trong cả ba trường hợp, dây cáp phải kéo lên với một lực đúng bằng 5000 N. Đa số mọi người nghĩ bạn cần ít nhất là nhiều hơn 5000 một chút để kéo nó lên, và ít hơn 5000 N một chút để hạ nó xuống, nhưng điều đó không đúng. Lực thêm vào từ dây cáp chỉ cần thiết cho việc tăng tốc buồng thang máy khi nó bắt đầu đi lên hay hạ nó xuống khi nó kết thúc việc đi xuống. Lực hãm là cần thiết để tăng tốc buồng thang máy lên khi nó hoàn thành việc đi xuống và làm chậm nó lại khi nó kết thúc việc đi lên. Nhưng khi thang máy lướt đi ở vận tốc không đổi, định luật I Newton nói rằng bạn chỉ cần triệt tiêu lực hấp dẫn của Trái đất.

Đối với nhiều học sinh, phát biểu trong ví dụ trên rằng lực hướng lên của dây cáp “triệt tiêu” lực hấp dẫn hướng xuống của Trái đất ngụ ý rằng có một sự giao tranh, và lực của dây cáp đã chiến thắng, đánh bại lực hấp dẫn của Trái đất và làm cho nó biến mất. Điều đó không đúng. Cả hai lực vẫn tiếp tục tồn tại, nhưng vì chúng cộng lại về mặt số lượng bằng không, nên thang máy không có gia tốc khối tâm. Chúng ta biết cả hai lực tiếp tục tồn tại vì chúng đều có tác dụng hai chiều ngoài tác dụng của chúng lên chuyển động khối tâm của buồng thang máy. Lực tác dụng giữa dây cáp và xe tiếp tục tạo ra sức căng trong dây cáp, và giữ cho dây cáp căng ra. Lực hấp dẫn của Trái đất tiếp tục giữ hành khách (những người mà chúng ta xem là một bộ phận của vật-thang máy) dính lên sàn và tạo ra sức căng nội trong thành buồng, chúng phải nâng đỡ sàn buồng lên.

#### *Ví dụ 2. Vận tốc cuối cùng của vật rơi*

Một vật như cái lông chim không đậm đặc hay thuôn dài không rơi với gia tốc không đổi, vì sức cản không khí không thể bỏ qua được. Thật ra, gia tốc của nó giảm đến gần như bằng không trong một phần của một giây, và cái lông chim cuối cùng rơi ở tốc độ không đổi (gọi là vận tốc cuối cùng của nó). Tại sao điều này xảy ra được ?

☞ Định luật I Newton cho chúng ta biết tổng hợp lực tác dụng lên cái lông chim phải giảm xuống gần như bằng không sau một thời gian ngắn. Có hai lực tác dụng lên cái lông chim: lực hấp dẫn hướng xuống từ hành tinh Trái đất, và lực ma sát hướng lên từ không khí. Khi cái lông chim tăng tốc, lực ma sát không khí càng lúc càng mạnh, và cuối cùng nó triệt tiêu lực hấp dẫn của Trái đất, nên cái lông chim tiếp tục rơi với vận tốc không đổi mà không tăng tốc thêm chút nào nữa.

Tình huống người nhảy dù giống hệt như vậy. Chỉ có điều là người nhảy dù chịu lực hấp dẫn có lẽ lớn hơn một triệu lần so với cái lông chim, và cô ta rơi nhanh thì lực cản của không khí mạnh như lực hấp dẫn. Cô ta mất vài giây để đạt tới vận tốc cuối cùng, nó vào cỡ hàng trăm dặm trên giờ.

## **Sự tổng hợp tổng quát hơn của các lực**

Thật quá cường ép khi hạn chế sự chú ý của chúng ta với những trường hợp trong đó tất



cả các lực nằm dọc theo đường chuyển động của khối tâm. Đối với một trường hợp, chúng ta không thể phân tích bất kì chuyển động theo phương ngang nào, vì bất kì một vật nào trên Trái đất cũng sẽ chịu một lực hấp dẫn thẳng đứng! Chẳng hạn, khi bạn đang lái xe của mình trên con đường thẳng, thì có cả lực nằm ngang và lực thẳng đứng. Tuy nhiên, lực thẳng đứng không ảnh hưởng đến chuyển động khối tâm, vì lực hướng lên của con đường dễ dàng làm trung hòa mất lực hấp dẫn hướng xuống của Trái đất và giữ chiếc xe không lún vào đất.

Trong phần sau của sách, chúng ta sẽ nghiên cứu trường hợp tổng quát nhất của nhiều lực tác dụng lên một vật ở bất kì góc nào, sử dụng kĩ thuật toán học cộng vector, nhưng việc suy rộng một chút định luật I Newton cho phép chúng ta phân tích rất nhiều trường hợp lí thú:

Giả sử một vật có hai tập hợp lực tác dụng lên nó, một tập hợp lực hướng theo đường thẳng chuyển động ban đầu của vật và tập hợp lực kia vuông góc với tập thứ nhất. Nếu cả hai tập hợp lực triệt tiêu nhau, thì khối tâm của vật tiếp tục ở trạng thái chuyển động như cũ.

#### *Ví dụ 3. Một hành khách trên tàu điện ngầm*

Mô tả các lực tác dụng lên một người đứng trên tàu điện ngầm chạy ở vận tốc không đổi.

✎ Không có lực nào cần thiết để giữ cho người đó chuyển động tương đối so với đất. Anh ta sẽ không bị cuốn về phía sau xe lửa cho dù sàn xe trơn hay không. Có hai lực thẳng đứng tác dụng lên anh ta, lực hấp dẫn hướng xuống của Trái đất và lực hướng lên của sàn xe, chúng triệt tiêu nhau. Không có lực theo phương ngang tác dụng lên anh ta, nên tất nhiên lực tổng hợp theo phương ngang là bằng không.

#### *Ví dụ 4. Lực tác dụng lên thuyền buồm*

Nếu một con thuyền buồm đang lướt đi ở vận tốc không đổi với gió thổi thẳng từ phía sau nó tới, thì thực tế các lực tác dụng lên nó là gì ?

✎ Các lực tác dụng lên con thuyền phải triệt tiêu lẫn nhau. Con thuyền không chìm xuống hay nhô lên vào không khí, nên hiển nhiên các lực thẳng đứng triệt tiêu nhau. Các lực thẳng đứng là lực hấp dẫn hướng xuống tác dụng bởi hành tinh Trái đất và một lực hướng lên từ phía nước.

Không khí tác dụng một lực hướng về phía trước lên con thuyền, và nếu con thuyền không gia tốc theo phương ngang thì lực ma sát hướng ra phía sau của nước phải triệt tiêu với nó.

Trái với Aristotle, lực tăng cường là không cần thiết để duy trì một tốc độ cao hơn. Lực tổng hợp bằng không luôn cần thiết để duy trì vận tốc không đổi. Hãy xét những con số hư cấu sau đây:

	Con thuyền chuyển động ở vận tốc không đổi, chậm	Con thuyền chuyển động ở vận tốc không đổi, cao
Lực hướng về trước của gió tác dụng lên cánh buồm...	10.000 N	20.000 N
Lực hướng về sau của nước tác dụng lên thân thuyền...	- 10.000 N	- 20.000 N
Lực tổng hợp tác dụng lên con thuyền	0 N	0 N

Con thuyền đi nhanh hơn vẫn có lực tổng hợp bằng không tác dụng lên nó. Lực hướng về trước tác dụng lên nó lớn hơn, và lực hướng về sau nhỏ hơn (âm hơn), nhưng điều đó không liên quan vì định luật I Newton làm việc với lực tổng hợp, chứ không phải từng lực riêng lẻ.

Ví dụ này khá tương tự với ví dụ về vận tốc cuối cùng của vật rơi, vì có lực ma sát tăng theo tốc độ. Sau khi nhô neo và giương buồm, con thuyền sẽ gia tốc trong thời gian ngắn, và rồi đạt tới vận tốc cuối cùng của nó, tại đó lực ma sát của nước trở nên lớn bằng lực của gió tác dụng lên cánh buồm.



### Ví dụ 5. Va chạm xe hơi

Nếu bạn lái xe của mình vào một bức tường gạch, thì lực bí ẩn nào đập mặt của bạn vào thiết bị lái ?

☞ Bác sĩ của bạn đã có học vật lí, nên cô ta sẽ không tin khẳng định của bạn rằng một lực bí ẩn đã làm việc đó. Cô ta biết mặt của bạn chỉ tuân theo định luật I Newton. Ngay sau khi xe của bạn chạm vào tường, những lực duy nhất tác dụng lên đầu bạn chính là những lực triệt tiêu nhau đã tồn tại trước đó: lực hấp dẫn hướng xuống của Trái đất và lực hướng lên từ cổ của bạn. Không có lực nào hướng ra trước hay ra sau tác dụng lên đầu bạn, nhưng chiếc xe chịu một lực hướng ra sau từ phía tường, nên chiếc xe chậm dần và mặt của bạn đập vào.

☺ A. Newton nói rằng các vật tiếp tục chuyển động nếu như không có lực nào tác dụng lên chúng, nhưng bậc tiền bối Aristotle của ông nói rằng một lực là cần thiết để giữ cho một vật chuyển động. Vì sao lí thuyết của Aristotle có vẻ hợp lí hơn, cho đến ngày nay chúng ta tin là nó sai lầm ? Aristotle thiếu sót điều gì về cách lí giải nguyên nhân các vật dường như chậm dần một cách tự nhiên ?

B. Trong hình, chuyển động ban đầu của cái kèn saxophone là gì nếu các lực biểu diễn mang lại một chuyển động một chiều tiếp tục của khối tâm của nó ?

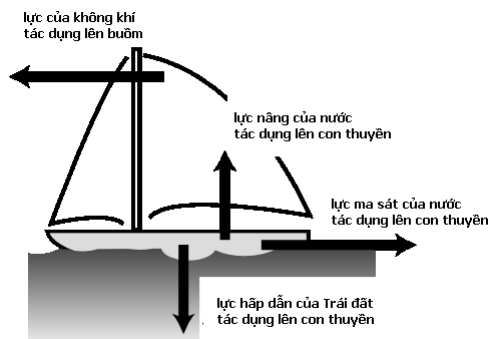
C. Hình này yêu cầu một sự khái quát hóa hơn hết những gì trình bày ở phần trước. Sau khi nghiên cứu lực, trực giác vật lí của bạn cho bạn biết điều gì sẽ xảy ra ? Bạn có thể phát biểu bằng lời làm thế nào khái quát hóa các điều kiện cho chuyển động một chiều để bao gồm các tình huống giống như tình huống này ?

## 4.3 Định luật II Newton

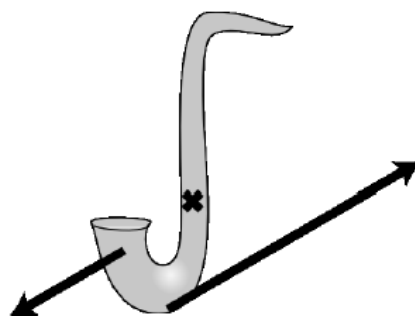
Còn trường hợp lực tổng hợp tác dụng lên một vật không bằng không, thì có phải định luật I Newton không áp dụng được ? Vật sẽ có gia tốc. Cách chúng ta xác định dấu dương và âm của lực và gia tốc bảo đảm lực dương tạo ra gia tốc dương, và tương tự như vậy cho giá trị âm. Vậy nó sẽ có gia tốc bao nhiêu ? Rõ ràng nó phụ thuộc cả vào khối lượng của vật và lượng lực tác dụng.

Thí nghiệm tiến hành với vật bất kì cho thấy gia tốc của nó tỉ lệ thuận với lực tổng hợp đặt lên nó. Điều này trông có vẻ như không đúng, vì chúng ta biết nhiều trường hợp trong đó những lượng nhỏ lực rất cuộc chẳng làm cho một vật chuyển động, và lực lớn hơn thì làm cho nó chuyển động. Sự thất bại rõ ràng này của tính tỉ lệ thật ra do quên mất rằng có lực ma sát ngoài lực mà chúng ta đặt vào làm chuyển động vật. Gia tốc của vật tỉ lệ chính xác với lực tổng hợp đặt lên nó, chứ không phải từng lực đặt lên nó. Khi không có ma sát, ngay cả một lực rất nhỏ cũng có thể làm thay đổi dần vận tốc của một khối lượng rất lớn.

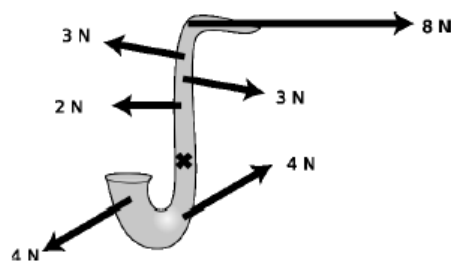
Thí nghiệm còn cho thấy gia tốc tỉ lệ nghịch với khối lượng của vật, và kết hợp hai sự tỉ lệ này cho ta phương pháp sau đây để dự đoán gia tốc của bất kì vật nào:



d/ Ví dụ 4



Câu hỏi B



Câu hỏi C

## định luật II Newton

$$a = F_{hl}/m$$

trong đó

$m$  là khối lượng của vật

$F_{hl}$  là tổng các lực tác dụng lên nó, và

$a$  là gia tốc của khối tâm của vật

Chúng ta hiện đang hạn chế với trường hợp trong đó các lực quan tâm song song với hướng của chuyển động.

*Ví dụ 6. Xe bus đang gia tốc*

Một chiếc xe bus VW với khối lượng 2000 kg gia tốc từ 0 lên 25 m/s (tốc độ trên xa lộ) trong 34 s. Giả sử gia tốc là không đổi, hỏi hợp lực tác dụng lên xe bus bằng bao nhiêu ?

✎ Chúng ta giải phương trình định luật II Newton cho  $F_{hl} = ma$ , và thay  $\Delta v/\Delta t$  cho  $a$ , thu được

$$\begin{aligned} F_{hl} &= m\Delta v/\Delta t \\ &= (2000 \text{ kg})(25 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s})/(34 \text{ s}) \\ &= 1,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

## Tổng quát

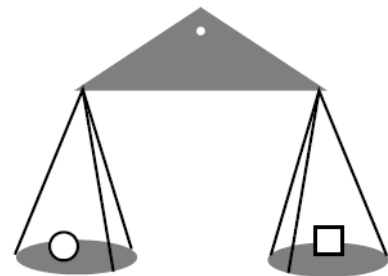
Như với định luật I, định luật II có thể dễ dàng khái quát hóa để bao gồm nhiều tình huống rộng rãi hơn:

Giả sử một vật chịu tác dụng bởi hai tập hợp lực, một tập hợp nằm dọc theo hướng chuyển động ban đầu của vật và tập hợp kia tác dụng theo đường vuông góc. Nếu các lực vuông góc với hướng chuyển động ban đầu của vật triệt tiêu nhau, thì vật gia tốc theo đường chuyển động ban đầu của nó theo  $a = F_{hl}/m$ .

## Quan hệ giữa khối lượng và trọng lượng

Khối lượng khác với trọng lượng, nhưng chúng liên quan với nhau. Khối lượng của quả táo cho chúng ta biết mức độ khó làm thay đổi chuyển động của nó. Trọng lượng của nó đo độ lớn của lực hút hấp dẫn giữa quả táo và hành tinh Trái đất. Trọng lượng của quả táo nhẹ hơn ở trên Mặt trăng, nhưng khối lượng của nó như cũ. Các nhà du hành lắp ghép Trạm Không gian Quốc tế trong điều kiện trọng lực zero không thể nào ném các mô-đun nặng tới lui với bàn tay không của họ; các mô-đun không có trọng lượng, nhưng không phải không có khối lượng.

Chúng ta vừa thấy bằng chứng thực nghiệm cho thấy khi trọng lực (lực hấp dẫn của Trái đất) là lực duy nhất tác dụng lên vật, thì gia tốc của nó bằng hằng số  $g$ , và  $g$  phụ thuộc vào nơi bạn đứng trên bề mặt Trái đất, mà không phụ thuộc vào khối lượng của vật. Áp dụng định luật II Newton



e/ Một cái cân hai đĩa đơn giản hoạt động bằng cách so sánh trọng lực tác dụng bởi Trái đất lên cái đựng trong hai đĩa. Vì hai đĩa cân hầu như ở cùng vị trí phía trên bề mặt Trái đất, nên giá trị của  $g$  về cơ bản là như nhau với từng đĩa, và sự bằng nhau của trọng lượng do đó cũng ngụ ý sự bằng nhau của khối lượng.

khi đó cho chúng ta tính được độ lớn của lực hấp dẫn tác dụng lên vật bất kì theo khối lượng của nó:

$$|F_W| = mg$$

(Phương trình chỉ cho độ lớn, tức là giá trị tuyệt đối, của  $F_W$ , vì chúng ta định nghĩa  $g$  là một số dương, nên nó bằng giá trị tuyệt đối của gia tốc của một vật rơi)

*Ví dụ 7. Trọng lượng và khối lượng*

Hình f biểu diễn khối 1 và 2 kg treo dưới cái cân lò xo, cân đo lực theo đơn vị newton. Hãy giải thích các số chỉ.

✎ Hãy bắt đầu với khối 1 kg đơn độc. Nếu nó không gia tốc, thì hiển nhiên lực tổng hợp đặt lên nó bằng không: lực hướng lên của cân lò xo tác dụng lên nó triệt tiêu với lực hấp dẫn hướng xuống của Trái đất. Cân lò xo cho chúng ta biết bao nhiêu lực buộc phải cung cấp, nhưng vì hai lực bằng nhau về độ lớn, nên số chỉ của cân lò xo cũng có thể hiểu là số đo độ lớn của lực hấp dẫn, tức là trọng lượng của khối 1 kg. Trọng lượng của khối 1 kg sẽ là

$$F_W = mg = (1,0 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2) = 9,8 \text{ N}$$

và đó thật ra là số chỉ trên cân lò xo.

Tương tự, với khối 2 kg, chúng ta có

$$F_W = mg = (2,0 \text{ kg})(9,8 \text{ m/s}^2) = 19,6 \text{ N}$$

*Ví dụ 8. Tính vận tốc cuối cùng*

Thí nghiệm cho thấy lực ma sát của không khí tác dụng lên một vật rơi như người nhảy dù hay cái lông chim có thể lấy xấp xỉ khá tốt với phương trình  $|F_{kk}| = c\rho A v^2$ , trong đó  $c$  là hằng số,  $\rho$  là tỉ trọng của không khí,  $A$  là tiết diện ngang của vật nhìn từ dưới lên, và  $v$  là vận tốc của vật. Hãy dự đoán vận tốc cuối cùng của vật, tức vận tốc sau cùng nó đạt tới sau một khoảng thời gian dài.

✎ Khi vật gia tốc,  $v$  lớn hơn của nó làm cho lực hướng lên của không khí tăng lên cho đến cuối cùng thì lực hấp dẫn và lực ma sát của không khí triệt tiêu nhau, sau đó vật tiếp tục rơi ở vận tốc không đổi. Chúng ta chọn hệ tọa độ với chiều dương hướng lên, nên lực hấp dẫn là âm và lực ma sát của không khí là dương. Chúng ta muốn tìm vận tốc tại nơi

$$F_{kk} + F_W = 0, \text{ tức là}$$

$$c\rho A v^2 - mg = 0$$

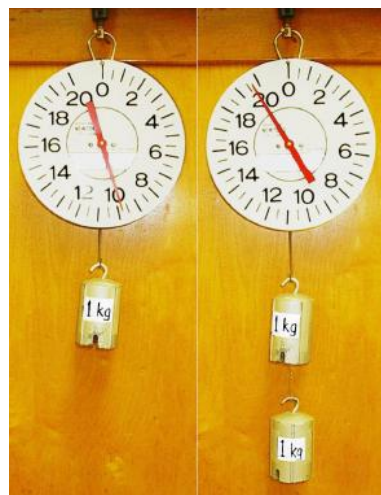
Giải phương trình theo  $v$ , cho ta

$$v_{cc} = \sqrt{\frac{mg}{c\rho A}}$$

☺ Thật quan trọng việc tập dần thói quen giải thích phương trình. Điều này ban đầu có thể khó khăn, nhưng dần rồi bạn sẽ quen với cách lí giải kiểu này.

(1) Giải thích phương trình  $v_{cc} = \sqrt{\frac{mg}{c\rho A}}$  trong trường hợp  $\rho = 0$ .

(2) So sánh vận tốc cuối cùng của một quả cầu thép 4 cm với vận tốc cuối cùng của một quả bóng 1 cm.



f/ Ví dụ 7

(3) Ngoài việc lọc gở ý nghĩa toán học của một phương trình, chúng ta còn phải có thể đưa nó vào ngữ cảnh vật lý của nó. Phương trình này có tính quan trọng khái quát như thế nào ?

$x$ (m)	$t$ (s)
10	1.84
20	2.86
30	3.80
40	4.67
50	5.53
60	6.38
70	7.23
80	8.10
90	8.96
100	9.83

Câu hỏi D

© A. Hãy chỉ ra rằng đơn vị newton có thể biểu diễn lại theo ba đơn vị mks cơ bản là tổ hợp  $\text{kg.m/s}^2$ .

B. Những phát biểu sau đây sai ở đâu ?

(1) “g là lực hấp dẫn”

(2) “Khối lượng là số đo bao nhiêu không gian mà một thứ gì đó chiếm”

C. Hãy phê bình phát biểu không chính xác sau đây:

“Nếu một vật nằm yên và tổng hợp lực đặt lên nó bằng không, nó vẫn nằm yên. Có thể còn có những trường hợp trong đó một vật đang chuyển động và giữ nguyên chuyển động mà không có bất kì tổng hợp lực nào đặt lên nó, nhưng điều đó chỉ có thể xảy ra khi không có ma sát, giống như không gian ngoài vũ trụ”.

D. Bảng g cung cấp số liệu đo bằng laser cho cuộc đua 100 m của Ben Johnson tại giải Vô địch thế giới năm 1987 ở Rome. (Kì lục thế giới của anh ta sau này bị rút lại vì ông bị kiểm tra dương tính với steroid). Hỏi tổng hợp lực tác dụng lên anh ta thay đổi như thế nào trong thời gian đua ?

## 4.4 Lực không phải là...

Những người dạy violin phải chịu đựng tiếng kéo rít tay của những người học trò vỡ lòng của họ. Vẻ khó chịu xuất hiện trên khuôn mặt của cô giáo âm nhạc khi cô thấy học trò của mình hít thở với sự phồng lên của lồng ngực mà không có sự dẫn nở nào ở bụng anh ta. Cái khiến cho những người thầy giáo vật lý chào thua là những phát biểu bằng lời về lực của học trò của họ. Sau đây, tôi liệt kê một vài châm ngôn về lực không phải là cái gì.

### Lực không phải là tính chất của một vật

Rất nhiều mô tả không đúng của học sinh về lực có thể chữa trị bằng cách ghi nhớ rằng lực là tương tác của hai vật, không phải là tính chất của một vật.

Phát biểu không đúng: “Thanh nam châm đó có nhiều lực”.

✂ Nếu thanh nam châm nằm cách quả cầu thép 1 mm, chúng có thể tác dụng một lực hút rất mạnh lên nhau, nhưng nếu chúng cách nhau 1 m, thì lực hầu như sẽ không thể nhận ra được. Sức mạnh của thanh nam châm có thể đánh giá bằng các đơn vị điện nhất định (ampere-mét<sup>2</sup>), chứ không theo đơn vị lực.

### Lực không phải là số đo chuyển động của một vật

Nếu lực không phải là tính chất của một vật riêng lẻ, thì nó không thể dùng làm số đo chuyển động của một vật.

Phát biểu không đúng: “Chiếc xe lửa chờ hàng chạy ầm ầm trên đường ray với một lực kinh khủng”.

✂ Lực không phải là số đo chuyển động. Nếu xe lửa chờ hàng va chạm với một xe tải xi măng chết máy, thì một số lực kinh khủng sẽ xuất hiện, nhưng nếu nó đụng phải một con ruồi thì lực đó sẽ nhỏ.

### Lực không phải là năng lượng

Có hai cách tiếp cận chủ yếu tìm hiểu chuyển động của vật, một dựa trên lực, và một dựa trên một khái niệm khác, gọi là năng lượng. Đơn vị SI của năng lượng là Joule, nhưng có lẽ bạn

quen thuộc hơn với calo, dùng đo năng lượng của thực phẩm, và kilowatt-giờ, đơn vị mà công ti điện lực dùng để thanh toán hóa đơn với bạn. Sự rành rọt trước đó của học sinh học vật lí với calo và kilowatt-giờ tương xứng với sự không quen thuộc chung với việc đo lực theo đơn vị newton, nhưng định nghĩa mang tính hoạt động chính xác của khái niệm năng lượng thì phức tạp hơn định nghĩa của khái niệm năng lượng, và các giáo trình, kể cả cuốn này, thường đặt mô tả vật lí của lực trước mô tả về năng lượng. Vì thế, trong thời gian dài sau khi đưa ra khái niệm lực và trước khi định nghĩa thận trọng về năng lượng, học sinh có thể nhầm lẫn với những tình huống trong đó, không thấy rõ nó, họ quy các tính chất của năng lượng cho hiện tượng lực.

Phát biểu không đúng: “Làm thế nào cái ghế tôi ngồi tác dụng một lực lên phía sau lưng tôi ? Nó không có sức mạnh!”

✂ Sức mạnh là một khái niệm liên quan tới năng lượng, ví dụ một bóng đèn 100 watt tiêu thụ năng lượng 100 joule mỗi giây. Khi bạn ngồi trên ghế, không có năng lượng nào bị tiêu thụ, nên lực có thể tác dụng giữa bạn và cái ghế mà không cần đến nguồn năng lượng.

## Lực không dự trữ hay tiêu hao được

Do năng lượng có thể dự trữ và tiêu hao cho nên người ta nghĩ lực cũng có thể dự trữ hay tiêu hao.

Phát biểu không đúng: “Nếu bạn không chứa đầy khí trong bình, bạn sẽ làm cạn kiệt hết lực”.

✂ Năng lượng là cái bị bạn làm cho cạn kiệt, không phải lực.

## Lực không nhất thiết phải tác dụng bởi sinh vật sống hay máy móc

Sự chuyển hóa năng lượng từ dạng này sang dạng khác thường yêu cầu một số loại cơ chế sống hay máy móc. Khái niệm đó không thể áp dụng cho lực, chúng là tương tác giữa các vật, không phải là thứ truyền đi hay chuyển hóa.

Phát biểu không đúng: “Làm thế nào cái ghế gỗ có thể tác dụng lực lên phía sau lưng tôi ? Nó không có lò xo hay bất kì thứ gì bên trong nó”.

✂ Không cần lò xo hay các cơ chế nội khác. Nếu cái ghế không tác dụng lực nào lên bạn, bạn sẽ tuân theo định luật II Newton và rơi ra khỏi nó. Rõ ràng là nó tác dụng một lực lên bạn!

## Lực là nguyên nhân trực tiếp của sự thay đổi chuyển động

Tôi có thể bấm bộ điều khiển từ xa làm cho cửa nhà để xe chuyển từ nằm yên sang chuyển động. Tuy nhiên, lực của ngón tay tôi đặt lên nút bấm không phải là lực tác dụng lên cánh cửa. Khi chúng ta nói lực đặt lên một vật trong vật lí, chúng ta đang nói về lực tác dụng trực tiếp. Tương tự, khi bạn kéo một con chó khó bảo bằng sợi dây buộc cổ nó, thì sợi dây và con chó tác dụng lực lên nhau, không phải tay bạn và con chó. Con chó còn không tiếp xúc với tay bạn.

☺ Điều này nào sau đây có thể được mô tả đúng theo khái niệm lực ?

- (1) Chiếc tàu ngầm hạt nhân đang nạp điện tại lò hơi nước.
- (2) Chân vịt của chiếc tàu ngầm hạt nhân quay trong nước.
- (3) Chiếc tàu ngầm hạt nhân cần nạp lại nhiên liệu lò phản ứng của nó một cách đều đặn.

☺ A. Phê bình phát biểu không đúng sau đây: “Nếu bạn đẩy một cuốn sách trên bàn, sự ma sát làm tiêu hao càng lúc càng nhiều lực của nó, cho đến cuối cùng thì nó dừng lại”.

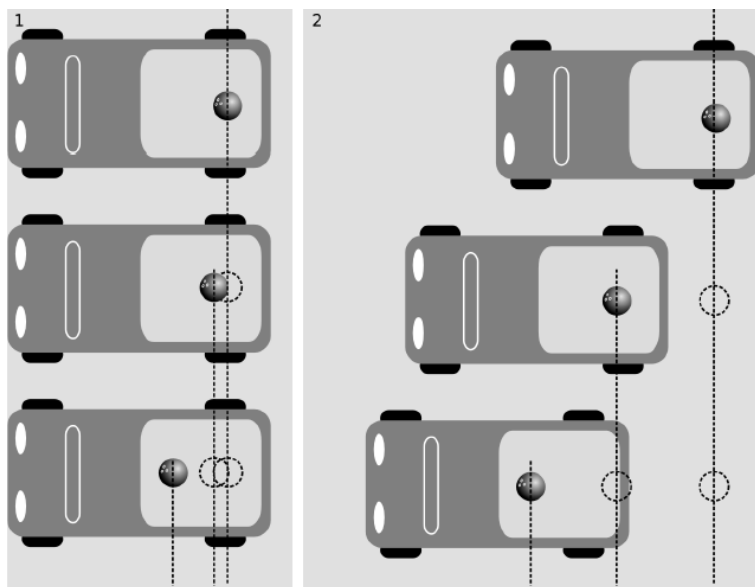


B. Bạn đập một quả tennis vào tường. Giải thích bất kì ý nào hay toàn bộ ý là không đúng trong mô tả vật lí sau đây: “Quả bóng thu lấy một số lực từ phía bạn khi bạn đập vào nó, và khi nó chạm vào tường, nó mất một phần lực đó, nên nó không nảy trở lại nhanh như cũ được. Các cơ trong tay bạn là những thứ duy nhất có thể làm phát sinh ra lực”.

## 4.5 Hệ quy chiếu quán tính và phi quán tính

Một hôm, bạn lái chiếc xe tải nhẹ trên đường đi phát bóng bowling. Quả bóng nằm ở phía sau xe, thường ngoạn chút rong chơi và không khí trong lành và ánh sáng Mặt trời. Sau đó, bạn lái chậm lại vì một ngọn đèn đỏ ở trước mắt. Khi hãm phanh, bạn liếc nhìn vào gương nhìn sau của xe bạn, và thấy kẻ đồng hành đặc ân cùng với bạn đang gia tốc về phía bạn. Có phải một số lực bí ẩn đang đẩy nó về phía trước ? Không, đó chỉ là vì bạn và xe đang chậm lại. Quả bóng đang trung thành tuân theo định luật I Newton, và vì nó tiếp tục chuyển động ở vận tốc không đổi nên nó đi về phía trước tương đối so với chiếc xe đang chậm lại. Không có lực nào tác dụng lên nó (ngoài những lực thăng bằng triệt tiêu nhau luôn tác dụng lên nó). Quả bóng dường như chỉ vi phạm định luật I Newton vì có cái gì đó không đúng đối với hệ quy chiếu của bạn, nó dựa trên chiếc xe tải.

Như vậy, làm thế nào chúng ta biết trong những hệ quy chiếu nào thì các định luật Newton mới hợp lệ ? Thật chẳng hay nếu nói chúng ta nên tránh các hệ quy chiếu đang chuyển động, vì không có cái gì là đứng yên tuyệt đối, hay chuyển động tuyệt đối. Mọi hệ quy chiếu có thể xem xét hoặc đang đứng yên, hoặc chuyển động. Theo một người quan sát ở Ấn Độ, chuyển du hành trên cầu thành nên hệ quy chiếu trong phần (b) của hình đang chuyển động theo sự quay của Trái đất ở tốc độ hàng trăm dặm mỗi giờ.



h/ 1. Trong hệ quy chiếu chuyển động với chiếc xe tải, quả bóng bowling hình như vi phạm định luật I Newton bởi đang gia tốc mặc dù không có lực theo phương ngang nào đặt lên nó. 2. Trong một hệ quy chiếu quán tính, bề mặt Trái đất có thể coi như thế, quả bóng bowling này tuân theo định luật I Newton. Nó đi được những quãng đường bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau, tức là duy trì vận tốc không đổi. Trong hệ quy chiếu này, chiếc xe tải dường như có sự thay đổi vận tốc, nó có ý nghĩa, vì con đường đang tác dụng một lực ngang lên nó.

Nguyên nhân vì sao các định luật Newton thất bại trong hệ quy chiếu của chiếc xe tải không phải vì chiếc xe tải đang chuyển động mà vì nó đang gia tốc. (Nhắc lại: các nhà vật lí sử dụng từ gia tốc để chỉ hoặc sự tăng tốc, hoặc sự giảm tốc). Các định luật Newton chỉ hoạt động tốt trong hệ quy chiếu của chiếc xe tải đang chuyển động khi nào chiếc xe tải chuyển động ở vận tốc không đổi. Khi nào tốc độ của nó thay đổi thì có vấn đề. Như vậy, làm thế nào chúng ta biết hệ quy chiếu nào đang gia tốc, hệ quy chiếu nào thì không ? Còn nếu bạn khẳng định chiếc xe tải

của bạn đang không gia tốc, và vỉa hè, nhựa đường và tượng vua Burger đang gia tốc thì sao ? Cách dàn xếp một cuộc tranh cãi như thế là xác định chuyển động của một số vật, như quả bóng bowling, mà chúng ta biết có lực tổng hợp bằng không đặt lên nó. Bất kì hệ quy chiếu nào trong đó quả bóng có vẻ tuân theo định luật I Newton khi đó là một hệ quy chiếu hợp lệ, và với một nhà quan sát trong hệ quy chiếu đó, ngài Newton đảm bảo với chúng ta rằng tất cả những vật khác trong vũ trụ sẽ tuân theo các định luật của ông về chuyển động, chứ không riêng gì quả bowling.

Những hệ quy chiếu hợp lệ, trong đó các định luật Newton được tuân theo, được gọi là hệ quy chiếu quán tính. Các hệ quy chiếu không quán tính được gọi là hệ quy chiếu phi quán tính. Trong những hệ quy chiếu đó, các vật vi phạm nguyên lí quán tính và định luật I Newton. Trong khi chiếc xe tải đang chuyển động ở vận tốc không đổi, thì cả nó lẫn vỉa hè đều là hệ quy chiếu quán tính hợp lệ. Chiếc xe tải trở thành một hệ quy chiếu không hợp lệ khi nó bắt đầu thay đổi vận tốc của nó.

Bạn thường giả định mặt đất dưới chân bạn là một hệ quy chiếu hoàn toàn quán tính, và chúng ta đã giả sử như thế ở phần trên. Tuy vậy, nó không hẳn là hoàn toàn quán tính. Chuyển động của nó trong không gian khá phức tạp, gồm một phần do sự quay hàng ngày của Trái đất xung quanh trục của nó, sự lắc lư hàng tháng của hành tinh vì sức hấp dẫn của Mặt trăng, và sự quay của Trái đất xung quanh Mặt trời. Vì gia tốc có liên quan về mặt số học là nhỏ, nên Trái đất gần đúng là một hệ quy chiếu quán tính hợp lệ.

Hệ quy chiếu phi quán tính cần phải tránh bất cứ khi nào có thể, và chúng ta sẽ ít khi, nếu không nói là không bao giờ, sử dụng nó trong tập bài giảng này. Tuy vậy, thỉnh thoảng một hệ quy chiếu phi quán tính có thể là tiện lợi. Các pháo thủ hải quân, chẳng hạn, thu toàn bộ số liệu của họ từ radar, cầu mắt người, và những hệ dò tìm khác chuyển động cùng với bề mặt Trái đất. Vì súng của họ có tầm ngắm nhiều dặm, nên những sự khác nhau nhỏ giữa gia tốc thật sự của con tàu của họ và gia tốc tiên đoán bởi định luật II Newton có thể có những ảnh hưởng tích lũy và trở nên đáng kể. Để giết kẻ mà họ muốn giết, họ phải thêm những hiệu chỉnh nhỏ vào phương trình  $a = F_h/m$ . Thực hiện tính toán của họ trong một hệ quy chiếu quán tính sẽ cho phép họ sử dụng dạng thức bình thường của định luật II Newton, nhưng họ sẽ phải chuyển toàn bộ số liệu của họ vào một hệ quy chiếu khác, nó yêu cầu những phép tính cồng kềnh.

© A. Nếu một vật có đồ thị  $x - t$  thẳng trong một hệ quy chiếu quán tính nhất định, thì kết quả trên đồ thị là gì nếu chúng ta đổi sang một hệ tọa độ có gốc tọa độ khác ? Kết quả là gì nếu chúng ta giữ nguyên gốc tọa độ nhưng đảo ngược chiều dương của trục  $x$  lại ? Còn một hệ quy chiếu quán tính chuyển động sát bên vật thì sao ? Kết quả là gì nếu chúng ta mô tả chuyển động của vật trong một hệ quy chiếu phi quán tính ?

## Tóm tắt chương 4

### Từ khóa chọn lọc

trọng lực .....	lực hấp dẫn đặt lên một vật, bằng $mg$
hệ quy chiếu quán tính .....	một hệ quy chiếu không gia tốc, trong đó định luật I Newton được nghiệm đúng
hệ quy chiếu phi quán tính .....	một hệ quy chiếu đang gia tốc, trong đó định

## Kí hiệu

$F_W$  ..... trọng lượng

## Thuật ngữ và kí hiệu khác

hợp lực ..... một cách khác nói “lực tổng hợp”

## Tóm tắt

Định luật I Newton về chuyển động phát biểu rằng nếu tất cả các lực đặt lên một vật triệt tiêu lẫn nhau, thì vật vẫn tiếp tục trạng thái chuyển động như cũ. Điều này về cơ bản là một phiên bản tinh tế hơn của nguyên lí quán tính Galileo, nó không nghiên cứu thang đo số của lực.

Định luật II Newton về chuyển động cho phép tiên đoán gia tốc của một vật biết khối lượng của nó và lực tổng hợp đặt lên nó,  $a_{kt} = F_h/m$ . Đây chỉ là dạng một chiều của định luật; việc khảo sát ba chiều không gian trọn vẹn sẽ trình bày trong chương 8, Vector. Không có kĩ thuật vector, chúng ta vẫn có thể nói tới những tình huống giữ nguyên không đổi bằng cách bao gồm các tập hợp vector tự triệt tiêu nhau, cho dù chúng không nằm trong hướng chuyển động.

Các định luật chuyển động của Newton chỉ đúng trong những hệ quy chiếu không gia tốc gọi là hệ quy chiếu quán tính.

## Bài tập

1. Một vật được quan sát thấy đang chuyển động ở tốc độ không đổi theo một hướng nhất định. Bạn có thể kết luận rằng không có lực nào tác dụng lên nó không? Giải thích.

2. Một chiếc xe hơi bình thường có khả năng cho gia tốc  $3 \text{ m/s}^2$ . Nếu nó kéo theo một xe móc có khối lượng phân nửa chiếc xe hơi, thì nó có thể đạt được gia tốc bao nhiêu?

3. (a) Đặt  $T$  là lực căng cực đại mà một sợi dây cáp của thang máy có thể chịu được mà không đứt, tức là lực tối đa nó có thể tác dụng. Nếu động cơ được định chương trình cấp cho thang máy gia tốc  $a$ , thì khối lượng tối đa mà thang máy có thể mang, tính cả hành khách, bằng bao nhiêu để cho dây cáp không đứt?

(b) Giải thích phương trình bạn thu được trong trường hợp đặc biệt  $a = 0$  và gia tốc hướng xuống có độ lớn  $g$  (“Giải thích” nghĩa là phân tích cách hành xử của phương trình, và liên hệ nó với thực tế)

4. Một máy bay trực thăng khối lượng  $m$  bay lên theo phương thẳng đứng. Những lực tác dụng lên nó là lực hấp dẫn của Trái đất và lực  $F_{kk}$  của không khí đẩy nó lên trên các cánh quạt.

(a) Nếu máy bay trực thăng cất lên lúc  $t = 0$ , thì tốc độ theo phương thẳng đứng của nó tại thời điểm  $t$  bằng bao nhiêu?

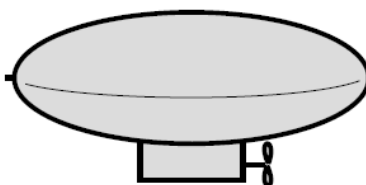
(b) Thay số vào phương trình của bạn ở câu a, cho  $m = 2300 \text{ kg}$ ,  $F_{kk} = 27\,000 \text{ N}$ , và  $t = 4,0 \text{ s}$ .

5. Trong kì Olympics năm 1964 tại Tokyo, kỉ lục nhảy cao nhất là 2,18 m. Bốn năm sau ở Mexico City, huy chương vàng bộ môn này được trao cho cú nhảy 2,24 m. Vì độ cao của Mexico City (2400 m), nên gia tốc hấp dẫn ở đó thấp hơn ở Tokyo khoảng  $0,01 \text{ m/s}^2$ . Giả sử một vận động viên nhảy cao có khối lượng 72 kg.

(a) So sánh khối lượng và trọng lượng của anh ta ở hai nơi.

(b) Giả sử anh ta có thể nhảy với cùng vận tốc thẳng đứng ban đầu ở cả hai nơi, và tất cả những điều kiện khác là như nhau, trừ lực hấp dẫn. Hỏi ở Mexico City, anh ta có thể nhảy cao hơn bao nhiêu ?

6. Một khí cầu nhỏ ban đầu đứng yên, thoáng do dự, lúc  $t = 0$  phi công bật động cơ cánh quạt. Động cơ không thể tức thời làm cánh quạt quay, nhưng cánh quạt tăng tốc từ từ. Lực tăng lên từ từ giữa không khí và cánh quạt cho bởi phương trình  $F = kt$ , trong đó  $k$  là một hằng số. Nếu khối lượng của khí cầu là  $m$ , hãy tìm vị trí của nó là hàm theo thời gian. (Giả sử trong thời gian bạn khảo sát, khí cầu không chuyển động quá nhanh để gây ra lực hướng ra sau đáng kể do sức cản của không khí)



7. Một chiếc xe hơi đang gia tốc về phía trước theo một con đường thẳng. Nếu lực của đường tác dụng lên bánh xe, đẩy nó về phía trước, bằng 3,0 kN không đổi, và khối lượng xe là 1000 kg, thì chiếc xe sẽ mất bao lâu để tăng từ 20 m/s lên 50 m/s ?

8. Một số dụng cụ tĩa vườn giống như một cặp kéo: lưỡi dao sắc này trượt qua lưỡi dao kia. Tuy nhiên, theo kiểu “cái đe”, một lưỡi dao sắc ép lên một lưỡi phẳng thay vì trượt qua nó. Một cuốn sách dạy làm vườn nói rằng đối với những người không có đủ sức khỏe tốt, thì kiểu cái đe có thể dễ hơn cho cắt các cành nhánh dai, vì nó tập trung lực lên một phía. Hãy đánh giá khẳng định này trên cơ sở các định luật Newton [Gợi ý: Xét các lực tác dụng lên nhánh cây, và chuyển động của nhánh cây]

9. Một nguyên tử uranium ở sâu trong lòng Trái đất phát ra một hạt alpha. Hạt alpha là một mảnh của nguyên tử. Hạt alpha này có vận tốc ban đầu  $v$ , và đi được quãng đường  $d$  trước khi dừng lại trong Trái đất.

(a) Tìm lực  $F$  tác dụng lên hạt theo  $v$ ,  $d$ , và khối lượng  $m$  của nó. Đừng đưa giá trị số vào. Giả sử lực là không đổi.

(b) Hãy chứng tỏ câu trả lời của bạn có đơn vị đúng.

(c) Hãy trình bày câu trả lời của bạn cho câu a phụ thuộc như thế nào vào cả ba biến, và chứng tỏ nó có ý nghĩa. Nghĩa là, đối với từng biến, hãy trình bày điều gì sẽ xảy ra với kết quả nếu bạn thay đổi nó trong khi giữ hai biến kia không đổi. Một giá trị biến lớn hơn sẽ cho kết quả

nhỏ hơn, hay lớn hơn ? Một khi bạn đã hiểu ra mối quan hệ toán học này, hãy chỉ ra rằng nó có ý nghĩa vật lí.

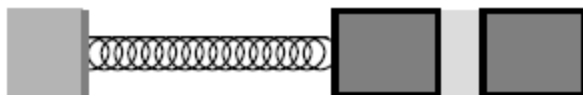
(d) Tính kết quả của bạn cho  $m = 6,7 \times 10^{-27}$  kg,  $v = 2,0 \times 10^4$  km/s và  $d = 0,71$  mm.

10. Bạn nhận được một cái hộp lớn hàn kín và không được phép mở nó ra. Thí nghiệm nào sau đây đo được khối lượng của nó, và thí nghiệm nào đo được trọng lượng của nó ? [Gợi ý: Thí nghiệm nào sẽ cho kết quả khác ở trên Mặt trăng ?]

(a) Đặt nó lên một hồ nước đóng băng, ném một hòn đá lên nó, và xem nó chạy ra nhanh như thế nào sau khi va chạm.

(b) Thả nó ra từ một ban công tầng ba và đo âm thanh inh ỏi cỡ nào khi nó chạm đất.

(c) Như chỉ ra trong hình, hãy nối nó với một cái lò xo vào tường, và xem nó dao động.



11. Khi trốn khỏi tòa lâu đài của hoàng đế Hỏa tinh xấu xa, Sally Spacehound nhảy từ một tháp cao  $h$  xuống mặt đất. Bình thường, sự rơi là không thể tránh khỏi, nhưng Sally bóp cò súng của mình thẳng xuống dưới, tạo ra một lực hướng lên có độ lớn  $F_B$ . Lực này không đủ để làm cô ta bay lên, nhưng nó thật sự khử mất một phần lực hấp dẫn. Trong suốt thời gian  $t$  cô ta rơi, Sally không may hứng chịu loạt đạn từ những kẻ thuộc hạ của hoàng đế, và không thể nào tránh đạn của họ được. Đặt  $m$  là khối lượng của cô ta, và  $g$  là cường độ hấp dẫn trên Hỏa tinh.

(a) Tìm thời gian  $t$  theo các biến khác.

(b) Đối với các giá trị đủ lớn của  $F_B$ , câu trả lời của bạn cho phần a là vô lí – hãy giải thích điều gì sẽ xảy ra.





Những lực nào tác dụng lên cô gái ?

## Chương 5

### Phân tích lực

#### 5.1 Định luật III Newton

Newton sáng tạo ra quan niệm hiện đại về lực xuất phát từ sự hiểu biết sâu sắc của ông rằng tất cả những hiệu ứng chi phối sự chuyển động là tương tác giữa hai vật: không giống như lý thuyết Aristotle, vật lý học Newton không có những hiện tượng trong đó một vật thay đổi chuyển động riêng của nó.

Có phải một vật luôn luôn là “chủ”, còn vật kia luôn luôn là “tớ” không ? Lấy ví dụ, xét một vận động viên đập một quả bóng chày. Cây gậy nhất định tác dụng một lực lớn lên quả bóng, vì quả bóng gia tốc mạnh mẽ. Nhưng nếu bạn từng chạm trúng một quả bóng chày, bạn cũng biết rằng quả bóng tác dụng một lực lên cây gậy – thường thì kết quả thật khó sở nếu như kỹ thuật của bạn tệ như cô tôi!

Lực của quả bóng tác dụng lên cây gậy so như thế nào với lực của cây gậy tác dụng lên quả bóng ? Gia tốc của cây gậy không nổi bật như của quả bóng, nhưng có lẽ chúng ta không nên

mong đợi nó như thế, vì khối lượng của cây gậy lớn hơn nhiều. Thật ra, những phép đo cẩn thận cả khối lượng lẫn gia tốc của vật cho thấy  $m_{bóng}a_{bóng}$  rất gần với  $-m_{gậy}a_{gậy}$ , cho thấy lực của quả bóng tác dụng lên cây gậy có cùng bậc độ lớn như lực của cây gậy tác dụng lên quả bóng, nhưng theo hướng ngược nhau.

Hình a và b biểu diễn hai thí nghiệm trong phòng có phần hơi thực tế hơn một chút dùng trong nghiên cứu vấn đề này một cách chính xác mà không có sự can thiệp nhiều từ các lực bên ngoài.

Trong thí nghiệm a, nam châm lớn và nam châm nhỏ đem cân tách biệt nhau, và sau đó một nam châm đem treo dưới đĩa cân của cái cân trên sao cho nó nằm ngay trên nam châm kia. Có lực hút giữa hai nam châm, làm cho số chỉ ở cái cân trên tăng lên và số chỉ ở cái cân dưới giảm đi. Nam châm lớn “mạnh” hơn theo nghĩa là nó có thể hút một cái kẹp giấy nặng hơn từ cùng một khoảng cách, cho nên nhiều người trông cậy nhiều rằng số chỉ của cái cân này sẽ thay đổi đi một lượng khác nhiều so với số chỉ của cái cân kia. Thay vì vậy, chúng ta thấy hai sự thay đổi là bằng nhau về độ lớn nhưng ngược chiều nhau: lực của nam châm dưới hút nam châm trên xuống có cùng độ lớn như lực của nam châm trên hút nam châm dưới lên.

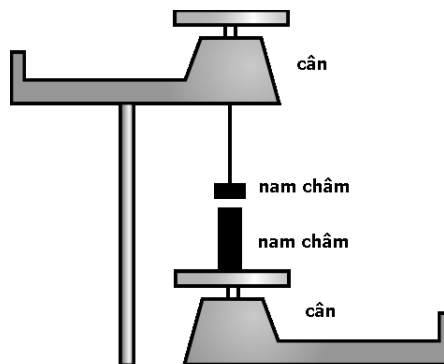
Trong thí nghiệm b, hai người kéo lên hai cái cân lò xo. Cho dù là người nào muốn kéo mạnh hơn, nhưng hai lực đo trên cân lò xo là bằng nhau. Việc đặt hai cái cân lò xo là cần thiết để đo lực, nhưng kết quả không phải là hệ quả có phần nhân tạo của các tương tác lò xo với nhau. Nếu một người vỗ mạnh lên tay người kia, thì tay người vỗ đau hết như tay người bị vỗ, và chẳng quan trọng việc người nhận cú vỗ là thụ động. (Đấm vào mồm ai đó gây ra lực tác dụng lên tay giống như lực tác dụng lên lưỡi. Chỉ có điều là lưỡi thì mỏng manh hơn. Lực thì bằng nhau, nhưng mức độ đau đớn và thương tổn thì không như nhau)

Newton, sau khi quan sát một loạt hệ quả như thế này, quả quyết rằng phải có một định luật cơ bản của tự nhiên hoạt động:

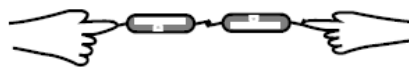
### Định luật III Newton

Lực xuất hiện thành những cặp bằng nhau và ngược chiều: hệ vật A tác dụng một lực lên vật B, thì lực B cũng tác dụng một lực lên vật A. Hai lực bằng nhau về độ lớn và ngược chiều nhau.

Trong những tình huống một chiều, chúng ta có thể dùng dấu cộng và trừ để chỉ hướng của lực, và định



a/ Hai nam châm tác dụng lực lên nhau



b/ Hai tay người tác dụng lực lên nhau



c/ Tên lửa hoạt động bằng cách đẩy khí cháy ra phía sau. Định luật III Newton nói rằng nếu tên lửa tác dụng một lực ra phía sau lên không khí, thì không khí phải tạo ra một lực bằng như vậy tác dụng lên tên lửa. Động cơ tên lửa có thể hoạt động ở trên bầu khí quyển, không giống như máy bay cánh quạt và phản lực, chúng hoạt động bằng cách đẩy không khí xung quanh.

luật III Newton có thể viết ngắn gọn là  $F_{AB} = -F_{BA}$ .

© Hình d phân tích một người đang bơi bằng định luật III Newton. Hãy phân tích tương tự cho trường hợp một người chạy nước rút đang rời vạch xuất phát.

Không có mối quan hệ nguyên nhân và hệ quả giữa hai lực trong định luật III Newton. Không có lực nào là “căn nguyên”, cũng như không có lực nào là phản ứng đối với lực kia. Cặp lực đó là một quan hệ, giống như vợ chồng, không phải là một quá trình tới lui như một trận đấu tennis. Newton đi đến định luật thứ ba là sự khái quát hóa về tất cả những loại lực mà ông quen thuộc, như lực ma sát và lực hấp dẫn. Khi các nhà vật lý sau này phát hiện ra một loại lực mới, như lực giữ hạt nhân nguyên tử lại với nhau, họ phải kiểm tra xem nó có tuân theo định luật III Newton hay không. Từ trước đến nay, không có sự vi phạm nào của định luật III bị phát hiện, còn định luật I và định luật II đã được chỉ ra là có những hạn chế bởi Einstein và những nhà tiên phong của vật lý nguyên tử.

Từ vựng tiếng Anh dùng mô tả lực thật không may lại xuất phát từ chủ nghĩa Aristotle, và thường ngụ ý không đúng rằng lực là mối quan hệ một chiều. Thật không hay là những mô tả nửa sự thật như “cái bàn tác dụng lên một quyển sách một lực hướng lên trên” quá dễ biểu diễn, còn một sự mô tả hoàn chỉnh và chính xác hơn rồi cuộc nghe thật ngượng nghịu hoặc lạ lẫm: “cái bàn và quyển sách tương tác thông qua một lực” hay “cái bàn và quyển sách tham gia vào một lực”.

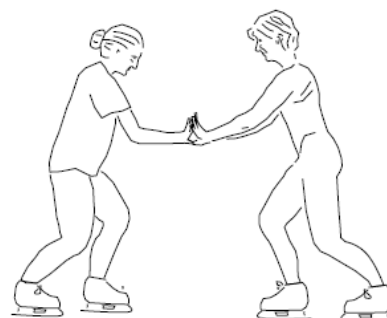
Đối với học sinh, thường thì nghe như có vẻ định luật III Newton ngụ ý rằng không vật nào có thể thay đổi chuyển động của nó, vì hai lực bằng nhau và ngược nhau sẽ luôn triệt tiêu nhau. Tuy nhiên, hai lực luôn đặt lên hai vật khác nhau, cho nên không nên hiểu là cộng chúng như trường hợp thứ nhất – chúng ta chỉ cộng lực tác dụng lên cùng một vật. Nếu hai vật đang tương tác qua một lực và không có lực nào khác tham gia vào, thì cả hai vật sẽ gia tốc – theo hướng ngược nhau!

## Thuật nhớ nhằm sử dụng đúng định luật III Newton

Thuật nhớ là thủ thuật nhằm ghi nhớ các thứ. Chẳng hạn, các nốt nhạc nằm giữa các đường kẻ trên khóa cao đánh vần từ FACE, nó thật dễ nhớ. Nhiều người sử dụng thuật nhớ “SOHCAHTOA” để nhớ định nghĩa của sin, cos, và tan trong lượng giác học. Tôi có đề xuất khiêm tốn riêng của mình, POFOSTITO, mà tôi hi vọng sẽ đưa nó thành thuật nhớ có tiếng. Nó là một cách tránh một số trong những sai sót phổ biến với việc áp dụng đúng định luật III Newton:



d/ Một người đang bơi dùng ngực đẩy nước ra phía sau. Theo định luật III Newton, nước đẩy cô ta lên phía trước.



e/ Định luật III Newton không có nghĩa là các lực luôn triệt tiêu nên không có vật nào chuyển động được. Nếu hai nhân vật trượt băng này, ban đầu đứng yên, đẩy lên nhau, thì cả hai người họ đều chuyển động.

<u>Pair of Opposite Forces</u>	<u>Cặp lực ngược chiều</u>
<u>Of the Same Type</u>	<u>Cùng loại</u>
<u>Involving Two Objects</u>	<u>Gồm hai vật</u>

f/ Không có ý nghĩa việc người đàn ông nói về việc dùng tiền của người phụ nữ để triệt tiêu với hóa đơn tiền quán của anh ta, vì không có lí do hay ho nào kết hợp món tiền nợ của anh ta và hầu bao của cô ta. Tương tự, không có ý nghĩa việc quy cho các lực bằng nhau và ngược chiều trong định luật III Newton là triệt tiêu nhau. Chỉ có ý nghĩa khi nào cộng các lực tác dụng lên cùng một vật, còn hai lực liên hệ với nhau bởi định luật III Newton luôn luôn tác dụng lên hai vật khác nhau.



#### Ví dụ 1. Quyển sách nằm trên bàn

Một quyển sách đang nằm trên bàn. Lực gì là phản lực theo định luật III Newton của lực hấp dẫn của Trái đất đặt lên quyển sách ?

✗ Định luật III Newton hoạt động theo kiểu “B tác dụng lên A, A tác dụng lên B”, nên phản lực phải là lực hấp dẫn của quyển sách hút hành tinh Trái đất lên trên. Vâng, có một lực như thế! Không, nó không gây ra bất cứ hệ quả nào ở Trái đất có thể nhận thấy được.

Câu trả lời không đúng: Lực hướng lên của bàn đặt lên quyển sách là phản lực theo định luật III Newton của lực hấp dẫn của Trái đất đặt lên quyển sách.

✗ Câu trả lời này vi phạm hai trong số ba câu sấm POFOSTITO. Các lực không cùng loại, vì lực hướng lên của bàn đặt lên quyển sách không phải là lực hấp dẫn. Đồng thời, ba vật có liên quan thay vì hai: quyển sách, cái bàn, và hành tinh Trái đất.

#### Ví dụ 2. Đẩy một cái thùng lên đồi

Một người đang đẩy một cái thùng lên đồi. Lực gì liên hệ bởi định luật III Newton với lực của người đặt lên cái thùng ?

✗ Lực của cái thùng tác dụng lên người.

Câu trả lời không đúng: Lực của người đặt lên cái thùng bị chống lại bởi lực ma sát, và cả lực hấp dẫn nữa.

✗ Câu trả lời này sai cả ba phần của phép kiểm tra POFOSTITO, rõ ràng nhất là ba lực được nhắc tới thay vì một cặp lực.



### Định luật III Newton và tác dụng xuyên khoảng cách

Định luật III Newton hoàn toàn đối xứng theo nghĩa là không có lực nào cấu thành phản ứng trễ đối với lực kia. Định luật III Newton còn không nhắc đến thời gian, và các lực được cho là bằng nhau tại bất kì thời điểm nào cho trước. Điều này tạo ra một tình huống thú vị khi nó đến từ các lực không tiếp xúc. Giả sử hai người đang cầm hai nam châm, và khi một người vẩy hay lắc nam châm của cô ta, thì người kia cảm thấy lực tác dụng lên anh ta. Theo cách này, họ có thể gửi tín hiệu cho nhau từ phía bên kia của bức tường, và nếu định luật III Newton là đúng, thì dường như các tín hiệu được truyền đi tức thời, không hề có sự trễ thời gian. Các tín hiệu thật sự truyền đi khá nhanh, nhưng những thí nghiệm điều khiển bằng nam châm điện cho thấy tín hiệu không xuyên khoảng cách ngay tức thời: chúng truyền đi ở tốc độ bằng tốc độ ánh sáng, đó là một tốc độ cực cao nhưng không phải là vô hạn.

Đây có phải là một mâu thuẫn với định luật III Newton? Không hẳn. Theo các lý thuyết hiện nay, không có lực nào thật sự không tiếp xúc. Tác dụng xuyên khoảng cách không tồn tại. Mặc dù dường như việc lắc thanh nam châm này ảnh hưởng tới thanh kia mà không cần cái nào tiếp xúc với cái nào, nhưng cái thật sự xảy ra là việc lắc một thanh nam châm làm phát ra những trận mưa hạt nhỏ xíu gọi là photon. Thanh nam châm đẩy các photon ra với một cú đá, và nhận một cú đá ngược lại, tuân theo nghiêm ngặt định luật III Newton. Các photon bay ra theo mọi hướng, và các photon chạm tới thanh nam châm kia thì tương tác với nó, tuân theo định luật III Newton lần nữa.

Các photon thật ra chẳng phải cái gì xa lạ. Ánh sáng cấu thành từ các photon, nhưng mắt của chúng ta nhận những số lượng khổng lồ photon như thế nên chúng ta không cảm nhận chúng riêng biệt. Các nam châm do bạn tạo ra bằng cách lắc thanh nam châm trong tay sẽ thuộc một “màu” mà bạn không thể nhìn thấy, nằm xa ngoài ranh giới đỏ của cầu vồng. Tập 6 trong loạt sách này sẽ mô tả bằng chứng cho mô hình photon của ánh sáng.

☺ A. Khi bạn nổ súng, chất khí nổ đẩy ra theo mọi hướng, làm cho viên đạn gia tốc theo nòng súng. Cặp lực định luật III nào có liên quan ở đây? [Gợi ý: Nhớ rằng chính chất khí là một vật]

B. Tam Anh túm lấy Sarah và cố kéo cô ta. Cô ta cố đứng lại, không nhúc nhích. Một học sinh phân tích tình huống đó như sau: “Nếu lực của Tam Anh đặt lên Sarah lớn hơn lực của cô ta đặt lên anh ta, thì anh ta có thể làm cho cô ta di chuyển. Ngược lại, cô ta vẫn có thể đứng tại chỗ của mình”. Phân tích này sai ở chỗ nào?

C. Bạn đập một quả bóng tennis vào tường. Giải thích bất kì ý nào hay toàn bộ ý là không đúng trong mô tả vật lý sau đây: “Theo định luật III Newton, phải có một lực ngược lại lực do bạn tác dụng lên quả bóng. Lực ngược lại đó là khối lượng của quả bóng, cái chống lại sự gia tốc, và còn có sức cản của không khí”.

## 5.2 Phân loại và hành vi của lực

Một trong những nhiệm vụ cơ bản và quan trọng nhất của vật lý học là phân loại các lực của tự nhiên. Tôi đã nhắc tới một cách không chính thức “các loại” lực, như lực ma sát, lực từ, và lực hấp dẫn, vân vân. Các hệ thống phân loại là sự sáng tạo của trí tuệ con người, cho nên luôn có một chút mức độ độc đoán trong chúng. Đối với một vật, mức độ chi tiết thích hợp cho một hệ thống phân loại phụ thuộc vào cái bạn đang cố gắng khám phá. Một số nhà ngôn ngữ học, “những người hòa hợp”, thích nhấn mạnh sự tương đồng giữa các ngôn ngữ, và một số kẻ có quan điểm quá khích thì cố tìm các dấu hiệu của sự tương đồng giữa các từ trong những ngôn ngữ khác nhau như tiếng Anh và tiếng Trung Quốc, phân chia các ngôn ngữ trên thế giới thành một vài nhóm lớn. Còn một số nhà ngôn ngữ học, “các nhà chia rẽ”, có thể thích nghiên cứu sự khác biệt ở cách phát âm giữa những người nói tiếng Anh ở New York và Connecticut. Những người chia rẽ gọi những người hòa hợp là tùy tiện, nhưng các nhà hòa hợp phát biểu rằng khoa



học sẽ không đáng bỏ công trừ khi nó có thể tìm được những kiểu mẫu đơn giản, bao quát bên trong một vũ trụ có vẻ phức tạp.

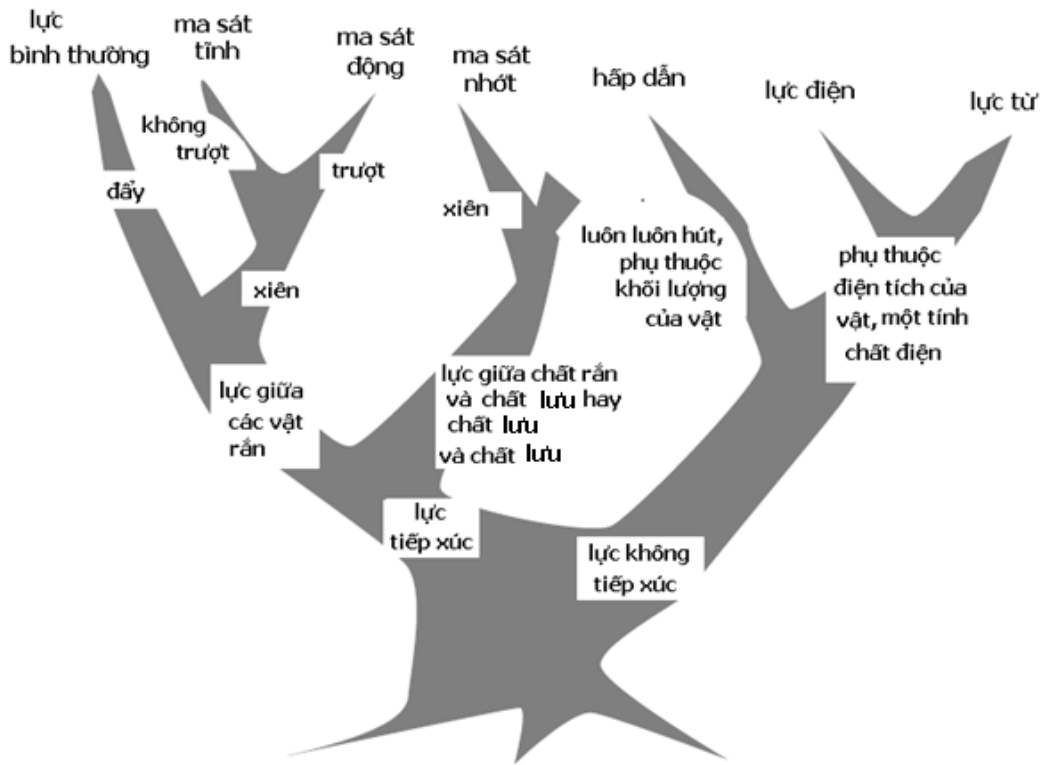
Các hệ thống phân loại khoa học thường cũng thỏa hiệp giữa tính thực tiễn và tính tự nhiên. Một ví dụ là câu hỏi làm thế nào phân loại các loài hoa. Đa số mọi người cho rằng sự phân loại sinh học là việc phát hiện những loài mới, đặt tên cho chúng, và sắp xếp chúng vào hệ thống lớp-bộ-họ-giống-loài theo nguyên tắc chỉ dẫn đã có sẵn. Trong thực tế, toàn bộ hệ thống vẫn nằm trong trạng thái thay đổi liên tục và tranh cãi. Một cách phân loại các loài hoa rất thực tế là căn cứ theo cánh hoa của chúng tách rời hay nhập lại thành ống hoặc nón – tiêu chuẩn quá rõ ràng nên nó có thể áp dụng cho cây xanh nhìn thấy hai bên đường đi. Nhưng ở đây tính thực tiễn mâu thuẫn với tính tự nhiên. Chẳng hạn, cây thu hải đường có cánh hoa tách rời, và cây bí ngô có cánh hoa liền nhau, nhưng chúng giống nhau ở nhiều cách thức khác đến mức chúng được đưa vào trong cùng một bộ. Một số nhà phân loại học đi đến tiêu chuẩn phân loại mà họ khẳng định tương ứng tự nhiên hơn với mối quan hệ rõ ràng giữa các loài cây, không có trường hợp ngoại lệ nào, nhưng những tiêu chuẩn này có lẽ còn xa thực tiễn lắm, yêu cầu chẳng hạn xem xét các hạt phấn hoa dưới một chiếc kính hiển vi điện tử.



g/ Một hệ thống phân loại khoa học

Trong vật lí, có hai hệ thống phân loại lực chủ yếu. Tại nơi này trong khóa học, bạn sắp học một hệ phân loại rất thực tế và dễ sử dụng, và nó phân chia các lực thành một số tương đối lớn loại: 7 loại rất thông dụng chúng ta sẽ trình bày rõ ràng trong chương này, cộng với có lẽ chừng chục loại kém quan trọng hơn như lực căng bề mặt, chúng ta sẽ không bận tâm tới chúng vào lúc này.

Tuy nhiên, các nhà vật lí chuyên nghiệp bị ám ảnh với việc tìm kiếm các kiểu mẫu đơn giản, nên việc công nhận nhiều tới 15 hay 20 loại lực đối với họ thật là bức bối và quá phức tạp. Kể từ khoảng năm 1900, vật lí học đã ở vào một chương trình sôi nổi khám phá những cách thức trong đó nhiều loại lực có vẻ khác nhau này phát sinh từ một số lượng lực cơ bản ít hơn. Chẳng hạn, khi bạn bóp tay mình vào nhau, lực giữ chúng khỏi đi qua nhau có lẽ dường như chẳng có gì để làm với điện học, nhưng ở mức độ nguyên tử, nó thật sự phát sinh từ lực đẩy điện giữa các nguyên tử. Khoảng năm 1950, tất cả các lực của tự nhiên đã được giải thích là phát sinh từ bốn loại lực cơ bản ở mức độ nguyên tử và hạt nhân, và quá trình hợp nhất với nhau không dừng lại ở đó. Vào những năm 1960, độ dài của danh sách đã được giảm xuống còn có ba, và một số nhà lí thuyết còn tin rằng họ có thể giảm nó xuống còn hai hoặc một. Mặc dù sự hợp nhất các lực của tự nhiên là một trong những thành tựu quan trọng và tuyệt vời nhất của vật lí học, nhưng sẽ dễ nhận thức hơn nhiều là hãy bắt đầu khóa học này với hệ thống phân loại thực tế và dễ sử dụng hơn. Hệ thống hợp nhất bốn lực sẽ là một trong những điểm nhấn của phần cuối khóa học vật lí của bạn.



h/ Một cơ cấu phân loại lực thực tế

Cơ cấu phân loại thực tế liên quan tới chúng ta lúc này có thể đưa vào dạng hình cây như trong hình h. Các loại lực đặc biệt nhất được biểu diễn tại đầu nhọn của các nhánh, và những loại lực này có thể nhắc tới trong thuật nhớ POFOSTITO. Ví dụ, lực điện và lực từ thuộc cùng một nhóm tổng quát, nhưng định luật III Newton không bao giờ liên hệ một lực điện với một lực từ.

Sự khác biệt lớn nhất là giữa lực tiếp xúc và lực không tiếp xúc, chúng đã được trình bày trong chương trước. Trong số các lực tiếp xúc, chúng ta phân biệt các lực chỉ liên quan giữa các chất rắn và các lực liên quan tới chất lưu, một thuật ngữ dùng trong vật lý để bao gồm cả chất khí lẫn chất lỏng. Từ “đẩy”, “hút”, và “xiên” chỉ hướng của lực.

- Lực đẩy là những lực có xu hướng đẩy hai vật ra xa nhau. Cụ thể hơn, lực đẩy tiếp xúc tác dụng vuông góc với bề mặt nơi hai vật chạm nhau, và lực đẩy không tiếp xúc tác dụng theo đường thẳng nối giữa hai vật.
- Lực hút kéo hai vật về phía nhau, nghĩa là chúng tác dụng theo đường thẳng như lực đẩy, nhưng theo chiều ngược lại.
- Lực xiên là lực tác dụng ở một số góc khác.

Không nhất thiết phải ghi nhớ biểu đồ ở trên theo kiểu học thuộc lòng. Cách tốt hơn để củng cố trí nhớ của bạn về hệ thống này là gọi lên trong đầu bạn kiến thức chung phổ biến về những hiện tượng bình thường nhất định. Chẳng hạn, bạn biết lực hút hấp dẫn giữa chúng ta và hành tinh Trái đất sẽ tác dụng cho dù chân của chúng ta tạm thời rời khỏi mặt đất, và mặc dù các nam châm có khối lượng và bị tác dụng bởi lực hấp dẫn, nhưng đa số các vật có khối lượng là phi từ tính.

Biểu đồ này đã được làm cho đơn giản đến mức có thể trong khi bao gồm đa số các lực mà chúng ta gặp trong cuộc sống hàng ngày. Nếu bạn là một con côn trùng, bạn sẽ cảm thấy hấp dẫn hơn nhiều ở lực căng bề mặt, nó cho phép bạn thả bộ trên nước. Tôi không kể các lực hạt nhân, lực chịu trách nhiệm giữ hạt nhân nguyên tử lại với nhau, vì chúng không hiển hiện trong cuộc sống hàng ngày.

Bạn không phải lo ngại việc sáng chế ra những tên gọi riêng của bạn cho các lực không phù hợp với biểu đồ. Chẳng hạn, lực giữ một miếng băng vào vách ván vừa cắt khỏi cây, và nếu bạn đang phân tích trường hợp miếng băng scotch, bạn tuyệt đối đúng khi quy cho nó một số tên gọi quen thuộc như “lực bám dính”.

Mặt khác, nếu bạn gặp rắc rối trong việc phân loại một lực nhất định, bạn cũng nên xem xét rốt cuộc nó có phải là lực hay không. Chẳng hạn, nếu ai đó yêu cầu bạn phân loại lực mà Trái đất có vì chuyển động quay của nó, bạn sẽ gặp rắc rối lớn ở việc tìm một chỗ cho nó trên biểu đồ. Đó là vì nó là một loại chuyển động, không phải một loại lực!

## Lực pháp tuyến

Một lực pháp tuyến,  $F_N$ , là lực giữ cho vật rắn này khỏi đi qua vật rắn khác. “Pháp tuyến” đơn giản là một từ giàu tưởng tượng cho “vuông góc”, nghĩa là lực vuông góc với bề mặt tiếp xúc. Theo trực giác, dường như lực pháp tuyến tự điều chỉnh nó một cách kì diệu để mang lại mọi thứ lực cần thiết giữ các vật khỏi chiếm cùng một không gian. Nếu bấp thịch co bóp tay bạn với nhau một cách nhẹ nhàng, thì có một lực pháp tuyến nhẹ nhàng. Bóp mạnh hơn thì lực pháp tuyến mạnh hơn. Làm thế nào lực pháp tuyến biết được nó phải bao mạnh? Câu trả lời là hễ bạn ép tay bạn vào nhau càng chặt, thì da thịt của bạn càng bị nén nhiều hơn. Da thịt của bạn tác dụng giống như một cái lò xo: cần lực lớn hơn để nén nó nhiều hơn. Điều tương tự đúng khi bạn đẩy vào tường. Bức tường cong đi không thể nhận thấy tỉ lệ với lực bạn tác dụng lên nó. Nếu bạn tác dụng lực đủ mạnh, có khả năng là hai vật đi xuyên qua nhau không? Không, thường thì kết quả đơn giản là kéo căng các vật quá mức thì một số chúng bị phá hỏng.

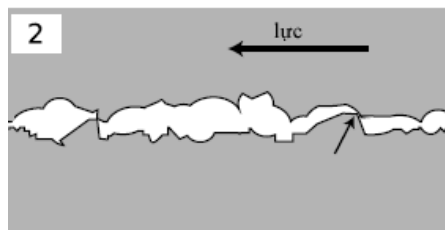
## Lực hấp dẫn

Như chúng ta sẽ thảo luận chi tiết hơn trong phần sau của cuốn sách này, lực hấp dẫn tồn tại giữa hai vật bất kì có khối lượng. Trong cuộc sống hàng ngày, lực hấp dẫn giữa hai chiếc xe hơi hoặc giữa hai người là không đáng kể, nên lực hấp dẫn chỉ đáng chú ý là lực giữa Trái đất và các vật kích cỡ con người khác. Chúng ta xem lực hấp dẫn do hành tinh Trái đất gây ra là trọng lực, và như chúng ta đã thấy, độ lớn của chúng được cho bởi  $|F_W| = mg$ .

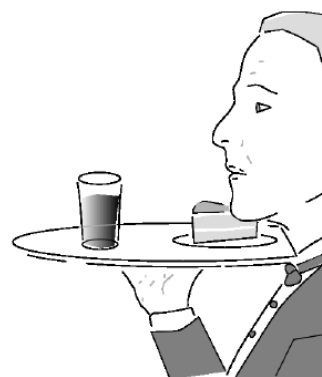
## Lực ma sát tĩnh và lực ma sát động

Nếu bạn đẩy một cái tủ lạnh trên sàn nhà bếp, bạn cảm nhận thấy một loạt cảm giác nhất định. Ban đầu, bạn tăng từ từ lực của mình đặt lên cái tủ lạnh, nhưng nó chẳng di chuyển. Cuối cùng, bạn cung cấp đủ lực để bóc gỡ tủ lạnh, và có một cái giật đột ngột khi cái tủ lạnh bắt đầu di chuyển. Một khi cái tủ lạnh đã được bóc gỡ, bạn có thể giảm lực của bạn đi đáng kể và vẫn giữ cho nó di chuyển được.

Trong khi bạn tăng dần của bạn, thì lực ma sát của sàn nhà đặt lên cái tủ lạnh tăng lên tương ứng. Hai lực đặt lên cái tủ lạnh triệt tiêu nhau, và cái tủ lạnh không gia tốc. Làm thế nào sàn nhà biết được phải phản ứng đúng với lượng lực bao nhiêu? Hình i trình bày một mô hình có khả năng của ma sát giải thích hành vi này. (Một mô hình khoa học là một sự mô tả mà chúng ta trông đợi là không hoàn chỉnh, gần đúng, hay không thực tế theo một số nghĩa, nhưng nó lại thành công trong việc giải thích nhiều hiện tượng đa dạng). Hình i/1 trình bày cái nhìn vi mô về những chỗ lồi và lõm nhỏ xíu trên bề mặt của sàn nhà và cái tủ lạnh. Trọng lượng của cái tủ lạnh ép hai bề mặt lên nhau, và một số chỗ lồi trên bề mặt này sẽ ăn sâu đến mức có thể vào những chỗ lõm trên bề mặt kia. Trong hình i/2, lực hướng sang trái của bạn đặt lên cái tủ lạnh làm nó nâng lên cao hơn một chút trên chỗ lồi ở sàn nhà được đánh dấu bằng mũi tên nhỏ. Vẫn cần thêm lực để nâng cái tủ lạnh lên trên chỗ lồi và cho phép nó bắt đầu chuyển động. Tất nhiên, điều này xảy ra đồng thời tại hàng triệu nơi trên hai bề mặt.



i/ Một mô hình giải thích chính xác nhiều tính chất của ma sát. Những chỗ lồi và lõm vi mô trên hai bề mặt ăn sâu vào nhau, gây ra lực ma sát.

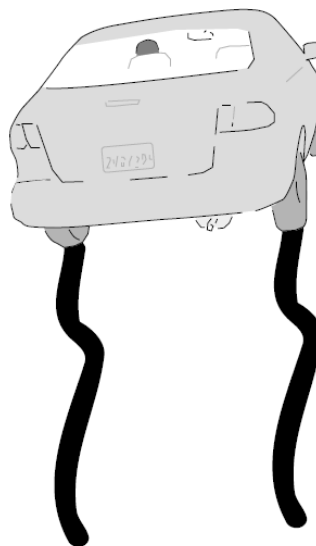


j/ Lực ma sát tĩnh: cái khay không trượt trên những ngón tay của người phục vụ.

Một khi bạn đã làm cho cái tủ lạnh chuyển động ở tốc độ không đổi, bạn thấy bạn cần tác dụng ít lực hơn lên nó. Vì lực tổng hợp bằng không là cần thiết để làm cho một vật chuyển động với vận tốc không đổi, nên lực ma sát hướng sang phải của sàn nhà đặt lên cái tủ lạnh rõ ràng có phần giảm đi, khiến cho bạn dễ triệt tiêu nó hơn. Mô hình của chúng ta còn đưa ra một lời giải thích đáng tin cậy cho thực tế này: khi các bề mặt trượt lên nhau, chúng không có thời gian cày sâu và đan răng cưa với nhau, nên có ít ma sát hơn.

Mặc dù mô hình này có sức lôi cuốn trực giác và khá thành công, nhưng nó không đúng cho lắm, và trong một số trường hợp nó là sai lầm. Chẳng hạn, xe đạp đua được hâm mộ ngày nay được chế tạo với lốp nhẵn không có ta lông – trái với cái chúng ta mong đợi từ mô hình của chúng ta, điều này không gây ra bất kỳ sự giảm ma sát nào. Các nhà chế tạo máy biết rằng hai bề mặt kim loại rất nhẵn và sạch có thể dính vào nhau rất mạnh và rất khó trượt tách ra. Hiện tượng này không thể giải thích theo mô hình của chúng ta, nhưng nó có ý nghĩa theo một mô hình trong đó ma sát được mô tả phát sinh do liên kết hóa học giữa các nguyên tử của hai bề mặt tại những điểm tiếp xúc của chúng: các bề mặt rất phẳng cho phép nhiều nguyên tử đi đến tiếp xúc hơn.

Vì ma sát thay đổi hành vi của nó một cách đột ngột một khi các bề mặt tách ra nhau, cho nên chúng ta định nghĩa hai loại lực ma sát khác nhau. *Ma sát tĩnh* là



k/ Lực ma sát động: chiếc xe hơi trượt

lực ma sát xuất hiện giữa các bề mặt không trượt lên nhau. Các bề mặt đang trượt lên nhau chịu lực *ma sát động*. “Động” có nghĩa là phải đi cùng với chuyển động. Lực ma sát tĩnh và lực ma sát động, kí hiệu là  $F_S$  và  $F_k$ , luôn luôn song song với bề mặt tiếp xúc giữa hai vật.

☺ 1. Khi một vận động viên bóng rổ trượt trên sân, thì lực ma sát là tĩnh hay động ?

2. Một tấm nệm đang nằm trên mui của một chiếc xe hơi đang gia tốc từ từ. Hỏi lực ma sát là tĩnh hay động ?

3. Lực ma sát tĩnh có tạo ra nhiệt ? Còn lực ma sát động thì sao ?

Lực ma sát tĩnh cực đại phụ thuộc vào loại bề mặt sinh ra chúng, và vào mức độ mạnh mà chúng bị ép vào nhau. Mối quan hệ toán học gần đúng có thể mô tả như sau:

$$F_s = -F_{ngoài} \text{ khi } |F_{ngoài}| < \mu_s |F_N|$$

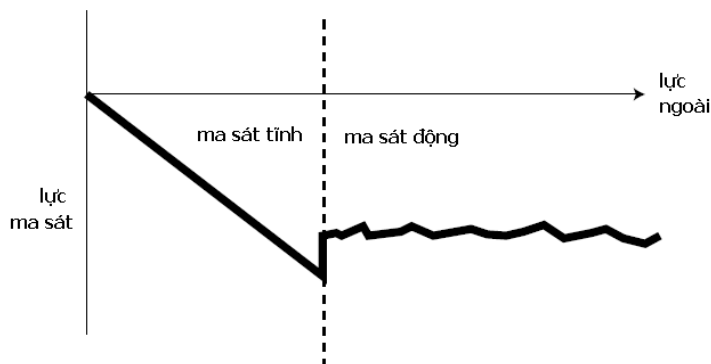
trong đó  $\mu_s$  là một con số không có đơn vị, gọi là hệ số ma sát tĩnh, nó phụ thuộc vào loại bề mặt là gì. Lực cực đại mà ma sát tĩnh có thể cung cấp,  $\mu_s |F_N|$ , miêu tả ranh giới giữa lực ma sát tĩnh và lực ma sát động. Nó phụ thuộc vào lực pháp tuyến, tính bằng số thì nó bằng số bất kì lực nào ép hai bề mặt vào nhau. Theo mô hình của chúng ta, nếu hai bề mặt bị ép lên nhau càng chặt, thì cần lực hướng sang bên lớn hơn để làm cho những chỗ nhấp nhô trên các bề mặt leo lên và đi qua nhau.

Lưu ý là vì chúng ta sử dụng một tính từ như “ngoài” để chỉ lực, điều đó không có nghĩa là có một số loại lực đặc biệt gọi tên là “lực ngoài”. Lực ngoài có thể là bất kì loại lực nào, hay nó có thể là tổng của nhiều hơn một lực cố gắng làm cho một vật chuyển động.

Lực ma sát động đặt lên từng vật trong hai vật theo hướng cản lại sự trượt của các bề mặt. Độ lớn của nó thường được lấy gần đúng là

$$|F_k| < \mu_k |F_N|$$

trong đó  $\mu_k$  là hệ số ma sát động. Lực ma sát động thường độc lập ít nhiều với vận tốc.



1/ Chúng ta chọn một hệ tọa độ trong đó lực ngoài, tức là lực cố làm di chuyển các vật, là dương. Lực ma sát khi đó âm, vì nó có hướng ngược lại. Khi bạn tăng lực ngoài lên, thì lực ma sát tĩnh tăng lên tương ứng với nó và triệt tiêu với nó, cho đến khi lực ma sát tĩnh cực đại bị vượt qua. Các bề mặt khi đó bắt đầu trượt qua nhau, và lực ma sát trở nên nhỏ hơn về giá trị tuyệt đối.

☺ Một bề mặt không ma sát có thể tác dụng một lực pháp tuyến hay không ? Lực ma sát có thể tồn tại mà không có lực pháp tuyến hay không ?

Nếu bạn cố gắng gia tốc hay giảm tốc chiếc xe của bạn quá nhanh, thì lực giữa bánh xe của bạn và mặt đường trở nên quá lớn, và chúng bắt đầu trượt. Điều này thật không hay, vì lực



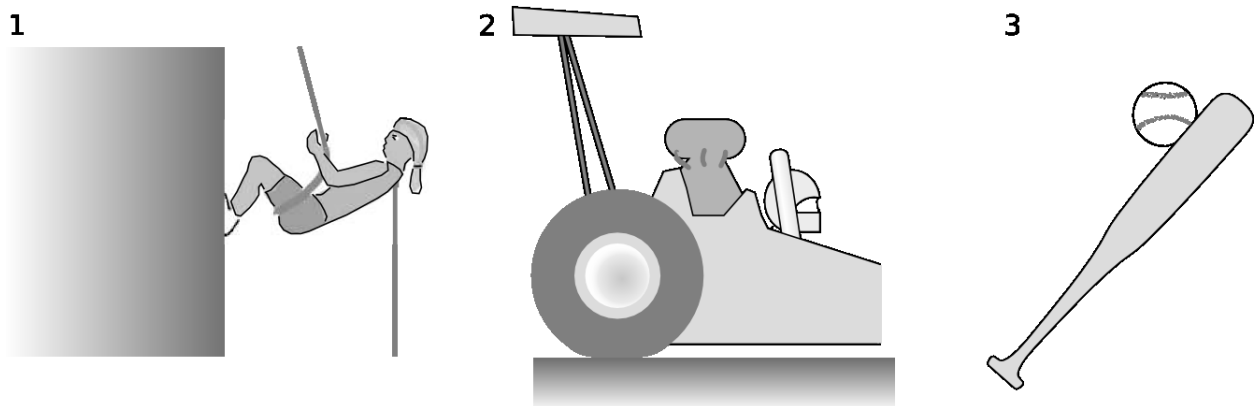
ma sát động nhỏ hơn lực ma sát tĩnh, làm cho khó điều khiển hơn. Đồng thời, nếu điều này xảy ra trong khi bạn đang quẹo cua, thì hướng đi của chiếc xe thay đổi đột ngột vì lực ma sát động nằm theo hướng khác với lực ma sát tĩnh: ngược với hướng chuyển động của chiếc xe chứ không ngược với hướng lực tác dụng lên lốp xe.

Đa số mọi người phản ứng với sự hoài nghi khi nói về bằng chứng thực nghiệm rằng cả lực ma sát tĩnh lẫn lực ma sát động đều tương đối độc lập với diện tích bề mặt tiếp xúc. Ngay cả sau khi tiến hành một bài thực hành với cân lò xo để chỉ ra điều đó là đúng, nhiều học sinh vẫn miễn cưỡng tin vào những quan sát riêng của họ và thừa nhận rằng cái lốp xe to hơn sẽ “cho sức kéo lớn hơn”. Thật ra, nguyên do chính vì sao bạn không muốn đặt cái lốp xe nhỏ vào chiếc xe to nặng là vì cái lốp sẽ nổ tung!

Mặc dù nhiều người trông đợi lực ma sát tỉ lệ với diện tích bề mặt, nhưng một sự tỉ lệ như thế sẽ đưa ra những tiên đoán trái với nhiều quan sát hàng ngày. Ví dụ, bàn chân của con chó có rất ít diện tích bề mặt tiếp xúc với mặt đất so với bàn chân con người, nhưng chúng ta biết rằng con chó thường giành chiến thắng trong cuộc giằng co với con người.

Nguyên nhân khiến diện tích bề mặt nhỏ hơn không đưa đến lực ma sát nhỏ hơn là vì lực giữa hai bề mặt tập trung hơn, làm cho những chỗ lồi và lõm của chúng ăn sâu vào nhau hơn.

☺ Tìm hướng của từng lực trong hình m.



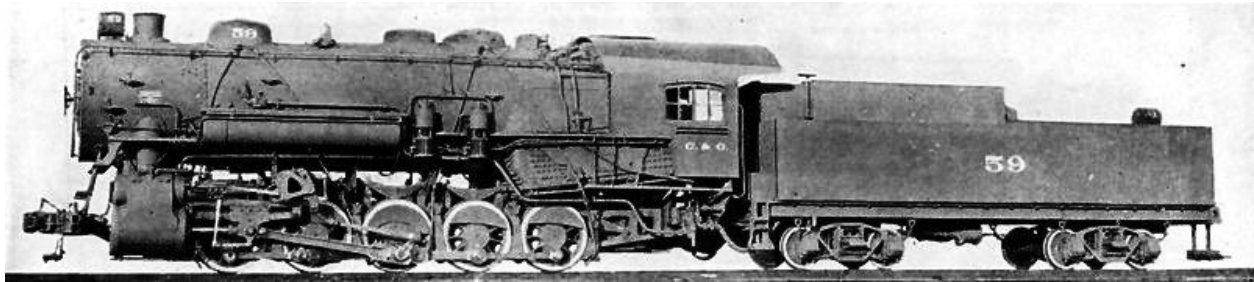
m/ 1. Lực pháp tuyến của vách đá tác dụng lên chân người leo núi. 2. Lực ma sát động của đường ray tác dụng lên bánh xe của chiếc xe đua đang gia tốc. 3. Lực pháp tuyến của quả bóng tác dụng lên cây gậy.

*Ví dụ 3. Đầu máy xe lửa*

Xem hình một cái đầu máy xe lửa, n, chúng ta chú ý tới hai thứ hiển nhiên khác với xe hơi. Trong khi một chiếc xe hơi thường có hai bánh xe lái, thì đầu máy xe lửa thường có nhiều bánh xe – trong ví dụ này là 10. (Một số đầu máy có những bánh xe nhỏ hơn, không được cấp lực ở phía trước và phía sau bánh xe lái, nhưng ví dụ này không có) Đồng thời, xe hơi ngày nay thường được chế tạo càng nhẹ càng tốt đối với kích thước của chúng, còn đầu máy xe lửa thì rất nặng, nhưng dường như không có nỗ lực nào được thực hiện để giữ cho trọng lượng của chúng thấp cả. (Đầu máy hơi nước trong hình là vào khoảng năm 1900, nhưng điều này đúng cả cho các xe lửa chạy dầu và điện hiện đại)

Nguyên nhân đầu máy xe lửa được chế tạo quá nặng là vì sức kéo. Lực pháp tuyến hướng lên của đường ray đặt lên các bánh xe,  $F_N$ , triệt tiêu với lực hấp dẫn hướng xuống,  $F_W$ , cho nên bỏ qua các dấu cộng và trừ, hai lực này bằng nhau về giá trị tuyệt đối,  $F_N = F_W$ . Biết lượng lực pháp tuyến này, thì lực ma sát tĩnh cực đại là  $F_s = \mu_s F_N = \mu_s F_W$ . Lực ma sát tĩnh này, của đường ray đẩy về phía trước tác dụng lên các bánh xe, là

lực duy nhất có thể gia tốc đoàn xe lửa, kéo nó đi lên, hoặc triệt tiêu với lực cản của không khí trong khi lao đi ở vận tốc không đổi. Hệ số ma sát tĩnh đối với thép trên thép là khoảng 1/4, cho nên không có đầu máy xe lửa nào có thể kéo với lực lớn hơn khoảng 1/4 trọng lượng riêng của nó. Nếu như động cơ có khả năng cung cấp nhiều hơn lượng lực đó, thì kết quả đơn giản là phá hỏng lực ma sát tĩnh và làm quay các bánh xe.



n/ Ví dụ 3

Nguyên do điều này khác hoàn toàn với tình huống chiếc xe hơi là xe hơi không kéo thêm bất cứ thứ gì khác. Nếu bạn đặt thêm trọng lượng lên xe hơi, thì bạn làm tăng sức kéo, nhưng bạn cũng làm tăng quán tính của chiếc xe, và làm cho nó khó gia tốc. Ở đoàn xe lửa, quán tính hầu như đều nằm ở các toa xe được kéo, chứ không phải ở đầu máy.

Một thực tế nữa chúng ta phải giải thích là số lượng lớn bánh xe lái. Trước tiên, chúng ta phải nhận ra rằng việc tăng thêm số lượng bánh xe lái không làm tăng thêm hoặc làm giảm tổng lượng ma sát tĩnh, vì lực ma sát tĩnh độc lập với diện tích bề mặt tiếp xúc. (Nguyên do bốn bánh xe lái là tốt ở xe hơi là nếu một hoặc nhiều bánh xe bị trượt trên băng hoặc trong bùn, thì những bánh xe kia sẽ vẫn có sức kéo. Đây không phải là một vấn đề đặc thù đối với xe lửa, vì tất cả các bánh xe chịu những điều kiện như nhau) Ưu điểm của việc có nhiều bánh xe lái ở xe lửa là nó cho phép chúng ta tăng trọng lượng của xe lửa mà không làm nát mất đường ray hay làm hỏng cầu.

## Ma sát nhớt

Thử đưa một cái móng tay vào trong thác nước và bạn sẽ chịu sự khác biệt chủ yếu giữa ma sát rắn và ma sát nhớt. Ma sát nhớt là động thuần túy; không có lực ma sát nhớt tĩnh. Cái móng tay ở trong thác nước có lẽ có xu hướng bị kéo theo dòng nước chảy qua nó, nhưng nó không dính vào trong nước. Điều tương tự đúng với các chất khí như không khí: nhắc lại, chúng ta sử dụng là “chất lưu” để bao gồm cả chất khí và chất lỏng.

Không giống như lực ma sát động rắn, lực ma sát nhớt tăng nhanh theo vận tốc. Trong nhiều trường hợp, lực xấp xỉ tỉ lệ với bình phương của vận tốc,

$$F_{\text{ma sát nhớt}} \propto c\rho A v^2$$

trong đó  $A$  là tiết diện ngang của vật,  $\rho$  là khối lượng riêng của chất lưu, và  $c$  là hằng số tỉ lệ phụ thuộc một phần vào loại chất lưu và một phần vào mức độ trơn dài của vật.

☺ A. Một học sinh phát biểu rằng khi anh ta thử đẩy cái tủ lạnh nhà mình, nguyên do nó không di chuyển là vì định luật III Newton nói rằng có một lực ma sát bằng và ngược hướng đẩy về phía sau. Rốt cuộc, lực ma sát tĩnh bằng và ngược hướng với lực ngoài đặt vào. Làm thế nào bạn thuyết phục được anh ta rằng anh ta sai ?

B. Lực ma sát động thường ít nhiều độc lập với vận tốc. Tuy nhiên, những người lái xe thiếu kinh nghiệm có xu hướng tạo ra một cái giạt mạnh vào thời khắc cuối của sự giảm tốc khi họ dừng trước đèn đỏ. Cái gì cho bạn biết về lực ma sát động giữa má phanh và trống phanh ?

C. Một số mô tả sau đây là những mô tả đúng về những loại lực có thể thêm vào làm những nhánh mới của cây phân loại. Những mô tả khác không thật sự là những loại lực, và những mô tả khác nữa không phải là hiện tượng lực. Trong từng trường hợp, hãy quyết định điều nào xảy ra, và nếu thích hợp, hãy chỉ ra làm thế nào bạn đưa chúng vào cây phân loại.

lực bám dính	làm cho miếng băng dính vào những thứ khác
lực ngược chiều	lực mà định luật III Newton nói rằng liên quan tới mỗi lực do bạn tạo ra
lực chảy	lực do nước mang theo nó khi nó chảy ra khỏi vòi
lực căng bề mặt	cho phép những con côn trùng đi bộ trên nước
lực nằm ngang	một lực có phương nằm ngang
lực động cơ	lực do động cơ tác dụng lên thứ gì đó khi nó chuyển hướng
lực triệt tiêu	một lực bị triệt tiêu bởi một số lực khác

## 5.3 Phân tích lực

Định luật I và II Newton xem xét tổng hợp tất cả các lực tác dụng lên một vật nhất định, nên điều rất quan trọng là có thể chỉ ra có những lực nào. Một khi bạn đã tập trung chú ý vào một vật và liệt kê các lực đặt lên nó, điều cũng thật hữu ích là mô tả tất cả các lực tương ứng phải tồn tại theo định luật III Newton. Chúng ta xem đây là “phép phân tích lực” trong đó vật tham gia.

### Ví dụ 4. Chiếc sà lan

Một chiếc sà lan đang được kéo đi dọc theo một con kênh đào bằng một bầy ngựa ở trên bờ. Hãy phân tích tất cả các lực trong đó chiếc sà lan tham gia.

<i>Lực tác dụng lên chiếc sà lan</i>	<i>Lực liên hệ với nó bởi định luật III Newton</i>
Lực pháp tuyến hướng về trước của dây cáp đặt lên chiếc sà lan	Lực pháp tuyến hướng ra sau của chiếc sà lan đặt lên dây cáp
Lực ma sát nhớt hướng ra sau của nước đặt lên chiếc sà lan	Lực ma sát nhớt hướng về phía trước của chiếc sà lan đặt lên nước
Lực hấp dẫn hướng xuống của hành tinh Trái đất đặt lên chiếc sà lan	Lực hấp dẫn hướng lên của chiếc sà lan đặt lên Trái đất
Lực “nổi” hướng lên của nước đặt lên chiếc sà lan	Lực “nổi” hướng xuống của chiếc sà lan đặt lên nước

Ở đây, chúng ta sử dụng từ lực “nổi” làm một ví dụ cho một thuật ngữ được sáng tạo có thể nhận ra cho một loại lực không được phân loại trong biểu đồ cây trong mục trước. Thuật ngữ kỹ thuật chính thức hơn gọi nó là “lực thủy tĩnh”. Lưu ý cách thức các cặp lực đều được sắp xếp theo kiểu “lực của A đặt lên B, lực của B đặt lên A”: dây tác dụng lên sà lan và sà lan tác dụng lên dây; nước tác dụng lên sà lan và sà lan tác dụng lên nước. Vì toàn bộ các lực ở cột bên trái là lực tác dụng lên sà lan, toàn bộ các lực ở cột bên phải là lực do sà lan tác dụng, đó là nguyên do vì sao từng mô tả ở cột bên phải đều có cụm từ “của chiếc sà lan”.

Thường thì bạn không chắc chắn mình có quên mất một lực nào hay không. Ở đây là ba chiến lược cho việc kiểm tra danh sách lực của bạn:

Xét kết quả vật lý gì sẽ xảy ra từ các lực mà bạn tìm thấy trước đó. Chẳng hạn, giả sử bạn quên mất lực “nổi” tác dụng lên sà lan trong ví dụ ở trên. Xét các lực mà bạn tìm thấy, bạn sẽ nhận thấy có một lực hấp dẫn hướng xuống đặt lên sà lan không bị triệt tiêu bởi bất kỳ lực nào hướng lên. Chiếc sà lan không được cho là bị chìm, cho nên bạn biết bạn phải tìm một lực thứ tư, lực hướng lên trên.

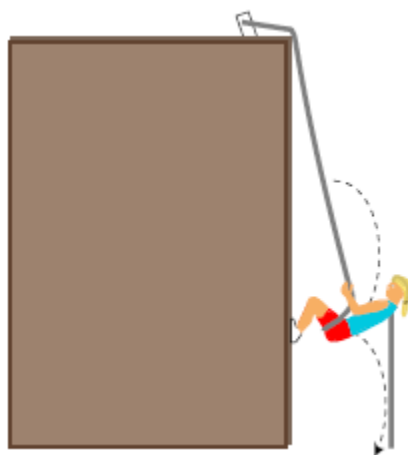
Một kĩ thuật khác tìm lực còn thiếu đơn giản là kiểm qua danh sách tất cả các loại lực thông dụng và xem có lực nào trong số chúng tác dụng hay không.

Tiến hành vẽ hình vật, và vẽ một đường ranh giới chấm chấm xung quanh nó, tách riêng nó ra khỏi môi trường xung quanh nó. Tìm các điểm trên ranh giới nơi những vật khác tiếp xúc với vật của bạn. Chiến lược này đảm bảo bạn sẽ tìm thấy mọi lực tiếp xúc tác dụng lên vật, mặc dù nó không giúp bạn tìm được các lực không tiếp xúc.

Sau đây là một thí dụ khác trong đó chúng ta có thể thu lợi bằng cách kiểm tra trên trực giác vật lí của chúng ta xem cái gì sẽ xảy ra.

#### Ví dụ 5. Leo vách đá

Như biểu diễn tron hình bên dưới. Cindy đang leo xuống một vách đá. Chuyển động đi xuống của cô ta ở tốc độ không đổi, và cô ta nhảy một chút ra khỏi vách đá, như biểu diễn bằng đường chấm chấm. Hãy phân tích các lực trong đó cô ta tham gia tại thời điểm khi chân cô ta đặt lên vách đá và cô ta đang bị đẩy ra.



#### Lực tác dụng lên Cindy

Lực hấp dẫn hướng xuống của hành tinh Trái đất đặt lên Cindy

Lực ma sát hướng lên của dây đặt lên Cindy (tay cô ta)

Lực pháp tuyến hướng sang phải của vách đá đặt lên Cindy

#### Lực liên hệ với nó bởi định luật III Newton

Lực hấp dẫn hướng lên của Cindy đặt lên Trái đất

Lực ma sát hướng xuống của Cindy đặt lên dây

Lực pháp tuyến hướng sang trái của Cindy đặt lên vách đá

Hai lực thăng bằng triệt tiêu nhau, đó là cái chúng phải làm nếu cô ta đi xuống ở tốc độ không đổi. Lực nằm ngang duy nhất đặt lên cô ta là lực của vách đá, nó không bị triệt tiêu bởi bất kì lực nào khác, và do đó nó tạo ra gia tốc cho Cindy hướng bên phải. Điều này có ý nghĩa, vì cô ta đang bật ra. (Lời giải này hơi đơn giản hóa quá mức, vì sợi dây xiên đi, nên nó còn tác dụng một lực nhỏ hướng sang bên trái lên Cindy. Khi cô ta bay sang bên phải, độ xiên của sợi dây tăng lên, kéo cô ta trở lại mạnh hơn)

Tôi tin rằng việc xây dựng loại bảng mô tả trong mục này là phương pháp tốt nhất cho các học sinh mới học. Tuy nhiên, đa số sách vở đưa ra một phương pháp diễn tả bằng tranh ảnh biểu diễn tất cả các lực tác dụng lên một vật. Một hình vẽ như thế được gọi là biểu đồ vật tự do. Thật chẳng phải chuyện gì to tát nếu như vị giáo sư vật lí tương lại mong muốn bạn vẽ những biểu đồ như thế, vì cách giải thích dựa trên khái niệm là như nhau. Bạn dễ dàng vẽ hình của một vật, với những mũi tên biểu diễn lực tác dụng lên nó. Các mũi tên biểu diễn lực tiếp xúc được vẽ

từ điểm tiếp xúc, các lực không tiếp xúc về từ khối tâm. Biểu đồ vật tự do không biểu diễn các lực bằng nhau và ngược hướng do chính vật đó tác dụng.



Câu hỏi C

© A. Trong ví dụ chiếc sà lan đi trên kênh đào, tôi đã nhắc tới lực “nổi” hay lực “thủy tĩnh” giữ cho con tàu khỏi bị chìm. Nếu bạn thêm một nhánh mới trên cây phân loại lực để biểu diễn lực này, thì nó nằm ở chỗ nào ?

B. Một quả bóng bơi bật trở lại từ thành bàn bơi. Hãy phân tích các lực trong đó quả bóng tham gia trong khoảng thời gian ngắn khi nó tiếp xúc với thành bàn.

C. Lực hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên bạn, tức là trọng lượng của bạn, luôn luôn bằng  $mg$ , trong đó  $m$  là khối lượng của bạn. Vậy tại sao bạn có thể cho một cái xẻng đi sâu vào đất bằng cách nhún lên nó ? Đúng là vì bạn nhún, điều đó không có nghĩa là khối lượng của bạn hay trọng lượng lớn hơn, phải vậy không ?

## 5.4 Sự truyền lực bởi các vật khối lượng thấp

Bạn dẫn con chó của mình đi dạo. Con chó muốn đi nhanh hơn bạn, nên sợi dây xích căng ra. Định luật III Newton có đảm bảo rằng lực của bạn đặt lên đầu dây xích phía bạn bằng và ngược hướng với lực của con chó đặt lên đầu kia ? Nếu chúng không chính xác bằng nhau, thì có lí do nào tại sao chúng xấp xỉ bằng nhau hay không ?

Nếu không có sợi dây xích giữa bạn, và bạn đang tiếp xúc trực tiếp với con chó, thì định luật III Newton sẽ áp dụng được, nhưng định luật III Newton không thể liên hệ lực của bạn đặt lên sợi dây xích với lực của con chó đặt lên sợi dây xích, vì có tới ba vật khác nhau. Định luật III Newton chỉ phát biểu rằng lực của bạn đặt lên sợi dây xích bằng và ngược chiều với lực của sợi dây xích đặt lên bạn,

$$F_{yL} = -F_{Ly}$$

và lực của con chó đặt lên sợi dây xích bằng và ngược chiều với lực của nó đặt lên con chó,

$$F_{dL} = -F_{Ld}$$

Như vậy, chúng ta có một sự trông đợi trực giác mạnh mẽ rằng mọi thứ lực chúng ta tác dụng lên sợi dây xích đều phía chúng ta được truyền đến con chó, và ngược lại. Chúng ta có thể phân tích tình huống bằng cách tập trung vào các lực đặt lên sợi dây xích,  $F_{dL}$  và  $F_{yL}$ . Theo định luật II Newton, những lực này liên hệ với khối lượng và gia tốc của sợi dây xích:

$$F_{dL} + F_{yL} = m_L a_L$$

Sợi dây xích nhẹ hơn nhiều so với hai vật còn lại, và nếu  $m_L$  rất nhỏ, thì rõ ràng lực tổng hợp đặt lên sợi dây xích cũng rất nhỏ  $F_{dL} + F_{yL} \approx 0$ , và do đó

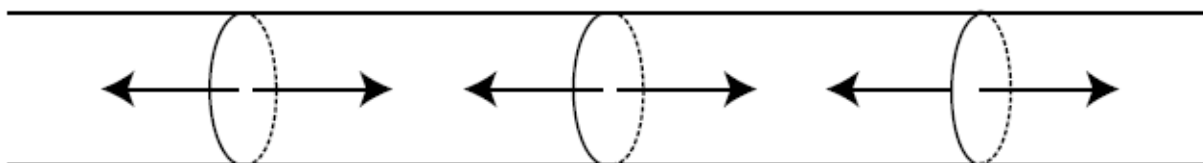
$$F_{dL} \approx -F_{yL}$$

Như vậy, dấu cho định luật III Newton không áp dụng trực tiếp cho hai lực này, nhưng chúng ta có thể lấy gần đúng sợi dây xích khối lượng nhỏ như thế nó không xen vào giữa bạn và con chó.



Ít nhất thì nó gần đúng nếu như bạn và con chó tác dụng trực tiếp lên nhau, trong trường hợp đó định luật III Newton sẽ áp dụng được.

Nói chung, các vật khối lượng thấp có thể xem gần đúng như thể chúng chỉ đơn giản truyền lực từ vật này đến vật kia. Điều này có thể đúng với dây se, dây cáp, và dây bện, và cũng đúng đối với các vật rắn như thanh và thỏi.



o/ Nếu chúng ta tưởng tượng chia một sợi dây căng thành những đoạn nhỏ, thì bất kì đoạn nào cũng có các lực kéo hướng ra ngoài đặt lên nó ở mỗi đầu. Nếu sợi dây có khối lượng không đáng kể, thì tất cả các lực bằng  $+T$  hoặc  $-T$ , trong đó  $T$  là lực căng, có một giá trị.

Nếu bạn quan sát một đoạn dây dưới kính phóng đại khi bạn kéo hai đầu càng lúc càng mạnh hơn, bạn sẽ thấy các sợi bị nắn thẳng và trở nên căng ra. Các phần khác nhau của sợi dây rõ ràng tác dụng lực lên nhau. Chẳng hạn, nếu chúng ta nghĩ hai nửa của sợi dây là hai vật, thì mỗi nửa tác dụng lực lên nửa kia. Nếu chúng ta tưởng tượng sợi dây gồm có nhiều phần nhỏ, thì mỗi đoạn truyền một lực sang đoạn tiếp theo, và nếu sợi dây có khối lượng rất nhỏ, thì tất cả các lực bằng nhau về độ lớn. Chúng ta đặt độ lớn của các lực là sức căng trên sợi dây,  $T$ . Mặc dù sức căng đo bằng đơn vị newton, nhưng bản thân nó không phải là một lực. Có nhiều lực bên trong sợi dây, một số theo hướng này và một số theo hướng kia, và độ lớn của chúng chỉ xấp xỉ bằng nhau. Khái niệm lực căng chỉ có ý nghĩa là một phát biểu tổng quát, gần đúng về tất cả các lực lớn bao nhiêu.



p/ Lòng đường của cây cầu Golden Gate được giữ lên bằng sức căng của những sợi dây cáp thẳng đứng

Nếu một sợi dây vắt qua một cái ròng rọc hay vòng quanh một số vật khác, thì lực căng của sợi dây xấp xỉ bằng nhau dọc theo chiều dài không có quá nhiều ma sát. Một thanh hay que có thể xem xét theo kiểu giống hệt như sợi dây, nhưng có thể có lực căng hoặc lực nén.

Vì lực căng không phải là một loại lực, nên lực tác dụng bởi sợi dây lên một số vật khác phải thuộc về một số loại lực rõ ràng như lực ma sát tĩnh, lực ma sát động, hay lực pháp tuyến. Nếu bạn giữ sợi dây xích của con chó của bạn với tay bạn qua cái thông lọng, thì lực tác dụng bởi cái dây xích lên tay bạn là lực pháp tuyến: nó là lực giữ cho cái dây xích khỏi chiếm giữ cùng khoảng không gian như tay bạn. Nếu bạn tóm lấy một đầu thẳng của sợi dây, thì lực giữa sợi dây và tay bạn là lực ma sát.

Một thí dụ phức tạp hơn của sự truyền lực là cách thức chiếc xe hơi gia tốc. Nhiều người sẽ mô tả động cơ của xe hơi tạo ra lực làm gia tốc chiếc xe, nhưng động cơ là một phần của chiếc xe, cho nên điều đó là không thể: các vật không thể tự tác dụng lên chính chúng. Cái thật sự xảy ra là lực của động cơ được truyền qua bộ phận truyền động đến trục xe, rồi qua lớp xe xuống mặt đường. Theo định luật III Newton, như vậy sẽ có một lực hướng về phía trước từ phía con đường đặt lên lớp xe, nó làm gia tốc chiếc xe.

© A. Khi bạn bước lên một bàn đạp khí, có phải lực của chân bạn được truyền đi theo ý nghĩa của từ sử dụng trong mục này ?

## 5.5 Các vật dưới sức căng

Một sợi dây hơi dài ra một chút khi bạn kéo căng nó. Tương tự, chúng ta đã trình bày làm thế nào một vật dường như rắn chắc như bức tường thật ra bị cong đi khi nó tham gia vào một lực pháp tuyến. Trong những trường hợp khác, kết quả rõ ràng hơn. Một sợi dây hay dải cao su hiển nhiên dài ra khi bị kéo căng.

Thông dụng với tất cả những thí dụ này là sự biến đổi hình dạng thuộc một số kiểu: dài ra, cong đi, co lại,... Sự thay đổi hình dạng có thể đo bằng cách chọn một số phần của vật và đo vị trí  $x$  của nó. Cụ thể, hãy tưởng tượng một cái lò xo có một đầu gắn vào tường. Khi không có lực tác dụng, đầu không cố định của lò xo ở một số vị trí  $x_0$  nào đó. Nếu một lực tác dụng tại đầu không cố định, thì vị trí của nó sẽ thay đổi đến một số giá trị mới của  $x$ . Lực càng lớn thì độ lệch của  $x$  khỏi  $x_0$  càng lớn.

Trở lại thời của Newton, những thí nghiệm như thế này được xem là nghiên cứu mũi nhọn, và người đương thời của ông, Hooke, được nhớ đến ngày nay vì đã thực hiện điều đó và đi đến một sự khái quát hóa toán học đơn giản gọi là định luật Hooke:

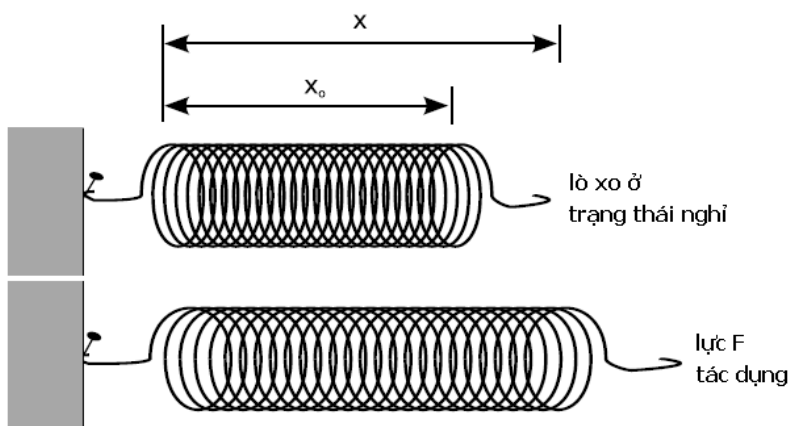
$$F \approx k(x - x_0) \quad [\text{lực cần thiết để kéo căng một lò xo; chỉ có giá trị đối với những lực nhỏ}]$$

Ở đây  $k$  là một hằng số, gọi là hằng số lò xo, nó phụ thuộc vào mức độ cứng của vật. Nếu đặt vào lực quá lớn, thì lò xo biểu hiện hành vi phức tạp hơn, nên phương trình chỉ là một sự gần đúng tốt nếu như lực đủ nhỏ. Thường khi lực quá lớn thì định luật Hooke là một sự gần đúng tồi, lực sẽ đi đến làm cong đi vĩnh viễn hoặc làm hỏng lò xo.

Mặc dù định luật Hooke trông có vẻ như một mẫu chuyện vật vĩnh về các lò xo, nhưng thật ra nó quan trọng hơn nhiều, vì tất cả các vật rắn đều áp dụng hành vi của định luật Hooke

trong một chừng mực nào đó của những lực đủ nhỏ. Ví dụ, nếu bạn đẩy xuống mũi xe hơi, nó sẽ nhún xuống một chút tỉ lệ thuận với lực. (Nhưng hành vi của chiếc xe hơi sẽ không đơn giản về mặt toán học nếu như bạn thả rơi một tảng đá xuống mũi xe!)

☺ A. Một chiếc xe nổi với trục của nó qua những lò xo lớn, cũng gọi là bộ hấp thụ sốc, hay “phuộc”. Mặc dù chúng ta trình bày định luật Hooke ở trên chỉ trong trường hợp kéo căng một cái lò xo, nhưng bộ chống sốc của xe hơi liên tục đi qua trạng thái kéo căng ra và nén lại. Trong tình huống, bạn giải thích các dấu cộng và trừ trong định luật Hooke như thế nào ?



q/ Xác định các đại lượng  $F$ ,  $x$  và  $x_0$  trong định luật Hooke

## 5.6 Máy cơ đơn giản: Ròng rọc

Ngay cả những cỗ máy phức tạp nhất, như xe hơi hay cây đàn piano, đều được chế tạo từ những đơn vị cơ bản nhất định gọi là *máy cơ đơn giản*. Sau đây là một số chức năng chủ yếu của các máy cơ đơn giản:

truyền lực: Dây xích trên xe đạp truyền lực từ trục quay bàn đạp đến bánh xe sau.

thay đổi hướng của lực: Nếu bạn đẩy một đầu tấm ván bập bênh xuống, thì đầu kia đi lên.

thay đổi tốc độ và độ chính xác của chuyển động: Khi bạn thực hiện chuyển động vẩy tay “đến đây”, bấp tay của bạn chỉ chuyển động một vài centi mét nơi nó gắn vào căng tay bạn, nhưng cánh tay của bạn chuyển động xa hơn nhiều và nhanh hơn nhiều.

thay đổi lượng lực: Một cái đòn bẩy hay ròng rọc có thể dùng để làm thay đổi lượng lực.

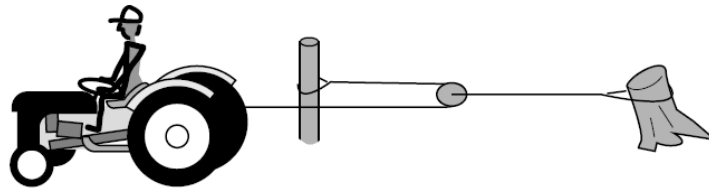
Giờ thì chúng ta đã sẵn sàng tìm hiểu các máy cơ đơn giản một chiều, trong đó ròng rọc là thí dụ chính.

Ví dụ 6. Cái ròng rọc

Chàng nông dân Bill nói kiểu sắp xếp ròng rọc này làm tăng gấp đôi lực của chiếc máy kéo của anh ta. Có phải anh ta là một anh chàng nhà quê ít học, hay anh ta biết anh ta đang làm gì ?

✎ Để sử dụng định luật I Newton, chúng ta phải lấy một vật và xem tổng các lực đặt lên nó. Vì mục tiêu của chúng ta là liên hệ lực căng trong phần của dây cáp gắn với gốc cây với lực căng trong phần gắn với chiếc máy kéo, nên chúng ta phải chọn một vật mà cả hai phần dây cáp đều gắn vào, tức bản thân cái ròng rọc. Như trình bày trong mục 5.4, lực căng trong sợi dây hay dây cáp vẫn xấp xỉ không đổi khi nó đi vòng

qua cái ròng rọc, biết rằng có không quá nhiều ma sát. Do đó, có hai lực hướng sang bên trái tác dụng lên cái ròng rọc, mỗi lực bằng với lực tác dụng bởi chiếc máy kéo. Vì gia tốc của cái ròng rọc về cơ bản là bằng không, nên các lực đặt lên nó phải triệt tiêu nhau, vậy lực hướng sang bên phải của dây cáp nối ròng rọc-gốc cây phải gấp đôi lực tác dụng bởi cái máy kéo. Vâng, chàng nông dân Bill biết anh ta đang nói về cái gì.



r/ Ví dụ 6

## Tóm tắt chương 5

### Từ khóa chọn lọc

đẩy .....	mô tả một lực có xu hướng đẩy hai vật tham gia ra xa nhau
hút .....	mô tả một lực có xu hướng kéo hai vật tham gia lại gần nhau
xiên .....	mô tả một lực tác dụng ở một số góc khác, một lực không đẩy hoặc hút trực tiếp
lực pháp tuyến .....	lực giữ cho hai vật không chiếm cùng một khoảng không gian
ma sát tĩnh .....	lực ma sát giữa các bề mặt không trượt qua nhau
ma sát động .....	lực ma sát giữa các bề mặt đang trượt qua nhau
chất lưu .....	chất khí hoặc chất lỏng
ma sát nhớt .....	ma sát trong trường hợp ít nhất có một vật là chất lưu
hằng số lò xo .....	hằng số tỉ lệ giữa lực và độ dãn của một cái lò xo hoặc một vật khác dưới sức kéo

### Kí hiệu

$F_N$ .....	lực pháp tuyến
$F_s$ .....	lực ma sát tĩnh
$F_k$ .....	lực ma sát động
$\mu_s$ .....	hệ số ma sát tĩnh; hằng số tỉ lệ giữa lực ma sát tĩnh cực đại và lực pháp tuyến; phụ thuộc vào loại bề mặt có liên quan
$\mu_k$ .....	hệ số ma sát động; hằng số tỉ lệ giữa lực ma sát động và lực pháp tuyến; phụ thuộc vào loại bề

	mặt có liên quan
k .....	hằng số lò xo; hằng số tỉ lệ giữa lực tác dụng lên một vật và độ dãn hay độ nén của vật dưới tác dụng của lực đó

## Tóm tắt

Định luật III Newton phát biểu rằng các lực xuất hiện thành cặp bằng nhau và ngược chiều. Nếu vật A tác dụng một lực lên vật B, thì vật B đồng thời phải tác dụng một lực bằng và ngược chiều lên vật A. Mỗi thí dụ của định luật III Newton phải liên quan đến đúng hai vật, và đúng hai lực, chúng cùng loại với nhau.

Có hai hệ phân loại lực. Chúng ta hiện sử dụng hệ phân loại thực tế hơn nhưng kém cơ bản hơn. Trong hệ này, các lực được phân loại xem chúng là hút, đẩy hay xiên; xem chúng là lực tiếp xúc hay không tiếp xúc; và xem hai vật có liên quan là vật rắn hay lỏng.

Ma sát tĩnh tự điều chỉnh để phù hợp với lực cố gắng làm cho các bề mặt trượt qua nhau, cho đến khi đạt tới giá trị cực đại,

$$|F_s| < \mu_s |F_N|$$

Một khi lực này bị vượt quá, thì các bề mặt trượt qua nhau, và lực ma sát động tác dụng,

$$|F_k| = \mu_k |F_N|$$

Cả hai loại lực ma sát đều gần như độc lập với diện tích bề mặt, và lực ma sát động thường gần đúng độc lập với tốc độ các bề mặt đang trượt qua nhau.

Một bước hay đầu tiên trong việc áp dụng các định luật Newton về chuyển động cho bất kỳ tình huống vật lý nào là lấy một vật thấy thích, và rồi liệt kê tất cả các lực tác dụng lên vật đó. Chúng ta phân loại từng lực bởi loại của nó, và tìm phản lực định luật III Newton của nó, nó được tác dụng bởi một vật này lên một số vật khác.

Khi hai vật nối với nhau bằng một vật thứ ba khối lượng thấp, lực của chúng được truyền đến vật kia hầu như không đổi

Các vật chịu sức căng luôn tuân theo định luật Hooke đến một độ gần đúng tốt, chừng nào lực đó là nhỏ. Định luật Hooke phát biểu rằng độ dãn ra hay co lại của vật tỉ lệ với lực tác dụng lên nó,

$$F \approx k(x - x_0)$$

## Bài tập

1. Một người phụ nữ già nhỏ con và một cầu thủ bóng đá chuyên nghiệp va chạm nhau trực diện. So sánh lực của họ tác dụng lên nhau, và so sánh gia tốc của họ. Giải thích.

2. Trái đất bị một vật hút với một lực bằng và ngược chiều với lực do Trái đất đặt lên vật. Nếu điều này đúng, thì tại sao khi bạn thả rơi một vật, Trái đất không có gia tốc bằng và ngược chiều với gia tốc của vật ?



3. Khi bạn đứng vững, có hai lực tác dụng lên bạn, lực hấp dẫn (trọng lượng của bạn) và lực pháp tuyến của mặt đất đẩy chân bạn lên. Hai lực này có bằng nhau và ngược chiều nhau không? Định luật III Newton có liên hệ chúng với nhau không? Giải thích.

*Trong các bài tập 4 – 8, hãy phân tích lực sử dụng bảng định dạng cho trong mục 5.3. Hãy phân tích các lực trong đó vật in nghiêng tham gia vào.*

4. Một nam chèo đò bên dưới một chiếc xe hơi đậu trong bãi.

5. Phân tích hai thí dụ về vật nằm nghỉ tương đối so với Trái đất được giữ cho khỏi rơi bởi những lực khác ngoài lực pháp tuyến ra. Không sử dụng các vật trong không gian vũ trụ, và không lặp lại bài toán 4 hoặc 8.

6. Một người đang chèo thuyền, lấy chân làm trụ chống. Cô ta đang làm cho một phần của sải chèo đẩy con thuyền tới, với đầu của mái chèo nằm trong nước (không phải phần mái chèo nằm bên ngoài nước).

7. Một người nông dân ở trong chuồng gia súc với một con bò khi con bò quyết định đẩy anh ta vào tường, hất anh ta cùng với chân anh ta lên khỏi mặt đất. Hãy phân tích các lực trong đó người nông dân tham gia.

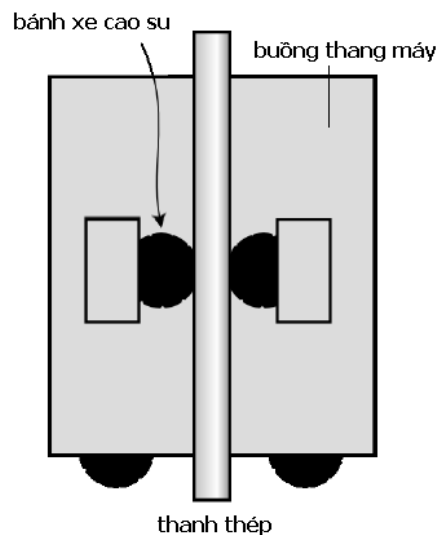
8. Một máy bay cánh quạt đang bay về phía đông ở tốc độ và độ cao không đổi.

9. Các tòa nhà cao nhất ngày nay thật ra không cao hơn nhiều lắm so với các tòa nhà cao nhất của thập niên 1940. Một vấn đề lớn đối với việc xây dựng những tòa nhà chọc trời ngày càng cao hơn là mỗi thang máy cần có tầng hầm riêng của nó chạy suốt toàn bộ chiều cao của tòa nhà. Vì quá nhiều thang máy phải phục vụ hàng nghìn cư dân của tòa nhà cho nên hầm thang máy bắt đầu chiếm quá nhiều không gian trong tòa nhà. Một chọn lựa là có thang máy có thể di chuyển cả theo chiều ngang và chiều đứng: với thiết kế như thế, nhiều buồng thang máy có thể chia sẻ vài ba tầng hầm, và chúng không đi vào đường của nhau quá nhiều vì chúng có thể đi vòng xung quanh nhau. Trong thiết kế này, điều trở nên không thể là treo các buồng thang máy từ dây cáp, nên thay vì vậy chúng phải chạy trên các đường ray mà chúng chộp lên với các bánh xe. Ma sát sẽ giữ chúng khỏi bị trượt. Hình bên biểu diễn một thang máy ma sát trong mode đi thẳng đứng của nó (Các bánh xe ở dưới đáy dùng khi nó cần chuyển sang chuyển động ngang)

(a) Nếu hệ số ma sát tĩnh giữa cao su và thép là  $\mu_s$ , và khối lượng tối đa của buồng thang máy cộng với hành khách của nó là  $M$ , hỏi có bao nhiêu lực phải ép lên từng bánh xe trên đường ray để giữ cho buồng thang máy khỏi trượt? (Giả sử buồng thang máy không đang gia tốc)



Bài toán 6



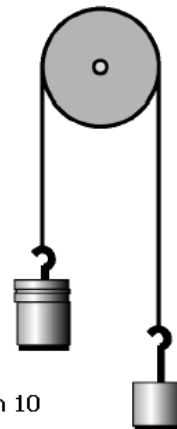
Bài toán 9

(b) Chứng tỏ rằng kết quả của bạn có cách hành xử hợp lí về mặt vật lí đối với  $\mu_s$ . Nói cách khác, nếu như có ít ma sát hơn, thì các bánh xe bị ép chặt hơn hay kém chặt hơn? Phương trình của bạn có xử sự theo cách đó?

10. Các khối lượng không bằng nhau  $M$  và  $m$  treo lơ lửng trên một cái ròng rọc như biểu diễn trong hình.

(a) Hãy phân tích các lực trong đó khối lượng  $m$  tham gia, sử dụng bảng định dạng cho trong mục 5.3. [Các lực trong đó khối lượng  $m$  tham gia tất nhiên sẽ tương tự, nhưng không bằng nhau về mặt số học]

(b) Tìm độ lớn gia tốc của hai vật [Gợi ý: (1) Chọn một hệ tọa độ, và sử dụng dấu dương và âm phù hợp để chỉ hướng của lực và gia tốc. (2) Hai gia tốc của hai khối lượng phải bằng nhau về độ lớn nhưng ngược dấu nhau, vì một bên đi lên trên sợi dây ở tốc độ bằng với phía bên kia kéo sợi dây xuống. (3) Bạn phải áp dụng định luật II Newton hai lần, mỗi lần cho một khối lượng, và rồi giải hai phương trình cho các biến: gia tốc  $a$  và lực căng dây  $T$ ]



Bài toán 10

(c) Nhiều người mong rằng trong trường hợp đặc biệt  $M = m$ , thì hai khối lượng tự nhiên sẽ thiết đặt vị trí cân bằng ở ngang nhau. Dựa trên câu trả lời của bạn ở phần b thì điều này có đúng không?

(d) Tìm lực căng dây  $T$ .

(e) Giải thích phương trình của bạn thu được trong câu d trong trường hợp đặc biệt khi một khối lượng bằng không. Ở đây “giải thích” có nghĩa là chỉ ra điều gì sẽ xảy ra về mặt toán học, chỉ ra cái xảy ra về mặt vật lí, và liên hệ hai cái với nhau.

11. Một tàu kéo khối lượng  $m$  kéo một con tàu khối lượng  $M$ , làm gia tốc nó. Tốc độ đủ thấp nên bạn có thể bỏ qua lực ma sát nhớt tác dụng lên vỏ của chúng, mặc dù tất nhiên sẽ cần có lực ma sát nhớt tác dụng lên chân vịt của tàu kéo.

(a) Phân tích các lực trong đó tàu kéo tham gia, sử dụng bảng định dạng cho trong phần 5.3. Đừng lo ngại về các lực thẳng đứng.

(b) Thực hiện yêu cầu tương tự đối với con tàu.

(c) Bây giờ giả sử lực ma sát của nước đặt lên vỏ của hai con tàu là không đáng kể. Nếu như lực tác dụng lên chân vịt của tàu kéo là  $F$ , thì lực căng dây  $T$  trong dây cáp nối giữa hai con tàu bằng bao nhiêu? [Gợi ý: Viết hai phương trình định luật II Newton áp dụng cho từng vật. Giải hai phương trình này cho hai biến  $T$  và  $a$ ]

(d) Giải thích câu trả lời của bạn trong những trường hợp đặc biệt  $M = 0$  và  $M = \infty$ .

12. Giải thích tại sao không có ý nghĩa nếu như lực ma sát động lớn hơn lực ma sát tĩnh.

13. Trong hệ biểu diễn trên hình, các ròng rọc ở bên trái và bên phải là cố định, nhưng ròng rọc ở giữa có thể chuyển động sang trái hoặc sang phải. Hai vật nặng giống hệt nhau.

Chúng tỏ rằng vật nặng ở bên trái có gia tốc hướng lên bằng  $g/5$ . Giả sử các dây và ròng rọc có khối lượng không đáng kể và không có ma sát.

14. Trên hình biểu diễn hai cách khác nhau kết hợp một cặp lò xo giống hệt nhau, mỗi lò xo có hằng số lò xo  $k$ . Chúng ta gọi cấu hình ở trên là sắp xếp song song, còn cấu hình ở dưới là sắp xếp nối tiếp.

(a) Đối với cách sắp xếp song song, hãy phân tích các lực tác dụng lên miếng nối ở phía bên trái, và sau đó sử dụng phân tích này để xác định hằng số lò xo tương đương của toàn bộ cấu hình. Giải thích xem hằng số lò xo kết hợp sẽ thể hiện là cứng hơn hay kém cứng hơn.

(b) Đối với cách sắp xếp nối tiếp, hãy phân tích các lực tác dụng lên từng lò xo và suy luận những điều tương tự.

15. Hãy khái quát hóa bài toán 14 cho trường hợp trong đó hai hằng số lò xo không bằng nhau.

16. (a) Sử dụng lời giải của bài toán 14, hãy đoán xem hằng số lò xo của một sợi tơ sẽ phụ thuộc vào chiều dài và tiết diện ngang của nó như thế nào.

(b) Hằng số tỉ lệ đó được gọi là suất Young,  $E$ , và giá trị tiêu biểu của suất Young là vào khoảng  $10^{10}$  đến  $10^{11}$ . Hỏi suất Young có đơn vị gì trong hệ SI (m-k-g-s) ?

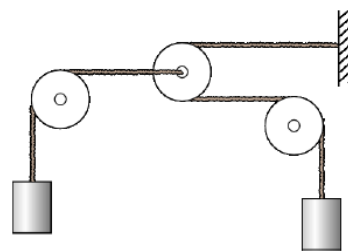
17. Bài toán này dựa trên kết quả của bài 14 và 16. Khi các nguyên tử hình thành nên các liên kết hóa học, cần phải hiểu nói về hằng số lò xo của các liên kết là số đo “độ cứng” của nó. Tất nhiên, thật ra không có các lò xo nhỏ - đây chỉ là một mô hình cơ giới. Mục đích của bài toán này là ước lượng hằng số lò xo,  $k$ , cho một liên kết đơn trong một mẫu chất rắn tiêu biểu. Giả sử chúng ta có một sợi tơ, giống như sợi tóc hay một mẫu lưới đánh cá, và tưởng tượng cho đơn giản là nó cấu tạo từ các nguyên tử thuộc một nguyên tố sắp xếp theo kiểu hình lập phương, như biểu diễn trong hình, với khoảng cách tâm-nối-tâm là  $b$ . Giá trị điển hình cho  $b$  vào khoảng  $10^{-10}$  m.

(a) Tìm phương trình cho  $k$  theo  $b$ , và theo suất Young,  $E$ , định nghĩa trong bài 16 và đáp số của nó.

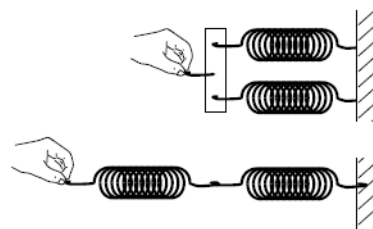
(b) Ước lượng  $k$  bằng dữ liệu số cho trong bài 16.

(c) Giả sử bạn có thể tóm một trong các nguyên tử trong một phân tử hai nguyên tử như  $H_2$  hay  $O_2$ , và để cho nguyên tử kia treo thẳng đứng bên dưới nó. Hỏi liên kết hóa học có căng ra bất kì lượng nào có thể thấy rõ do lực hấp dẫn không ?

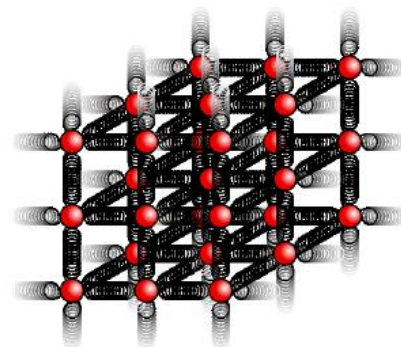
18. Trong từng trường hợp, hãy nhận dạng lực gây ra gia tốc, và cho biết phản lực theo định luật III Newton của nó. Mô tả tác dụng của phản lực.



Bài toán 13



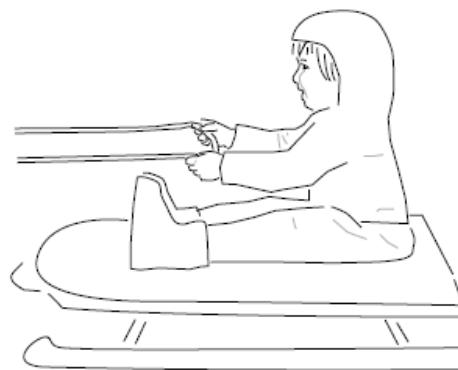
Bài toán 14



Bài toán 17

- (a) Một người bơi lội tăng tốc độ lên.
- (b) Một người chơi gôn đập quả bóng ra khỏi chỗ phát bóng.
- (c) Một xạ thủ bắn ra một mũi tên.
- (d) Một đầu máy xe lửa chạy chậm dần.

19. Ginny có một kế hoạch. Cô bé sắp lái xe trượt tuyết của mình trong khi con chó Foo của cô bé kéo cô bé đi. Tuy nhiên, Ginny không biết về vật lí, nên có một vấn đề phát sinh: cô bé có thể trượt ra khỏi xe khi con Foo bắt đầu kéo.



(a) Phân tích tất cả các lực Ginny tham gia, lập thành một bảng như trong mục 5.3.

(b) Phân tích tất cả các lực xe trượt tuyết tham gia.

(c) Xe trượt có khối lượng  $m$ , và Ginny có khối lượng  $M$ . Hệ số ma sát tĩnh giữa xe và tuyết là  $\mu_1$ , và  $\mu_2$  là đại lượng tương ứng cho lực ma sát trượt giữa xe và cái quần trượt tuyết của cô bé. Ginny phải có một khối lượng tối thiểu nhất định sao cho cô bé không trượt khỏi xe. Hãy tìm khối lượng này theo ba đại lượng kia.

(d) Giải thích phương trình của bạn từ phần c, dưới những điều kiện nào thì sẽ có lời giải phi thực tế vật lí cho  $M$ ? Hãy trình bày xem điều này có ý nghĩa vật lí gì.

20. Ví dụ 2 ở trang 118 nói về một người đẩy một cái thùng lên đồi. Câu trả lời không chính xác mô tả ba lực. Đối với từng lực trong số ba lực này, hãy cho biết lực liên hệ với định luật III Newton, và trình bày loại lực đó.

21. Ví dụ 6 ở trang 132 mô tả một cấu hình lực đôi liên quan đến một cái ròng rọc. Hãy đưa ra một cách sắp xếp phức tạp hơn, sử dụng nhiều hơn một ròng rọc, để nhân lực lên một hệ số lớn hơn 2.

22. Lấy một vật nặng như một ba lô đeo vai hay một cái ghế, và đứng lên một cái cân buồng tắm. Lắc vật lên xuống. Bạn quan sát thấy gì? Giải thích quan sát của bạn theo định luật III Newton.

23. Một cảnh sát nghiên cứu hiện trường một vụ tai nạn đo chiều dài  $L$  của vết trượt xe hơi để tìm tốc độ  $v$  của nó vào lúc bắt đầu trượt. Hãy biểu diễn  $v$  theo  $L$  và những đại lượng khác có liên quan.

24. Lí giải sau đây dẫn đến một nghịch lí rõ ràng; hãy giải thích xem lô gic sai ở chỗ nào. Một vận động viên bóng chày đập vào quả bóng. Quả bóng và cây gậy trải qua một phần của giây tiếp xúc nhau. Trong thời gian đó, chúng chuyển động cùng với nhau, nên gia tốc của chúng phải bằng nhau. Định luật III Newton nói rằng lực của chúng đặt lên nhau cũng bằng nhau. Nhưng  $a = F/m$ , vậy làm thế nào điều này xảy ra, vì khối lượng của chúng không bằng nhau? (Lưu ý là nghịch lí không được giải quyết bằng cách xét lực của tay của vận động viên đặt lên

cây gậy. Không những lực này rất nhỏ so với lực quả bóng-cây gậy, mà vận động viên còn có thể ném cây gậy vào quả bóng)

25. Đang lái xe xuống một ngọn đồi nghiêng một góc  $\theta$  so với đường nằm ngang, bạn rập mạnh lên phanh để giữ cho khỏi đụng trúng con nai.

(a) Hãy phân tích các lực (Bỏ qua lực cản chuyển động lăn và ma sát của không khí)

(b) Tìm gia tốc tối đa có thể có của xe,  $a$ , (biểu diễn là một số dương) theo  $g$ ,  $\theta$ , và hệ số ma sát tương ứng.

(c) Giải thích về mặt vật lý tại sao khối lượng của xe không ảnh hưởng tới kết quả của bạn.

(d) Trình bày cách hành xử toán học và giải thích về mặt vật lý kết quả của bạn cho các giá trị âm của  $\theta$ .

(e) Thực hiện yêu cầu tương tự cho các giá trị dương rất lớn của  $\theta$ .

26. (a) So sánh khối lượng của một chai nước 1 lít trên Trái đất, trên Mặt trăng và trong không gian vũ trụ.

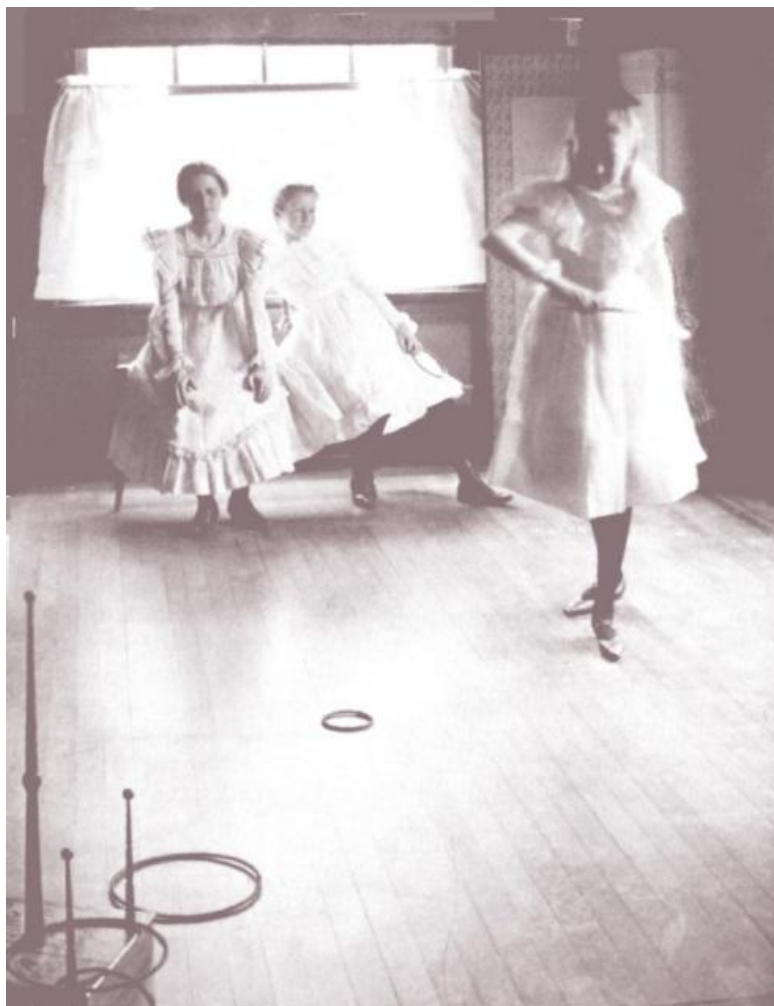
(b) Thực hiện yêu cầu tương tự đối với trọng lượng của nó.

27. Một người trượt băng tăng dần đến một tốc độ nhất định, và rồi cái áo khoác bị động quét qua băng theo một đường thẳng. (a) Hãy phân tích các lực. (b) Nếu vận tốc ban đầu của anh ta là  $v$ , và hệ số ma sát động là  $\mu_k$ , hãy tìm vận tốc tối đa trên lý thuyết mà anh ta có thể trượt đi trước khi dừng lại. Bỏ qua sức cản không khí. (c) Chứng tỏ rằng câu trả lời của bạn cho phần b có đơn vị đúng. (d) Định giá câu trả lời của bạn bằng số, cho  $\mu_k = 0,0046$ , và tốc độ kỉ lục thế giới là 14,58 m/s. (Hệ số ma sát do De Koning đo được, sử dụng giày trượt băng đặc biệt mang bởi những người trượt băng chuyên nghiệp) (d) Bình luận xem câu trả lời của bạn cho phần d có thực tế không. Nếu nó không thực tế, hãy đề xuất nguyên nhân lý giải vì sao.



## **Phần II**

# **Chuyển động trong không gian ba chiều**



## Chương 6

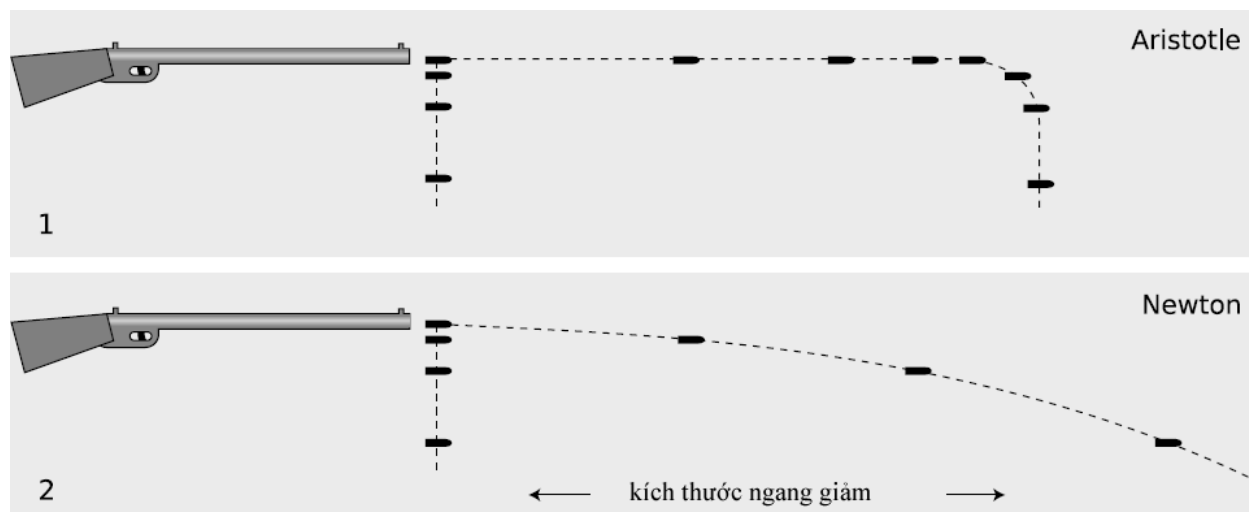
### Các định luật Newton trong không gian ba chiều

#### 6.1 Các lực có tác dụng không vuông góc

Giả sử bạn có thể bắn một khẩu súng trường và sắp xếp cho một viên đạn thứ hai thả rơi từ cùng độ cao vào đúng thời khắc viên đạn thứ nhất rời khỏi nòng súng. Hỏi viên đạn nào chạm xuống đất trước ? Hầu như mọi người sẽ trông đợi viên đạn thả rơi sẽ chạm tới đất trước, và Aristotle đồng ý như vậy. Aristotle sẽ mô tả nó giống như sau. Viên đạn bắn ra nhận một số chuyển động cưỡng bức từ khẩu súng. Nó đi về phía trước trong một phần của giây, nhanh chóng đi chậm dần vì không còn lực nào làm cho nó tiếp tục chuyển động. Một khi điều này xảy ra với chuyển động cưỡng bức của nó, nó thay đổi chuyển động tự nhiên, tức là rơi thẳng đứng xuống. Trong khi viên đạn bắn ra đang đi chậm dần, thì viên đạn thả rơi đã đi vào giai đoạn rơi, cho nên theo Aristotle nó sẽ chạm tới đất trước.

May thay, tự nhiên không phức tạp như Aristotle nghĩ! Để thuyết phục chính bạn rằng Aristotle sai và phức tạp không cần thiết, bây giờ hãy đứng dậy và thử làm thí nghiệm sau đây. Hãy lấy chìa khóa ra khỏi túi của bạn, và bắt đầu đi nhanh về phía trước. Không cần đi nhanh lên

hay chậm lại, hãy thả chìa khóa ra và để cho chúng rơi trong khi bạn tiếp tục đi tới ở nhịp độ như cũ.



a/ Một viên đạn được bắn ra khỏi khẩu súng, và một viên đạn khác thả rơi đồng thời từ cùng độ cao. 1. Nền vật lí Aristotle nói rằng chuyển động ngang của viên đạn bắn ra làm trễ sự bắt đầu rơi, cho nên viên đạn thả rơi chạm tới đất trước. 2. Nền vật lí Newton nói hai viên đạn có vận tốc theo phương đứng như nhau, cho dù chuyển động ngang của chúng khác nhau.

Bạn nhận thấy rằng chìa khóa của bạn chạm tới đất ngay sau chân của bạn. Chuyển động ngang của chúng không hề chậm lại chút nào, và toàn bộ thời gian chúng rơi cũng vậy, nên chúng rơi ngay phía sau bạn. Chuyển động ngang và chuyển động thẳng đứng xảy ra đồng thời, và chúng độc lập với nhau. Thí nghiệm của bạn chứng tỏ rằng chuyển động ngang không bị ảnh hưởng bởi chuyển động thẳng đứng, nhưng nó cũng đúng rằng chuyển động thẳng đứng không thay đổi chút nào bởi chuyển động ngang. Chùm chìa khóa cần lượng thời gian đúng bằng như cũ để rơi xuống đất như chúng sẽ rơi nếu bạn đơn giản thả chúng ra, và điều tương tự đúng đối với các viên đạn: cả hai viên đạn chạm đất đồng thời.

Đây là những thí dụ đầu tiên của chúng ta về chuyển động trong không gian nhiều hơn một chiều, và chúng minh họa cho ý tưởng mới quan trọng nhất cần thiết để tìm hiểu sự khái quát hóa ba chiều của nền vật lí Newton:

### Các lực có tác dụng không vuông góc

Khi một lực tác dụng lên một vật, nó không có tác dụng lên phần chuyển động của vật vuông góc với lực.

Trong thí dụ ở trên, lực hấp dẫn thẳng đứng không có tác dụng lên chuyển động ngang của vật. Đây là các thí dụ về chuyển động đạn pháo, thứ hấp dẫn những người như Galileo vì ứng dụng quân sự của nó. Tuy nhiên, nguyên lí thì phức tạp hơn như thế. Chẳng hạn, nếu một quả bóng lăn tròn ban đầu tiến thẳng vào tường, nhưng một con gió đều đều bắt đầu thổi từ phía bên sang, thì quả bóng không mất nhiều thời gian hơn để đi tới tường. Trong trường hợp chuyển động đạn pháo, lực có liên quan là lực hấp dẫn, nên chúng ta có thể nói cụ thể hơn rằng gia tốc thẳng đứng là  $9,8 \text{ m/s}^2$ , bất kể chuyển động ngang.

☺ Trong thí dụ quả bóng bị gió thổi ngang, tại sao quả bóng không mất nhiều thời gian hơn để đi tới đó, vì nó phải đi một quãng đường xa hơn mà ?

## Quan hệ với chuyển động tương đối

Những khái niệm này liên hệ trực tiếp với quan niệm chuyển động là tương đối. Những người phản đối Galileo tranh luận rằng Trái đất không thể nào đang quay như ông khẳng định, vì khi đó nếu như bạn nhảy thẳng lên trong không khí thì bạn sẽ không thể nào rơi trở xuống đúng vị trí cũ. Lập luận của họ dựa trên giả thiết Aristotle không chính xác của họ rằng một khi lực hấp dẫn bắt đầu tác dụng lên bạn và kéo bạn xuống thì chuyển động ngang sẽ dừng lại. Theo lý thuyết Newton chính xác, lực hấp dẫn hướng xuống của Trái đất tác dụng trước, trong và sau khi bạn nhảy, nhưng không có tác dụng lên chuyển động của bạn theo hướng vuông góc (chuyển động ngang).

Nếu Aristotle đúng, chúng ta sẽ có một cách tiện lợi để xác định chuyển động tuyệt đối và đứng yên tuyệt đối: nhảy lên trong không khí, và nếu như bạn tiếp đất đúng nơi bạn bắt đầu nhảy, thì mặt đất mà bạn nhảy lên phải ở trạng thái đứng yên. Trong thực tế, phép kiểm tra này mang lại kết quả giống nhau chừng nào mặt đất dưới chân bạn là một hệ quy chiếu quán tính. Nếu bạn thử làm điều này trên một máy bay phản lực, bạn sẽ rơi xuống sàn đúng nơi bạn nhảy lên, cho dù là máy bay đang bay ở 500 dặm trên giờ hay là đã đỗ trên đường băng. Trong thực tế, phương pháp đó chỉ tốt cho việc phát hiện chiếc máy bay có đang gia tốc hay không.

☺ A. Sau đây là một giải thích không đúng về thực tế bắn bia.

“Bắn một khẩu súng trường hạng nặng với vận tốc đạn lớn thì khác với việc bắn một khẩu súng hạng nhẹ. Với khẩu súng hạng nhẹ, bạn phải nhắm lên phía trên mục tiêu của bạn một chút, nhưng với khẩu súng hạng nặng hơn, bạn không phải nhắm quá cao vì viên đạn không rơi nhanh như thế”.

Đây là lời giải thích chính xác ?



B. Bạn ném một hòn đá, và nó đang bay trong không khí theo một đường vòng cung. Nếu lực hấp dẫn của Trái đất luôn luôn hướng thẳng đứng xuống, thì tại sao nó không đi thẳng xuống một khi đã rời khỏi tay bạn ?

C. Xét ví dụ viên đạn được thả rơi ngay đúng lúc một viên đạn khác được bắn ra khỏi một khẩu súng. Chuyển động của hai viên đạn sẽ trông như thế nào đối với một người phi công máy bay đang bay kề bên theo cùng hướng như viên đạn bắn ra và ở cùng tốc độ ngang ?

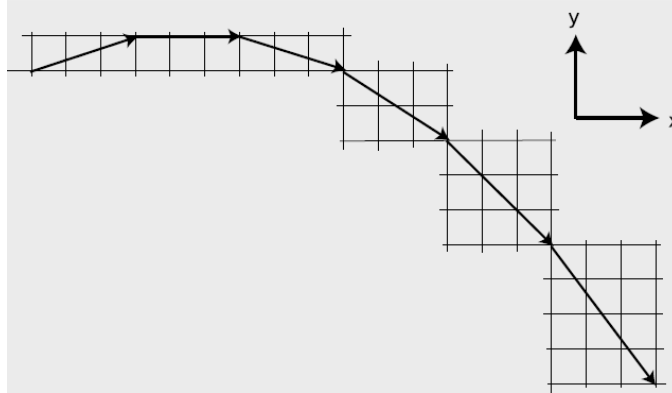
## 6.2 Hệ tọa độ và các thành phần

*Nguyên nhân của tất cả*

*Liều lĩnh như tình yêu*

*Hãy hỏi trực tọa độ*

*Jimi Hendrik*



b/ Vật này chịu một lực hút nó xuống phía dưới của trang giấy. Trong từng khoảng thời gian bằng nhau, nó đi được ba đơn vị sang bên phải. Ở những thời gian này, chuyển động thẳng đứng của nó vạch nên hình mẫu đơn giản  $+1, 0, -1, -2, -3, -4, \dots$  đơn vị. Chuyển động của nó có thể mô tả bằng một tọa độ  $x$  có gia tốc zero và một tọa độ  $y$  với gia tốc không đổi. Các mũi tên đánh dấu  $x$  và  $y$  có tác dụng giải thích chúng ta xác định trục  $x$  tăng dần sang bên phải và trục  $y$  tăng dần hướng lên trên.

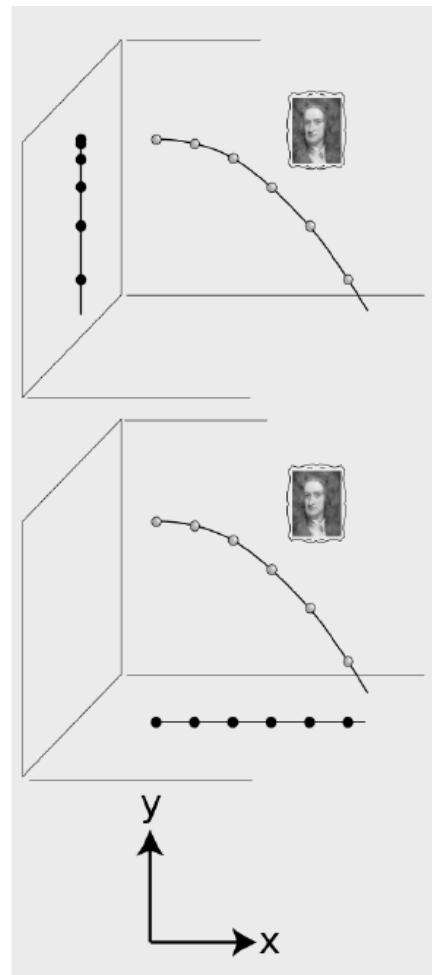
Làm thế nào chúng ta chuyển những ý tưởng này thành toán học? Hình b trình bày một cách tốt liên hệ ý tưởng trực giác với những con số. Trong không gian một chiều, chúng ta sử dụng một con số ứng với một tọa độ  $x$  trên một chiều trải rộng không gian nhất định. Trong không gian hai chiều, chúng ta tưởng tượng một mạng lưới ô vuông mà chúng ta đánh dấu với các giá trị  $x$  và  $y$ , như biểu diễn trong hình b.

Nhưng, tất nhiên, chuyển động không thật sự xảy ra theo chuỗi bước nhảy riêng biệt như trong cờ tướng hay cờ đam. Hình bên chỉ ra một cách khái niệm hóa sự biến đổi trơn của các tọa độ  $x$  và  $y$ . Bóng của quả bóng trên tường chuyển động theo một đường thẳng, và chúng ta mô tả vị trí của nó với một tọa độ độc lập,  $y$ , độ cao của nó so với sàn nhà. Bóng trên tường có gia tốc không đổi bằng  $-9,8 \text{ m/s}^2$ . Một cái bóng trên sàn nhà, tạo ra bởi một nguồn sáng thứ hai, cũng chuyển động theo một đường thẳng, và chúng ta mô tả chuyển động của nó với một tọa độ  $x$ , đo tính từ tường ra.

Vận tốc của bóng trên sàn nhà được quy cho là thành phần  $x$  của vận tốc, viết là  $v_x$ . Tương tự, chúng ta có thể kí hiệu ga tốc của bóng trên sàn nhà là  $a_x$ . Vì  $v_x$  không đổi, nên  $a_x$  bằng không.

Tương tự, vận tốc của bóng trên tường được gọi là  $v_y$ , gia tốc của nó là  $a_y$ . Thí dụ này có  $a_y = -9,8 \text{ m/s}^2$ .

Vì lực hấp dẫn của Trái đất đặt lên quả bóng tác dụng theo trục  $y$ , nên chúng ta nói lực này có



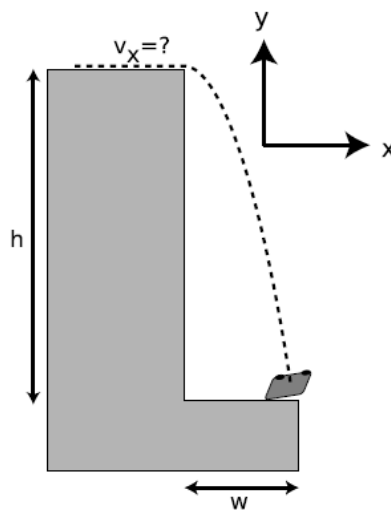
c/ Cái bóng ở trên tường cho thấy chuyển động  $y$  của quả bóng, cái bóng trên sàn nhà là chuyển động  $x$  của nó.



thành phần  $y$ ,  $F_y$ , âm, nhưng  $F_x = F_z = 0$ .

Ý tưởng chung là chúng ta tưởng tượng hai nhà quan sát, mỗi người nhận thức toàn bộ vũ trụ như thể nó được kéo phẳng xuống một đường thẳng. Nhà quan sát  $y$ , chẳng hạn, nhận được  $y$ ,  $v_y$ , và  $a_y$ , và sẽ suy ra có một lực,  $F_y$ , hướng xuống dưới tác dụng lên quả bóng. Nghĩa là, thành phần  $y$  có nghĩa là phương diện của một hiện tượng vật lý, như vận tốc, gia tốc, hay lực, có thể quan sát được đối với ai đó chỉ có thể nhìn thấy chuyển động dọc theo trục  $y$ .

Toàn bộ điều này có thể dễ dàng khái quát hóa sang không gian ba chiều. Trong thí dụ ở trên, có thể có một nhà quan sát  $z$  chỉ nhìn thấy chuyển động hướng về hoặc ra xa bức tường phía sau của căn phòng.



d/ Ví dụ 1

*Ví dụ 1. Chiếc xe hơi rơi xuống vách đá*

Cảnh sát tìm thấy một chiếc xe hơi ở khoảng cách  $w = 20$  m tính từ gốc một vách đá cao  $h = 100$  m. Hỏi chiếc xe chuyển động bao nhanh khi nó rơi xuống vực ? Giải bài toán bằng kí hiệu trước, sau đó thay số vào.

✎ Chọn trục  $y$  hướng lên trên và trục  $x$  hướng ra xa vách đá. Chuyển động thẳng đứng của chiếc xe là độc lập với chuyển động ngang của nó, nên chúng ta biết nó có một gia tốc thẳng đứng không đổi  $a = -g = -9,8$  m/s<sup>2</sup>. Thời gian nó đi trong không khí do đó liên hệ với khoảng cách thẳng đứng mà nó rơi theo phương trình gia tốc không đổi

$$\Delta y = \frac{1}{2} a_y \Delta t^2$$

hay

$$-h = \frac{1}{2} (-g) \Delta t^2$$

Giải phương trình cho  $\Delta t$ , ta được

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Vì lực thẳng đứng không có tác dụng lên chuyển động ngang của chiếc xe, nên nó có  $a_x = 0$ , tức là vận tốc ngang không đổi. Chúng ta có thể áp dụng phương trình vận tốc không đổi

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

tức là

$$v_x = \frac{w}{\Delta t}$$

Bây giờ, thay  $\Delta t$ , ta được

$$v_x = w / \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

đơn giản hóa là

$$v_x = w \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

Thay số vào, ta tìm được tốc độ của chiếc xe khi nó rơi xuống vực là 4 m/s, hay khoảng 10 dặm/giờ.

## Viên đạn chuyển động theo đường parabol

Một viên đạn chuyển động trong không gian đi theo loại đường cong toán học nào? Để trả lời, chúng ta phải liên hệ  $x$  với  $y$ , loại trừ  $t$ . Cách lí giải rất giống với cách sử dụng trong ví dụ trên. Tùy ý chọn  $x = y = t = 0$  tại đỉnh của đường cong, chúng ta dễ dàng có  $x = \Delta x$ ,  $y = \Delta y$  và  $t = \Delta t$ , nên

$$y = \frac{1}{2} a_y t^2 \quad (a_y < 0)$$

$$x = v_x t$$

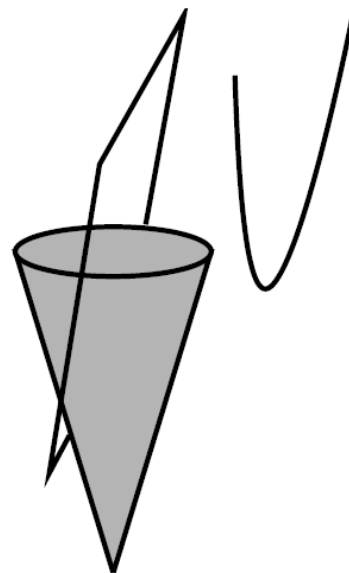
Chúng ta giải phương trình thứ hai cho  $t = x / v_x$  và loại trừ  $t$  trong phương trình thứ nhất:

$$y = \frac{1}{2} a_y \left( \frac{x}{v_x} \right)^2$$

Vì mọi thứ trong phương trình này là hằng số ngoại trừ  $x$  và  $y$ , nên chúng ta kết luận  $y$  tỉ lệ với bình phương của  $x$ . Cho dù bạn có nhớ hay không kiến thức toán đã học, thì  $y \propto x^2$  mô tả một parabol.

© A. Ở đầu phần này, tôi đã biểu diễn chuyển động của một viên đạn trên giấy vẽ đồ thị, chia chuyển động của nó thành những khoảng thời gian bằng nhau. Giả sử không có lực nào tác dụng lên vật cả. Nó tuân theo định luật I Newton và tiếp tục mà không thay đổi trạng thái chuyển động của nó. Hỏi đồ thị tương ứng trên giấy vẽ sẽ trông như thế nào? Nếu khoảng thời gian biểu diễn bởi từng mũi tên là 1 giây, thì bạn sẽ liên hệ đồ thị trên giấy vẽ với các thành phần vận tốc  $v_x$  và  $v_y$  như thế nào?

B. Hãy thiết lập vài hệ tọa độ khác nhau hướng theo những kiểu khác nhau, và mô tả  $a_x$  và  $a_y$  của vật rơi trong từng hệ tọa độ đó.



e/ Parabol có thể định nghĩa là hình dạng thu được bằng cách cắt một hình nón song song với cạnh của nó. Parabol còn là đồ thị của phương trình dạng  $y \propto x^2$ .



f/ Mỗi giọt nước rơi theo một parabol. Parabol của giọt nước nhanh hơn thì lớn hơn.

## 6.3 Các định luật Newton trong không gian ba chiều

Bây giờ, khá dễ dàng mở rộng các định luật Newton sang không gian ba chiều:

### Định luật I Newton

Nếu cả ba thành phần của hợp lực tác dụng lên một vật bằng không, thì nó sẽ tiếp tục trạng thái chuyển động như cũ.

### Định luật II Newton

Các thành phần của gia tốc của một vật được tiên đoán bởi các phương trình

$$\begin{aligned}a_x &= F_{x,h}/m, \\a_y &= F_{y,h}/m, \text{ và} \\a_z &= F_{z,h}/m.\end{aligned}$$

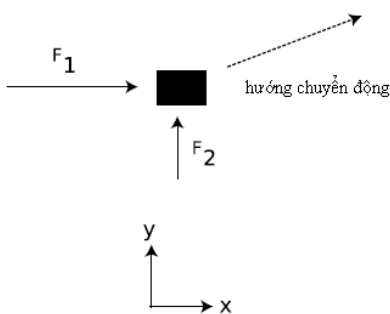
### Định luật III Newton

Nếu hai vật A và B tương tác thông qua các lực, thì các thành phần lực của chúng đặt lên nhau là bằng nhau và ngược chiều nhau

$$\begin{aligned}F_{A \text{ tác dụng lên } B, x} &= -F_{B \text{ tác dụng lên } A, x}, \\F_{A \text{ tác dụng lên } B, y} &= -F_{B \text{ tác dụng lên } A, y}, \text{ và} \\F_{A \text{ tác dụng lên } B, z} &= -F_{B \text{ tác dụng lên } A, z}.\end{aligned}$$

Ví dụ 2. Các lực vuông góc nhau tác dụng lên cùng một vật

Một vật ban đầu đứng yên. Hai lực không đổi bắt đầu tác dụng lên nó, và tiếp tục tác dụng lên nó trong một khoảng thời gian. Như hai mũi tên biểu diễn, hai lực vuông góc nhau và lực hướng sang phải mạnh hơn. Hiện tượng gì xảy ra ?



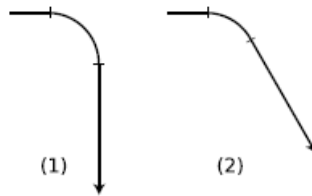
g/ Ví dụ 2

✎ Aristotle tin rằng, như nhiều học sinh vẫn làm thế, chỉ có một lực “ra lệnh” cho vật tại một thời điểm. Vì thế, họ nghĩ vật sẽ bắt đầu tăng tốc và chuyển động theo hướng của lực lớn hơn. Thật ra, vật sẽ chuyển động theo hướng chéo. Trong ví dụ biểu diễn trên hình, vật sẽ phản ứng với lực lớn hướng sang phải với một thành phần gia tốc lớn hướng sang phải, và lực nhỏ hướng lên trên sẽ gây ra một thành phần gia tốc nhỏ hướng lên trên. Lực lớn hơn không lấn át lực nhỏ hơn, hay là không có tác dụng nào lên chuyển động thẳng đứng cả. Các thành phần lực dễ dàng cộng lại với nhau

$$F_{x,hl} = F_{1,x} + F_{2,x}$$

$$F_{y,hl} = F_{1,y} + F_{2,y}$$

© A. Hình vẽ biểu diễn hai quỹ đạo, thực hiện bằng cách ghép các đường thẳng và cung tròn lại với nhau, chúng không có thực đối với một vật chỉ chịu tác dụng của lực hấp dẫn. Chứng minh rằng chúng không thể xây dựng trên các định luật Newton.



## Tóm tắt chương 6

### Từ khóa chọn lọc

thành phần .....	phần của vận tốc, gia tốc hay lực có thể nhận biết thấy đối với nhà quan sát, người chỉ có thể nhìn thấy vũ trụ chiếu dọc theo một trục một chiều nhất định
parabol .....	đường cong toán học có đồ thị y tỉ lệ với $x^2$

### Kí hiệu

$x, y, z$ .....	vị trí của vật theo các trục $x, y, z$
$v_x, v_y, v_z$ .....	thành phần $x, y$ và $z$ của vận tốc của một vật; tốc độ thay đổi tọa độ $x, y$ , và $z$ của vật
$a_x, a_y, a_z$ .....	thành phần $x, y$ và $z$ của gia tốc của một vật; tốc độ biến thiên $v_x, v_y$ , và $v_z$

### Tóm tắt

Lực không gây ra bất kì tác dụng lên chuyển động của một vật theo hướng vuông góc. Áp dụng quan trọng nhất của nguyên lý này là chuyển động ngang của một quả đạn pháo có gia tốc bằng không, còn chuyển động thẳng đứng có gia tốc bằng  $g$ . Nghĩa là chuyển động ngang và chuyển động thẳng đứng của một vật là độc lập với nhau. Quỹ đạo của quả đạn pháo là một parabol.

Chuyển động trong không gian ba chiều được đo bằng ba tọa độ,  $x, y$  và  $z$ . Mỗi tọa độ này có vận tốc và gia tốc riêng tương ứng của nó. Chúng ta nói vận tốc và gia tốc đều có các thành phần  $x, y$  và  $z$ .

Định luật II Newton dễ dàng mở rộng sang không gian ba chiều bằng cách viết lại nó dưới dạng ba phương trình tiên đoán ba thành phần của gia tốc

$$a_x = F_{x,hl} / m,$$

$$a_y = F_{y,hl} / m,$$

$$a_z = F_{z,hl} / m.$$

và tương tự như vậy đối với định luật I và định luật III.

## Bài tập

1. (a) Một quả cầu được ném thẳng lên với vận tốc  $v$ . Tìm phương trình cho độ cao mà nó lên tới.

(b) Khái quát hóa phương trình của bạn cho một quả bóng được ném ở góc  $\theta$  so với đường nằm ngang, trong trường hợp đó thành phần vận tốc ban đầu của nó  $v_x = v \cos \theta$  và  $v_y = v \sin \theta$ .

2. Tại Festival Salinas Lettuce, Miss Lettuce năm 1996 thả bó hoa của cô ta trong khi đang đi trên cỗ xe ngựa chuyển động sang bên phải. Hãy so sánh hình dạng quỹ đạo của nó như cô ta nhìn thấy và hình dạng mà một người hâm mộ cô ta đứng trên hè đường nhìn thấy.

3. Hai kẻ bạo gan, Wendy và Bill, vượt thác Niagara. Wendy ngồi trong một cái ống, và để cho vận tốc 30 km/h của dòng sông ném cô ta ra theo phương ngang phía trên thác. Bill thì chèo một con thuyền kayak, cộng thêm vận tốc 10 km/h nữa vào vận tốc của anh ta. Họ lướt qua rìa thác đồng thời với nhau, sát bên nhau. Bỏ qua ma sát không khí. Hãy giải thích lập luận của bạn.

(a) Ai chạm tới đáy thác trước ?

(b) Thành phần ngang của vận tốc của Wendy lúc chạm nước bằng bao nhiêu ?

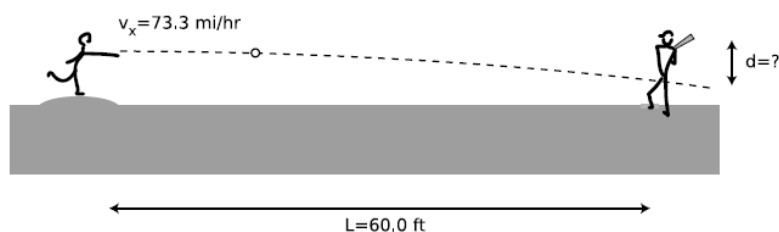
(c) Thành phần ngang của vận tốc của Bill lúc chạm nước bằng bao nhiêu ?

(d) Ai đang chuyển động nhanh hơn lúc chạm nước ?

4. Một cầu thủ bóng chày ném bóng ra ở vận tốc  $v_x = 73,3$  dặm/giờ. Anh ta ném theo phương ngang. Hỏi quãng đường rơi  $d$  mà quả bóng đi được tính từ lúc ném tới khi nó chạm tới đích cách đó khoảng cách  $L = 60,0$  ft bằng bao nhiêu ?

(a) Trước hết hãy tìm đáp án tượng trưng theo  $L$ ,  $v_x$  và  $g$ .

(b) Thay số vào và tìm đáp án bằng số. Biểu diễn đáp án của bạn theo đơn vị ft. [Lưu ý: 1ft = 12 inch, 1 dặm = 5280 ft, và 1 inch = 2,54 cm]





5. Một khẩu đại bác đang nằm trên một cánh đồng bằng phẳng bắn ra một quả đạn với vận tốc ra khỏi nòng là  $v$ , ở góc  $\theta$  phía trên đường nằm ngang. Như vậy, quả đạn ban đầu có thành phần  $v_x = v \cos \theta$  và  $v_y = v \sin \theta$ .

(a) Chứng tỏ rằng tầm bay của quả đạn (khoảng cách theo phương ngang tính đến nơi quả đạn rơi) được cho bởi phương trình  $R = (2v^2/g) \sin \theta \cos \theta$ .

(b) Giải thích câu trả lời của bạn khi  $\theta = 0$  và  $\theta = 90^\circ$ .

6. Giả sử kết quả của bài 5 là tầm xa của một quả đạn pháo,  $R = (2v^2/g) \sin \theta \cos \theta$ , hãy chứng tỏ rằng tầm bay xa là lớn nhất khi  $\theta = 45^\circ$ .

7. Hai chiếc xe hơi cùng chạy qua chỗ gồ lên trên đường. Chiếc Maserati của Maria chạy ở 25 dặm/giờ và chiếc Porsche của Park chạy ở 37 dặm/giờ. Hỏi gia tốc theo phương thẳng đứng của chiếc Porsche lớn hơn bao nhiêu lần? Gợi ý: Nhắc lại rằng gia tốc phụ thuộc cả vào vận tốc thay đổi bao nhiêu và bao nhiêu thời gian cần cho sự thay đổi đó.



a/ Vector được sử dụng trong đạo hàng

## Chương 7

### Vector

#### 7.1 Kí hiệu vector

Ý tưởng về các thành phần đã giải phóng chúng ta khỏi bị ràng buộc của nền vật lí không gian một chiều, nhưng kí hiệu thành phần có thể khó sử dụng, vì mỗi phương trình một chiều phải được viết là hệ ba phương trình độc lập trong trường hợp ba chiều. Newton đã sa lầy với kí hiệu thành phần mãi cho đến khi ông qua đời, nhưng cuối cùng thì một số người đã đủ lười biếng và khéo léo nêu ra được một cách rút ngắn ba phương trình thành một.

(a)	$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$	kí hiệu cho	$F_{AB,x} = -F_{BA,x}$ $F_{AB,y} = -F_{BA,y}$ $F_{AB,z} = -F_{BA,z}$
(b)	$\vec{F}_{hl} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$	kí hiệu cho	$F_{hl,x} = F_{1,x} + F_{2,x} + \dots$ $F_{hl,y} = F_{1,y} + F_{2,y} + \dots$ $F_{hl,z} = F_{1,z} + F_{2,z} + \dots$
(c)	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	kí hiệu cho	$a_x = \Delta v_x / \Delta t$ $a_y = \Delta v_y / \Delta t$ $a_z = \Delta v_z / \Delta t$

Ví dụ (a) cho thấy hai cách viết định luật III Newton. Bạn thích viết theo cách nào hơn ?

Ý tưởng là mỗi kí hiệu đại số với mũi tên viết ở trên đầu, gọi là một vector, thật ra là một rút gọn cho ba số khác nhau, các thành phần  $x$ ,  $y$  và  $z$ . Ba thành phần được nhắc tới là các thành phần của vector, ví dụ  $F_x$  là thành phần  $x$  của  $\vec{F}$ . Kí hiệu với mũi tên trên đầu thật tiện cho các phương trình viết tay, nhưng không hấp dẫn ở sách in, nên sách vở thường sử dụng kí hiệu in đậm,  $\mathbf{F}$ , để biểu diễn vector. Từ đây về sau chúng ta sẽ sử dụng kí hiệu in đậm cho vector trong toàn bộ cuốn sách này.

Nói chung, kí hiệu vector thật có ích cho bất kì đại lượng nào có cả một lượng và một hướng trong không gian. Ngay cả khi bạn không sẵn sàng viết bất kì vector thật sự nào, thì bản thân khái niệm đã là một thứ có ích. Chúng ta nói lực và vận tốc, chẳng hạn, là vector. Một đại lượng không có hướng trong không gian, như khối lượng hay thời gian, được gọi là vô hướng. Lượng của một đại lượng vector được gọi là độ lớn của nó. Kí hiệu cho độ lớn của vector  $\mathbf{A}$  là  $|\mathbf{A}|$ , giống như kí hiệu giá trị tuyệt đối dùng với các vô hướng.

Thường thì như trong thí dụ (b), chúng ta muốn sử dụng kí hiệu vector để biểu diễn phép cộng tất cả thành phần  $x$  để thu được thành phần  $x$  tổng hợp, vân vân. Dấu cộng được sử dụng giữa hai vector để chỉ loại tính cộng thành phần theo thành phần này. Tất nhiên, các vector thật ra là những bộ ba con số, chứ không phải những con số, cho nên dấu cộng ở đây không giống như công dụng của dấu cộng đối với những con số riêng rẽ. Nhưng vì chúng ta không muốn nghĩ ra thêm những từ hay kí hiệu mới cho toán tử này trên các vector, nên chúng ta sử dụng luôn dấu cộng cũ và các từ có liên quan đến phép cộng cũ như “cộng”, “tổng” và “tổng cộng”. Kết hợp vector theo kiểu này gọi là phép cộng vector

Tương tự, dấu trừ trong thí dụ (a) được sử dụng để chỉ từng đối của ba thành phần một của vector. Dấu bằng thường có nghĩa là cả ba thành phần của vector ở vế trái của phương trình bằng với những thành phần tương ứng ở vế phải.

Thí dụ (c) cho thấy chúng ta sử dụng kí hiệu chia như thế nào theo một kiểu tương tự. Khi chúng ta viết vector  $\Delta v$  chia cho vô hướng  $\Delta t$ , chúng ta muốn nói rằng vector mới hình thành bằng cách chia từng thành phần của vận tốc cho  $\Delta t$ .

Thật không khó khăn gì việc nghĩ ra các toán tử kết hợp vector với vector, hay vector với vô hướng, nhưng chỉ bốn trong số chúng là cần thiết để biểu diễn các định luật Newton:

toán tử	định nghĩa
<b>vector + vector</b>	cộng thành phần với thành phần để tạo ra một bộ ba số mới
<b>vector – vector</b>	trừ thành phần với thành phần để tạo ra một bộ ba số mới
<b>vector.vô hướng</b>	nhân mỗi thành phần của vector với vô hướng
<b>vector/vô hướng</b>	chia mỗi thành phần của vector cho vô hướng

Một thí dụ toán tử không có ích trong vật lí, đúng là không có áp dụng vật lí nào hữu ích đối với việc chia một vector cho một vector khác thành phần theo thành phần. Trong mục tự

chọn 7.5, chúng ta sẽ nói chi tiết hơn về những nguyên nhân vì sao một số toán tử vector thì có ích, còn những toán tử khác thì không có ích.

Chúng ta tính toán đại số với các vector, hay với hỗn hợp vector và vô hướng trong cùng một phương trình. Cơ bản thì mọi quy luật bình thường của đại số đều áp dụng được, nhưng nếu bạn không chắc chắn là một bước nhất định có đúng hay không, bạn dễ dàng chuyển nó thành ba phương trình gốc thành phần và xem nó có hoạt động không.

*Ví dụ 1. Thứ tự cộng*

Nếu chúng ta cộng hai vector lực,  $\mathbf{F} + \mathbf{G}$ , thì có đúng là như trong đại số học bình thường  $\mathbf{F} + \mathbf{G}$  bằng với  $\mathbf{G} + \mathbf{F}$  ?

☞ Để trả lời quy luật đại số này có áp dụng được cho các vector hay không, chúng ta đơn giản chuyển kí hiệu vector sang kí hiệu đại số bình thường. Dưới dạng những con số bình thường, các thành phần của vector  $\mathbf{F} + \mathbf{G}$  sẽ là  $F_x + G_x$ ,  $F_y + G_y$ , và  $F_z + G_z$ , chúng nhất định bằng với ba con số  $G_x + F_x$ ,  $G_y + F_y$ , và  $G_z + F_z$ . Vâng,  $\mathbf{F} + \mathbf{G}$  thì bằng với  $\mathbf{G} + \mathbf{F}$ .

Thật hữu ích là định nghĩa một kí hiệu  $r$  cho vector có các thành phần là  $x$ ,  $y$  và  $z$ , và một kí hiệu  $\Delta r$  gồm  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  và  $\Delta z$ .

Mặc dù việc này trông như có phần rắc rối, nhưng hãy nhớ rằng nó chẳng gì hơn là một cách rút gọn các phương trình! Đồng thời, để giữ cho mọi thứ không quá khó hiểu, phần còn lại của chương này chủ yếu nói về vector  $\Delta r$ , nó tương đối dễ hình dung.

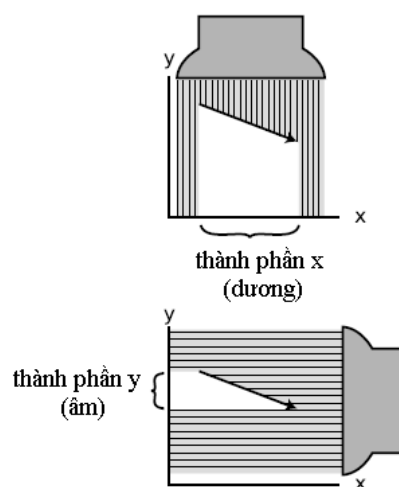
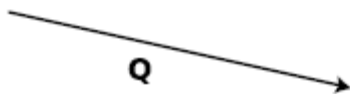
☺ Hãy chuyển các phương trình  $v_x = \Delta x / \Delta t$ ,  $v_y = \Delta y / \Delta t$  và  $v_z = \Delta z / \Delta t$  đối với có vận tốc không đổi thành một phương trình theo kí hiệu vector.

## Biểu diễn vector bằng các mũi tên

Một vector trong không gian hai chiều có thể hình dung dễ dàng bằng cách vẽ một vector có độ dài biểu diễn độ lớn của nó và có hướng biểu diễn hướng của nó. Thành phần  $x$  của một vector khi đó có thể hình dung là độ dài của cái bóng mà nó tạo ra trong chùm ánh sáng chiếu lên trục  $x$ , và tương tự đối với thành phần  $y$ . Những cái bóng có đầu mũi tên chỉ ngược lại hướng của trục dương tương ứng với các thành phần âm.

Theo kiểu biểu đồ này, đối của một vector là vector có cùng độ lớn nhưng hướng ngược lại. Phép nhân một vector với một vô hướng được biểu diễn bằng cách kéo dài mũi tên lên thêm bao nhiêu đó lần, và tương tự đối với phép chia.

☺ Cho vector  $\mathbf{Q}$  biểu diễn bằng mũi tên bên dưới, hãy vẽ các mũi tên biểu diễn các vector  $1,5\mathbf{Q}$  và  $-\mathbf{Q}$ .



b/ Các thành phần  $x$  và  $y$  của một vector có thể xem là bóng của nó chiếu lên các trục  $x$  và  $y$ .

☺ A. Việc định nghĩa một vector không có ý nghĩa hay không ? Hãy nói về các thành phần của vector không, độ lớn và hướng sẽ bằng bao nhiêu; có vướng mắc gì ở đây hay không ? Nếu bạn muốn bác bỏ một thứ như thế là một vector, thì hãy cân nhắc xem hệ thống vector đó có hoàn chỉnh không. Để so sánh, bạn có thể nghĩ tới một bài toán số học đơn giản với những con số bình thường trong đó bạn cần đến số không là kết quả. Cách lí giải tương tự cho áp dụng được cho các vector hay không ?

B. Bạn lái xe tới nhà bạn mình. Hỏi độ lớn của vector  $\Delta \mathbf{r}$  của bạn so sánh như thế nào với khoảng cách bạn đã cộng vào máy đo đường trên xe ?

## 7.2 Các phép tính với độ lớn và hướng

Nếu bạn hỏi ai đó Las Vegas cách Los Angeles bao xa, họ ít khi nào nói  $\Delta x$  là 290 km và  $\Delta y$  là 230 km, trong một hệ tọa độ trong đó trục  $x$  dương là hướng đông và trục  $y$  là hướng bắc. Thay vì vậy, họ sẽ có thể nói nó là 370 km theo hướng đông bắc. Nếu muốn chính xác, họ có thể chỉ rõ hướng đó là  $38^\circ$  theo chiều ngược chiều kim đồng hồ tính từ hướng đông. Trong không gian hai chiều, chúng ta có thể luôn luôn chỉ rõ hướng của một vector theo kiểu như thế này, sử dụng một góc thôi. Độ lớn cùng với góc đủ để chỉ rõ mọi thứ về vector. Hai ví dụ sau đây cho thấy cách chúng ta sử dụng lượng giác và định lí Pythagore để chuyển đổi qua lại giữa mô tả  $x$ - $y$  và mô tả độ lớn-góc của các vector.

*Ví dụ 2. Tìm độ lớn và góc từ các thành phần*

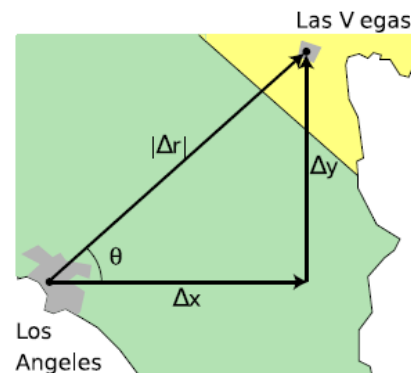
Cho biết vector  $\Delta \mathbf{r}$  từ Los Angeles tới Las Vegas có  $\Delta x = 290$  km và  $\Delta y = 230$  km, hỏi làm thế nào chúng ta tìm được độ lớn và hướng của  $\Delta \mathbf{r}$  ?

☞ Chúng ta tìm độ lớn của  $\Delta \mathbf{r}$  từ định lí Pythagore:

$$|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \\ = 370 \text{ km}$$

Chúng ta biết cả ba cạnh của tam giác, nên góc  $\theta$  có thể tìm bằng bất kì hàm lượng giác ngược nào. Ví dụ, chúng ta biết cạnh đối và cạnh kề nên

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\Delta y}{\Delta x} \\ = 38^\circ$$



c/ Ví dụ 2

*Ví dụ 3. Tìm các thành phần từ độ lớn và góc*

Cho biết khoảng cách theo đường thẳng từ Los Angeles tới Las Vegas là 370 km, và góc  $\theta$  trong hình là  $38^\circ$ , hỏi làm thế nào tìm được các thành phần  $x$  và  $y$  của vector  $\Delta \mathbf{r}$  ?

☞ sin và cos của  $\theta$  liên hệ thông tin cho biết với thông tin chúng ta muốn tìm:

$$\cos \theta = \frac{\Delta x}{|\Delta \mathbf{r}|} \\ \sin \theta = \frac{\Delta y}{|\Delta \mathbf{r}|}$$

Giải với các biến cho ta

$$\Delta x = |\Delta \mathbf{r}| \cos \theta \\ = 290 \text{ km} \\ \Delta y = |\Delta \mathbf{r}| \sin \theta \\ = 230 \text{ km}$$



Ví dụ sau đây cho thấy cách làm việc đúng với các dấu cộng và trừ, chúng thường là nguyên nhân chính dẫn tới sai sót.

*Ví dụ 4. Các thành phần âm*

San Diego nằm 120 km về hướng đông và 150 km về hướng nam của Los Angeles. Một phi công máy bay đang trong hành trình từ San Diego đến Los Angeles. Hỏi cô ta phải hướng hành trình của mình ở góc nào, đo ngược chiều kim đồng hồ tính từ hướng đông, như biểu diễn trong hình ?

✂ Nếu chúng ta chọn hệ tọa độ theo kiểu truyền thống, với  $x$  hướng sang phải và  $y$  hướng lên trên bản đồ, thì  $\Delta x$  của cô ta là âm, vì giá trị  $x$  cuối cùng của cô ta nhỏ hơn giá trị  $x$  ban đầu của cô ta.  $\Delta y$  của cô ta là dương, nên chúng ta có

$$\Delta x = -120 \text{ km}$$

$$\Delta y = 150 \text{ km}$$

Nếu chúng ta giải tương tự như ví dụ trước, chúng ta thu được

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1} \frac{\Delta y}{\Delta x} \\ &= \tan^{-1}(-1.25) \\ &= -51^\circ\end{aligned}$$

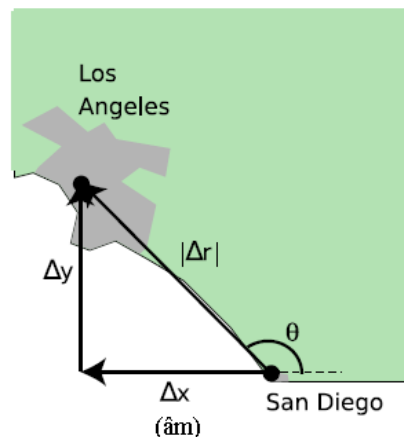
Theo cách bình thường định nghĩa góc trong lượng giác học, một kết quả âm có nghĩa là nằm theo chiều kim đồng hồ tính từ trục  $x$ , hướng đó là Baja California. Vậy thì cái gì đã sai ? Câu trả lời là khi bạn yêu cầu người làm toán của mình lấy arctan của một số, luôn luôn có hai giá trị có nghĩa lệch nhau  $180^\circ$ . Nghĩa là có hai góc khả dĩ có tan bằng  $-1,25$ :

$$\tan 129^\circ = -1,25$$

$$\tan -51^\circ = -1,25$$

Người làm toán của bạn không biết giá trị nào đúng nên chỉ lấy một giá trị. Trong trường hợp này, giá trị được lấy là giá trị sai, và bạn phải cộng thêm  $180^\circ$  vào nó để có câu trả lời đúng.

☺ A. Trong ví dụ trên, chúng ta làm việc với các thành phần âm. Hỏi có ý nghĩa gì không nếu người ta nói về các vector dương và âm ?



d/ Ví dụ 4

## 7.3 Phương pháp cộng vector

### Cộng các vector biết trước thành phần của chúng

Loại cộng vector dễ dàng nhất là khi bạn có sẵn các thành phần, và muốn tìm các thành phần của tổng của chúng.

*Ví dụ 5. Cộng các thành phần*

Cho các giá trị  $\Delta x$  và  $\Delta y$  từ những ví dụ trên, hãy tìm  $\Delta x$  và  $\Delta y$  từ San Diego tới Las Vegas.

$$\begin{aligned}\Delta x_{\text{tổng}} &= \Delta x_1 + \Delta x_2 \\ &= -120 \text{ km} + 290 \text{ km} \\ &= 170 \text{ km} \\ \Delta y_{\text{tổng}} &= \Delta y_1 + \Delta y_2 \\ &= 150 \text{ km} + 230 \text{ km} \\ &= 380\end{aligned}$$

Lưu ý cách thức dấu của thành phần  $x$  chỉ chuyển động về phía tây và về phía đông, chúng triệt tiêu nhau một phần.

## Cộng các vector biết trước độ lớn và hướng của chúng

Trong trường hợp này, trước hết bạn phải chuyển độ lớn và hướng thành các thành phần, và rồi cộng các thành phần.

## Cộng vector theo phương pháp hình học

Thường thì cách dễ nhất để cộng vector là vẽ hình chia tỉ lệ trên giấy. Phương pháp này gọi là cộng hình học, trái với kỹ thuật phân tích đã trình bày ở phần trước

*Ví dụ 6. Từ Los Angeles tới Vegas, theo phương pháp hình học*

Cho biết độ lớn và góc của các vector  $\Delta r$  từ San Diego tới Los Angeles và từ Los Angeles tới Las Vegas, hãy tìm độ lớn và góc của vector  $\Delta r$  từ San Diego tới Las Vegas.

✎ Sử dụng một thước đo góc và một thước kẻ, chúng ta thực hiện một hình vẽ chia tỉ lệ cẩn thận, như biểu diễn trong hình. Tỉ lệ  $1 \text{ cm} \rightarrow 100 \text{ km}$  được chọn cho bài giải này. Với một cái thước kẻ, chúng ta đo khoảng cách từ San Diego đến Las Vegas là 3,8 cm, ứng với 380 km. Với thước đo góc, chúng ta đo được góc  $\theta$  là  $71^\circ$ .

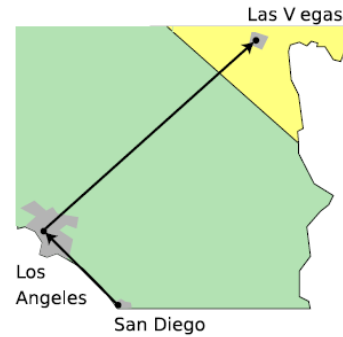
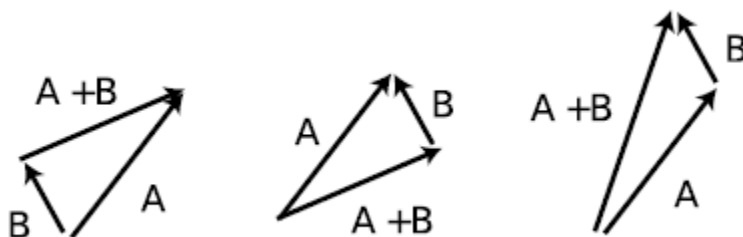
Cho dù là chúng ta không có ý định thực hiện một phép tính hình học thật sự với một cái thước kẻ và thước đo góc, thì việc cộng vector theo cách vẽ biểu đồ này thật tiện lợi. Với các vector  $\Delta r$ , điều có ý nghĩa trực giác là đặt các vector đầu nối đuôi nhau và vẽ vector tổng từ gốc của vector thứ nhất đến ngọn của vector thứ hai. Chúng ta có thể làm tương tự khi cộng các vector khác như vector lực.

☺ Bạn sẽ trừ các vector theo phương pháp hình học như thế nào ?

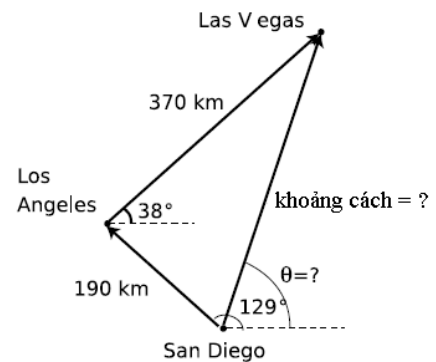
☺ A. Nếu bạn đang cộng hình học các vector, thì có quan trọng việc bạn bắt đầu với vector nào và vector nào bạn bắt đầu từ ngọn của vector khác hay không ?

B. Nếu bạn cộng một vector có độ lớn 1 với một vector có độ lớn 2, thì độ lớn có thể đối với vector tổng là bao nhiêu ?

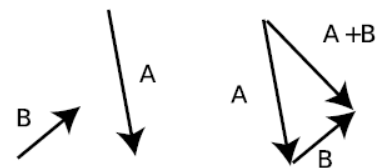
C. Ví dụ cộng vector nào dưới đây là đúng, ví dụ nào sai ?



e/ Ví dụ 5



f/ Ví dụ 6



g/ Các vector có thể cộng theo kiểu hình học bằng cách đặt chúng đầu nối đuôi nhau và rồi vẽ một vector từ gốc của vector thứ nhất đến ngọn của vector thứ hai.

## 7.4 Kí hiệu vector đơn vị

Khi chúng ta muốn chỉ rõ một vector bằng các thành phần của nó, điều có thể gây vướng mắc là phải viết kí hiệu đại số cho từng thành phần:

$$\Delta x = 290 \text{ km}, \Delta y = 230 \text{ km}$$

Một cách kí hiệu gọn gàng hơn là viết

$$\Delta \mathbf{r} = (290 \text{ km}) \hat{x} + (230 \text{ km}) \hat{y}$$

Trong đó các vector  $\hat{x}$ ,  $\hat{y}$  và  $\hat{z}$ , gọi là các vector đơn vị, được định nghĩa là vector có độ lớn bằng 1 và hướng dọc theo các trục  $x$ ,  $y$  và  $z$ . Khi đọc, chúng được đọc là “x-mũ” và vân vân.

Một kiểu hơi khác, khó nhớ hơn, của kí hiệu này thật không may lại thông dụng hơn. Theo kiểu này, các vector đơn vị được gọi là  $\hat{i}$ ,  $\hat{j}$  và  $\hat{k}$ :

$$\Delta \mathbf{r} = (290 \text{ km}) \hat{i} + (230 \text{ km}) \hat{j}$$

## 7.5 Bất biến quay

Chúng ta hãy nhìn hơn một chút tại sao những toán tử vector nhất định thì có ích và những toán tử khác thì không. Xét toán tử nhân hai vector thành phần theo thành phần để tạo ra một vector thứ ba:

$$R_x = P_x Q_x$$

$$R_y = P_y Q_y$$

$$R_z = P_z Q_z$$

Lấy một thí dụ đơn giản, chúng ta chọn các vector  $\mathbf{P}$  và  $\mathbf{Q}$  có độ dài 1, và cho chúng vuông góc với nhau, như biểu diễn trên hình h/1. Nếu chúng ta tính kết quả của toán tử vector mới của chúng ta bằng hệ tọa độ trong hình h/2, chúng ta tìm được:

$$R_x = 0$$

$$R_y = 0$$

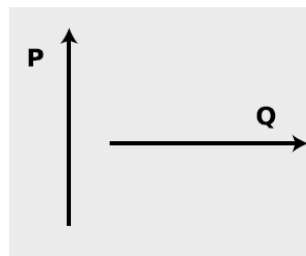
$$R_z = 0$$

Thành phần  $x$  bằng 0 vì  $P_x = 0$ , thành phần  $y$  bằng 0 vì  $Q_y = 0$ , và thành phần  $z$  tất nhiên bằng 0 vì cả hai vector đều nằm trong mặt phẳng  $x$ - $y$ . Tuy nhiên, nếu chúng ta thực hiện cũng những toán tử đó trong hệ tọa độ h/3, quay  $45^\circ$  so với hệ tọa độ trước, thì chúng ta tìm được

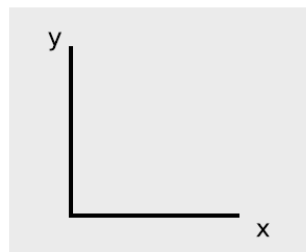
$$R_x = 1/2$$

$$R_y = -1/2$$

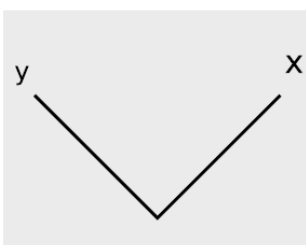
$$R_z = 0$$



1



2



3

h/ Nhân thành phần theo thành phần của các vector trong 1 sẽ tạo ra các vector khác nhau trong hệ tọa độ 2 và 3.

Kết quả của toán tử phụ thuộc vào hệ tọa độ mà chúng ta sử dụng, và vì hai kiểu của **R** có độ dài khác nhau (một bằng không và một khác không), nên chúng không đưa ra câu trả lời giống nhau trong hai tọa độ khác nhau. Một toán tử như vậy sẽ không bao giờ có ích trong vật lý, vì các thí nghiệm cho thấy nền vật lý hoạt động như nhau bất kể hướng chúng ta xoay chuyển cấu trúc phòng thí nghiệm! Các toán tử vector có ích, như phép cộng và nhân vô hướng, là bất biến quay, tức là cho kết quả như nhau bất kể sự định hướng của hệ tọa độ.

## Tóm tắt chương 7

### Từ khóa chọn lọc

vector .....	một đại lượng có cả lượng (độ lớn) và hướng trong không gian
độ lớn .....	“lượng” liên quan đến một vector
vô hướng .....	đại lượng không có hướng trong không gian, chỉ có lượng

### Kí hiệu

<b>A</b> .....	một vector với các thành phần $A_x$ , $A_y$ , và $A_z$
$\vec{A}$ .....	kí hiệu viết tay cho một vector
$ \mathbf{A} $ .....	độ lớn của vector <b>A</b>
<b>r</b> .....	vector có các thành phần $x$ , $y$ và $z$
$\Delta \mathbf{r}$ .....	vector có các thành phần $\Delta x$ , $\Delta y$ và $\Delta z$
$\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ .....	(chủ đề tự chọn) vector đơn vị; các vector có độ lớn bằng 1 nằm dọc theo các trục $x$ , $y$ và $z$
$\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ .....	một kí hiệu khó nhớ hơn cho các vector đơn vị

### Thuật ngữ và kí hiệu khác

vector độ dời .....	tên gọi cho kí hiệu $\Delta \mathbf{r}$
Tốc độ .....	độ lớn của vector vận tốc, tức là vận tốc bị lấy mất thông tin về hướng của nó

### Tóm tắt

Vector là một đại lượng có cả độ lớn (lượng) và hướng trong không gian, nó ngược với vô hướng, đại lượng không có hướng. Kí hiệu vector dễ dàng gán cho một thu gọn cách viết ba thành phần của vector.

Trong không gian hai chiều, một vector có thể biểu diễn hoặc bằng hai thành phần của nó hoặc bằng độ lớn và hướng của nó. Hai cách mô tả một vector có thể liên hệ với nhau bằng lượng giác.

Hai toán tử chính tác dụng lên vector là cộng vector với vector, và nhân vector với vô hướng.

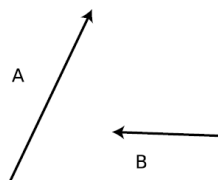
Cộng vector nghĩa là cộng các thành phần của hai vector để tạo ra các thành phần của vector mới. Theo kiểu hình học, điều này tương ứng với việc vẽ các vector là hai mũi tên nằm nối đuôi nhau và vẽ vector tổng từ gốc của vector thứ nhất đến ngọn của vector thứ hai. Phép trừ vector được thực hiện bằng cách lấy đối vector bị trừ và rồi cộng lại.

Nhân vector với vô hướng nghĩa là nhân từng thành phần của nó với vô hướng để tạo ra vector mới. Phép chia cho vô hướng được định nghĩa tương tự.

## Bài tập

1. Hình bên dưới biểu diễn các vector **A** và **B**. Hãy tính bằng hình học các phép tính sau:

$$\mathbf{A} + \mathbf{B}, \mathbf{A} - \mathbf{B}, \mathbf{B} - \mathbf{A}, -2\mathbf{B}, \mathbf{A} - 2\mathbf{B}$$



Không có con số nào có liên quan.

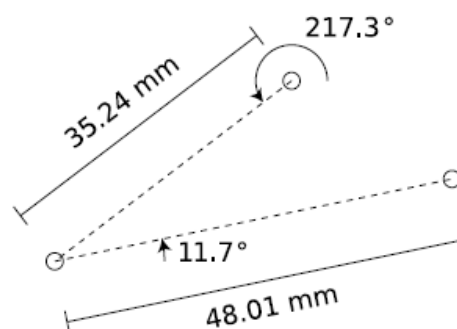
2. Phnom Penh cách Bangkok 470 km về hướng đông và 250 km về hướng nam. Hanoi cách Phnom Penh 60 km về hướng đông và 1030 km về hướng bắc.

(a) Chọn một hệ tọa độ, và chuyển những số liệu này sang giá trị  $\Delta x$  và  $\Delta y$  với dấu cộng và trừ thích hợp.

(b) Tìm các thành phần của vector  $\Delta \mathbf{r}$  hướng từ Bangkok tới Hanoi.

3. Nếu bạn đi bộ 35 km ở góc  $25^\circ$  ngược chiều kim đồng hồ tính từ hướng đông, và rồi đi 22 km ở góc  $230^\circ$  ngược chiều kim đồng hồ tính từ hướng đông, hãy tìm khoảng cách và hướng từ điểm xuất phát của bạn tới đích đến của bạn.

4. Một thợ máy đang khoan những cái lỗ trên một tấm nhôm theo kế hoạch như chỉ rõ trên hình. Cô ta bắt đầu với lỗ phía trên, sau đó chuyển sang lỗ ở bên trái, và rồi sang lỗ phía bên phải. Vì đây là công việc chính xác cao, nên cô ta hoàn thành bằng cách di chuyển theo hướng và ở góc đưa cô ta trở lại lỗ phía trên, và kiểm tra rằng cô ta kết thúc ở cùng địa điểm cũ. Hỏi khoảng cách và hướng từ lỗ bên tay phải đến lỗ phía trên ?



5. Giả sử ai đó đề xuất một toán tử mới trong đó một vector **A** và một vô hướng **B** được cộng lại với nhau cho vector **C** mới như thế này:

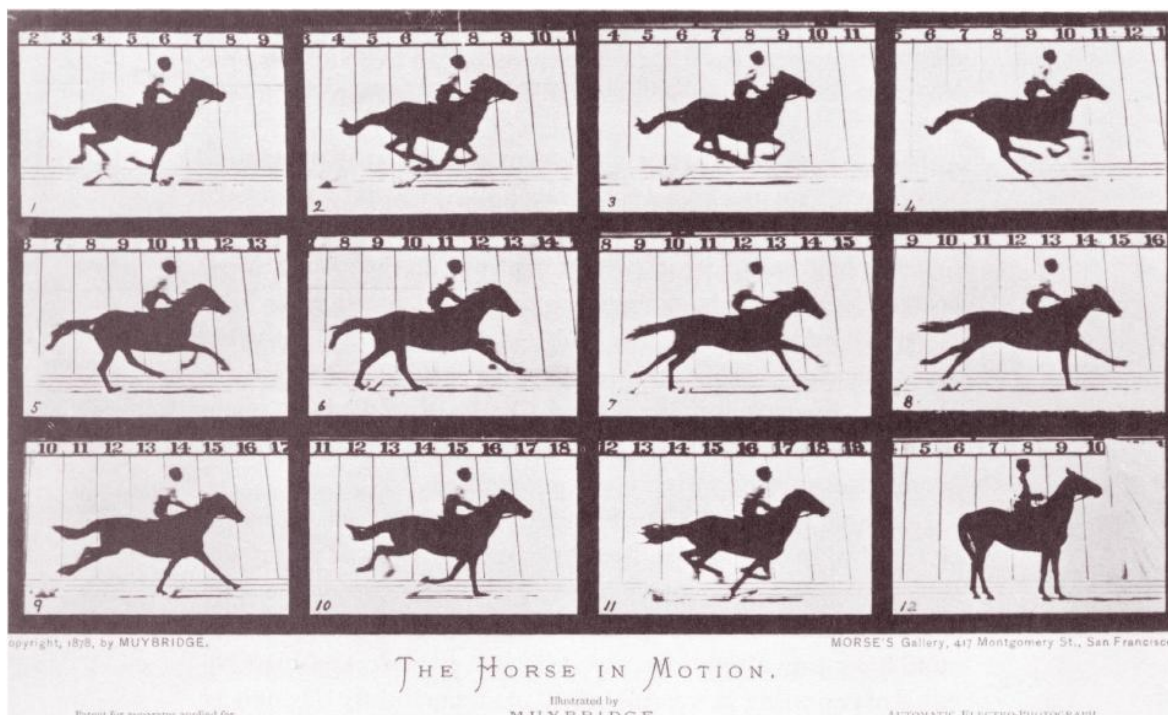


$$C_x = A_x + B$$

$$C_y = A_y + B$$

$$C_z = A_z + B$$

Chứng minh rằng toán tử này sẽ không có ích trong vật lí, vì nó không phải là bất biến quay.



## Chương 8

### Vector và chuyển động

Năm 1872, nhà tư bản và cựu thống đốc California Leland Stanford đã hỏi nhiếp ảnh gia Eadweard Muybridge xem ông ta có muốn làm việc cho ông về một dự án đặt cược tới 25000 đô la (một món tiền lớn vào thời đó). Bạn bè của Stanford bị thuyết phục rằng một con ngựa đang phi nước đại luôn luôn có ít nhất một chân ở trên mặt đất, nhưng Stanford khẳng định rằng có một thời khắc trong mỗi chu kỳ chuyển động khi đó cả bốn chân con ngựa đều ở trong không khí. Mất người đơn giản là không đủ nhanh để dàn xếp nghi vấn đó. Năm 1878, Muybridge cuối cùng đã thành công trong việc tạo ra cái chung quy là hình ảnh chuyển động của con ngựa, cho thấy đầy thuyết phục rằng cả bốn chân thật sự rời mặt đất tại một thời điểm. (Muybridge là một nhân vật tai tiếng trong lịch sử San Francisco, và trách nhiệm của ông trong vụ án giết người tình của vợ ông được xem là phiên tòa thể ki ở California)

Những người thua cược có lẽ đã bị ảnh hưởng bởi cách lí giải Aristotle, chẳng hạn trong đời rằng một con ngựa phi nước đại sẽ mất vận tốc ngang trong khi ở trong không khí, không có lực nào kéo nó xuống, cho nên có khả năng hơn là con ngựa chạy mà không nhấp nhò. Nhưng ngay cả với các học sinh đã chuyển hoàn toàn sang chủ nghĩa Newton, thì mối quan hệ giữa lực và gia tốc đưa đến một số khó khăn mang tính khái niệm, khó khăn chính là một trở ngại với phát biểu đúng nhưng dường như vô lí rằng một vật có thể có vector gia tốc có hướng không trùng với hướng chuyển động. Con ngựa, chẳng hạn, có vận tốc ngang dường như không đổi, nên  $a_x$  của nó bằng không. Nhưng như bất kì ai đã từng cưỡi ngựa phi nước đại nói cho bạn biết, con ngựa gia tốc lên và xuống. Vector gia tốc của con ngựa vì thế thay đổi tới lui giữa hướng lên và xuống, nhưng nó không bao giờ có cùng hướng như chuyển động của con ngựa. Trong chương

này, chúng ta sẽ khảo sát thận trọng hơn các tính chất của vector vận tốc, gia tốc, và lực. Không có nguyên lí mới nào được nêu ra thêm, nhưng nỗ lực được thực hiện nhằm buộc chặt các thứ lại với nhau và cho thấy sức mạnh của dạng thức vector của các định luật Newton.

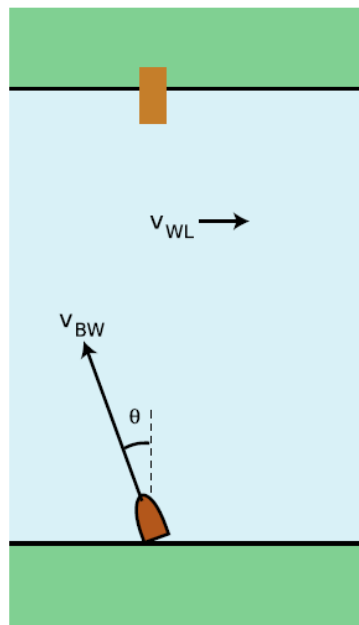
## 8.1 Vector vận tốc

Đối với chuyển động có vận tốc không đổi, vector vận tốc là

$$\mathbf{v} = \Delta \mathbf{r} / \Delta t \quad [\text{chỉ đối với vận tốc không đổi}]$$

Vector  $\Delta \mathbf{r}$  hướng theo chiều chuyển động, và việc chia nó cho vô hướng  $\Delta t$  chỉ làm thay đổi độ dài của nó, không làm thay đổi hướng của nó, nên vector hướng cùng chiều như chuyển động. Khi vận tốc không phải là hằng số, tức là khi đồ thị  $x - t$ ,  $y - t$ , và  $z - t$  không phải là thẳng, chúng ta sử dụng phương pháp độ dốc của đường tiếp tuyến để định nghĩa các thành phần  $v_x$ ,  $v_y$  và  $v_z$ , từ đó chúng ta ráp thành vector vận tốc. Ngay cả khi vector vận tốc không phải là không đổi, thì nó vẫn hướng theo chiều chuyển động.

Phép cộng vector là phương pháp hợp lí để khái quát hóa quan niệm một chiều về cộng vector trong chuyển động tương đối, như trình bày trong thí dụ sau đây.



### Ví dụ 1. Vector vận tốc trong chuyển động tương đối

Bạn muốn băng qua một con sông và đi đến bến tàu nằm ngay phía đối diện bên kia, nhưng dòng nước chảy sẽ có xu hướng mang bạn đi xuôi dòng. Để bù lại, bạn phải lái con thuyền chệch đi một góc. Tìm góc  $\theta$  đó, cho biết độ lớn vận tốc tương đối của nước so với bờ sông là  $|v_{WL}|$ , và  $|v_{BW}|$  là tốc độ tối đa mà con thuyền có thể băng đi tương đối so với nước.

✎ Vận tốc tương đối của con thuyền so với bờ bằng tổng vector của vận tốc tương đối của nó so với nước và vận tốc của nước so với bờ

$$\mathbf{v}_{BL} = \mathbf{v}_{BW} + \mathbf{v}_{WL}$$

Nếu con thuyền đi thẳng qua sông, tức là đi dọc theo trục  $y$ , thì chúng ta cần có  $\mathbf{v}_{BL,x} = 0$ . Thành phần  $x$  này bằng tổng các thành phần  $x$  của hai vector kia

$$\mathbf{v}_{BL,x} = \mathbf{v}_{BW,x} + \mathbf{v}_{WL,x}$$

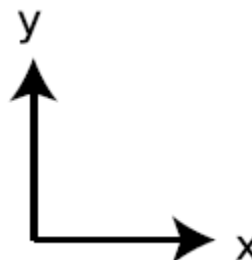
$$\text{hay} \quad 0 = -|v_{BW}| \sin \theta + |v_{WL}|$$

Giải phương trình cho  $\theta$ , ta tìm được

$$\sin \theta = |v_{WL}| / |v_{BW}|$$

Vậy

$$\theta = \sin^{-1} \frac{|v_{WL}|}{|v_{BW}|}$$



a/ Ví dụ 1

☺ A. Có khả năng nào cho một chiếc máy bay duy trì một vector vận tốc không đổi nhưng không phải  $|\mathbf{v}|$  không đổi? Còn trường hợp ngược lại -  $|\mathbf{v}|$  không đổi, nhưng không phải vector vận tốc không đổi? Hãy giải thích.

B. New York và Rome ở khoảng cùng vĩ độ địa lí, nên chuyển động quay của Trái đất mang chúng quay tròn với hai vòng tròn gần như bằng nhau. Hỏi hai thành phố có cùng vector vận tốc (tương đối so với tâm Trái đất) hay không? Nếu không, hỏi có cách nào cho hai thành phố có cùng vector vận tốc hay không?

## 8.2 Vector gia tốc

Khi cả ba thành phần gia tốc không đổi, tức là khi các đồ thị  $v_x - t$ ,  $v_y - t$ , và  $v_z - t$  đều là đường thẳng, chúng ta có thể định nghĩa vector gia tốc như sau:

$$\mathbf{a} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t, \quad [\text{chỉ đúng với gia tốc không đổi}]$$

Có thể viết lại biểu thức trên theo vận tốc đầu và vận tốc cuối như sau:

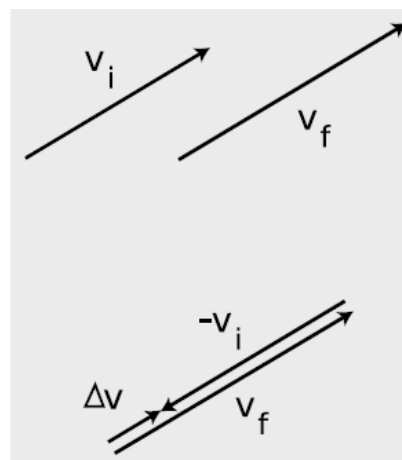
$$\mathbf{a} = (\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_i) / \Delta t \quad [\text{chỉ đúng với gia tốc không đổi}]$$

Nếu gia tốc không phải là hằng số, chúng ta định nghĩa nó là vector gồm các thành phần  $a_x$ ,  $a_y$  và  $a_z$  tìm được bằng cách áp dụng kỹ thuật độ dốc đường tiếp tuyến với các đồ thị  $v_x - t$ ,  $v_y - t$ , và  $v_z - t$ .

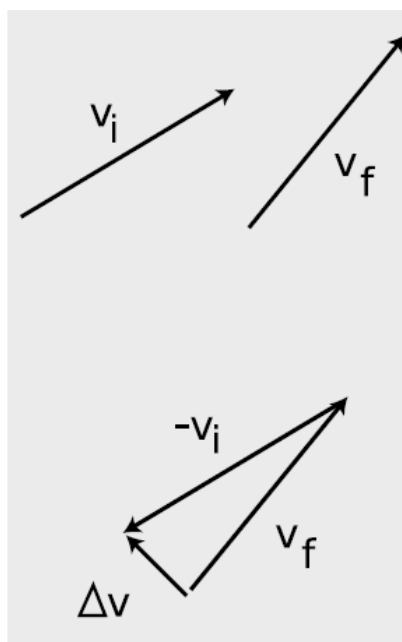
Giờ thì có hai trường hợp trong đó chúng ta có thể có gia tốc khác không. Hoặc độ lớn, hoặc hướng của vector gia tốc có thể thay đổi. Điều này có thể hình dung với giản đồ vector biểu diễn trong hình b và c. Cả độ lớn và hướng có thể thay đổi đồng thời, như khi chiếc xe hơi gia tốc trong lúc rẽ cua. Chỉ khi độ lớn của vận tốc thay đổi còn hướng của nó không đổi thì chúng ta mới có vector  $\Delta \mathbf{v}$  và vector gia tốc cùng chiều với chuyển động.

☺ (1) Trong hình b, vật đang tăng tốc, hay giảm tốc? (2) Giản đồ sẽ trông như thế nào nếu như  $\mathbf{v}_i$  bằng với  $\mathbf{v}_f$ ? (3) Hãy mô tả xem vector  $\Delta \mathbf{v}$  phụ thuộc khác nhau như thế nào vào việc vật đang tăng tốc hay giảm tốc.

Nếu tất cả những điều này trông hơi xa lạ và trừu tượng đối với bạn, thì bạn không đơn độc. Nó không có ý nghĩa gì nhiều đối với đa số học sinh học vật lí lần đầu tiên nghe ai đó bảo họ rằng gia tốc là một vector, và rằng vector gia tốc không có cùng hướng như vector vận tốc. Một cách hiểu được những phát biểu đó tốt hơn là hãy tưởng tượng một vật như một bình xịt thơm hay một con xúc xắc xoắn treo dưới cái gương nhìn ra sau của xe hơi. Một vật treo như thế, gọi là quả lắc, cấu thành một gia tốc kế. Nếu bạn quan sát một quả lắc khi bạn gia tốc từ cột đèn đỏ, bạn sẽ thấy nó lệch ra phía sau. Hướng ngang trong đó quả lắc nghiêng đi ngược với hướng của sự gia tốc. Nếu bạn hãm phanh và vector gia tốc của chiếc xe hướng ra sau, thì quả



b/ Sự thay đổi độ lớn của vector vận tốc đưa đến gia tốc

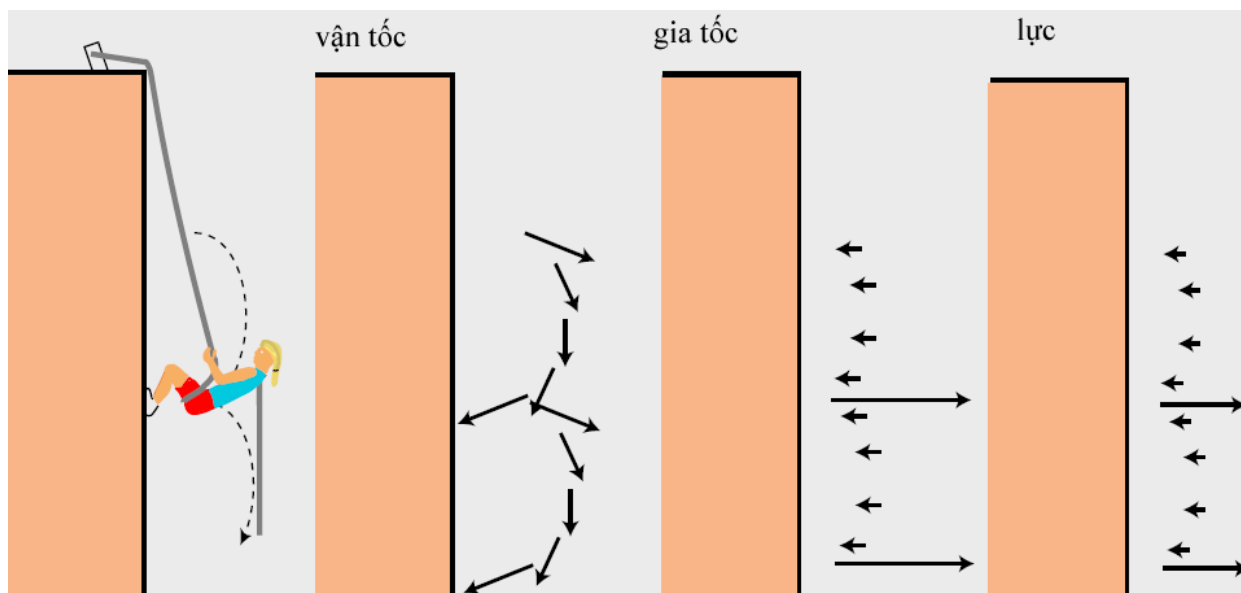


c/ Sự thay đổi hướng của vector vận tốc cũng tạo ra một vector  $\Delta \mathbf{v}$  khác không, và do đó là vector gia tốc  $\mathbf{a}$ ,  $\Delta \mathbf{v} / \Delta t$ , khác không.

lắc nghiêng về phía trước.

Sau khi tăng tốc và giảm tốc một vài phút, bạn nghĩ rằng bạn đã đặt gia tốc kế của mình vào nhịp đi của nó, nhưng sau đó bạn cho xe rẽ phải. Thật ngạc nhiên! Gia tốc là một vector, và không cần hướng theo cùng chiều như vector vận tốc. Khi bạn rẽ phải, quả lắc lệch ra ngoài, sang phía trái bạn. Điều đó có nghĩa là vector gia tốc của xe hơi hướng sang bên phải bạn, vuông góc với vector vận tốc của bạn. Một định nghĩa có ích của vector gia tốc phải liên hệ một cách có hệ thống với những hiệu ứng vật lý thật sự tạo ra bởi sự gia tốc, cho nên một định nghĩa hợp lý về mặt vật lý học của vector gia tốc phải cho phép những trường hợp trong đó nó không cùng chiều với chuyển động.

☺ Trong chuyển động bằng phản lực, vector gia tốc có hướng nào ?



d/ Ví dụ 2

#### Ví dụ 2. Leo tường

Trong hình d, vận tốc của người leo tường có những khoảng thời gian dài biến thiên đều đặn xen kẽ với những khoảng thời gian ngắn biến đổi nhanh. Những khoảng này tương ứng với khoảng những thời gian gia tốc và lực nhỏ, và những khoảng thời gian gia tốc và lực lớn.

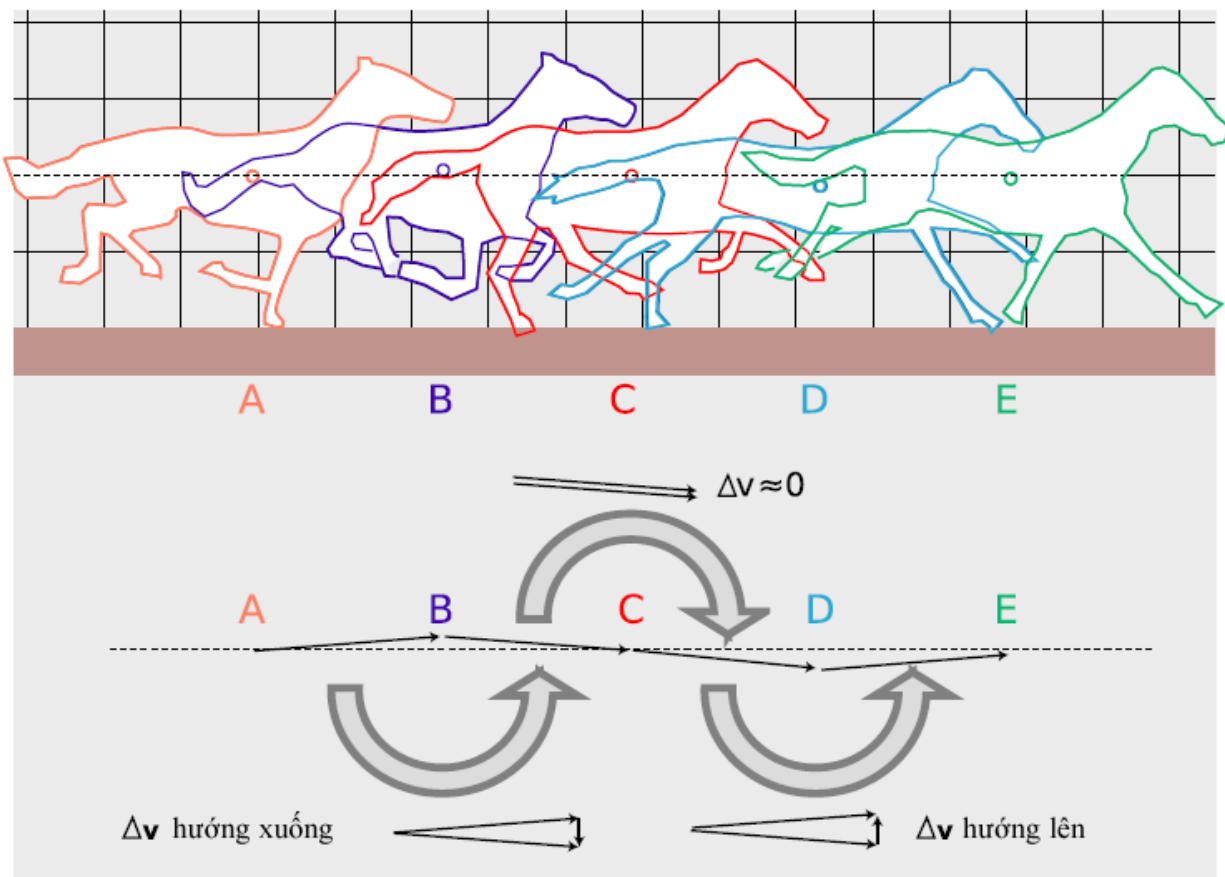
#### Ví dụ 3. Ngựa phi nước đại

Hình e biểu diễn phác thảo dấu vết từ khung hình 1, 3, 5, 7 và 9 trong loạt ảnh chụp của Muybridge về ngựa phi nước đại. Vị trí ước tính của khối tâm của con ngựa được đánh dấu vòng tròn, nó đang đưa lên xuống đường nằm ngang đứt nét.

Nếu chúng ta không quan tâm đến việc tính toán vận tốc và gia tốc theo bất kỳ hệ đơn vị nào, thì chúng ta có thể giả sử rằng thời gian giữa các khung hình là một đơn vị. Vector vận tốc của con ngựa khi nó chuyển động từ điểm này tới điểm kế tiếp khi đó có thể tìm được đơn giản bằng cách vẽ mũi tên nối vị trí của một khối tâm với vị trí tiếp theo. Cách này tạo ra một loạt vector vận tốc xen kẽ hướng lên và hướng xuống đường nằm ngang.

Vector  $\Delta \mathbf{v}$  là vector chúng ta có thể cộng vào một vector vận tốc để thu được vector vận tốc tiếp theo trong loạt vector. Vector  $\Delta \mathbf{v}$  xen kẽ giữa hướng xuống (khoảng thời gian khi con ngựa ở trong không khí, B) và hướng lên (khoảng thời gian khi con ngựa có hai chân trên đất, D).





e/ Ví dụ 3

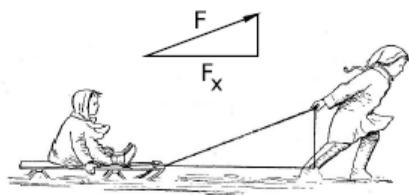
☺ A. Khi chiếc xe hơi tăng tốc, tại sao quả lắc treo dưới chiếc kính nhìn ra sau chao về phía sau của xe ? Có phải vì một lực ném nó ra phía sau ? Nếu vậy, lực đó là lực gì ? Tương tự, hãy mô tả điều gì xảy ra trong những trường hợp khác đã mô tả ở trên.

B. Siêu nhân đang dẫn một con tàu vũ trụ hỏng vào bãi đáp. Động cơ của con tàu không hoạt động. Nếu vị siêu nhân đột ngột thay đổi hướng của lực của anh ta tác dụng lên con tàu, thì vector vận tốc của con tàu có thay đổi đột ngột không ? Vector gia tốc của nó thì sao ? Còn hướng chuyển động của nó thì sao ?

### 8.3 Vector lực và các máy cơ đơn giản

Lực thì tương đối dễ hình dung là một vector. Vector hướng theo chiều mà nó đang cố làm thay đổi gia tốc của vật mà nó đang tác dụng lên.

Vì vector lực thì dễ hình dung hơn nhiều so với vector gia tốc, cho nên thường cho dễ thì trước hết nên tìm hướng của vector lực (tổng hợp) tác dụng lên một vật, và rồi sử dụng thông tin đó để xác định hướng của vector gia tốc. Định luật II Newton,  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ , cho chúng ta biết hai vector đó phải cùng chiều.



f/ Ví dụ 4

Ví dụ 4. Thành phần của một vector lực

Hình f, vẽ lại từ một cuốn sách giáo khoa cũ năm 1920, biểu diễn một đứa trẻ đang kéo một đứa trẻ khác trên một chiếc xe trượt tuyết. Lực của đứa bé có cả một thành phần nằm ngang

lần một thành phần thẳng đứng, nhưng chỉ có thành phần nằm ngang làm gia tốc chiếc xe trượt. (Thành phần lực thẳng đứng chỉ triệt tiêu một phần lực hấp dẫn, gây ra sự giảm lực pháp tuyến giữa xe trượt và tuyết) Có hai tam giác ở trên hình. Cạnh huyền của một tam giác là sợi dây, và cạnh huyền kia là độ lớn của lực. Hai tam giác này giống nhau, nên góc bên trong của chúng đều bằng nhau, nhưng chúng không phải là tam giác bằng nhau. Một là tam giác khoảng cách, với các cạnh đo bằng mét, còn tam giác kia là tam giác lực, với các cạnh đo bằng newton. Trong cả hai trường hợp, cạnh đáy nằm ngang bằng 93% cạnh huyền. Tuy nhiên, việc so sánh kích thước của hai tam giác là không có ý nghĩa – tam giác lực chẳng nhỏ hơn theo cách hiểu có ý nghĩa.

Ví dụ 5. Kéo một khối vật lên dốc

Hình g biểu diễn một vật đang được đẩy lên một dốc nghiêng không ma sát ở tốc độ không đổi bằng lực ngoài  $F_A$ . Hỏi cần lực bằng bao nhiêu, theo khối lượng  $m$  của vật và góc nghiêng  $\theta$ ?

Hình h biểu diễn hai lực khác tác dụng lên vật: lực pháp tuyến  $F_N$  tạo ra bởi mặt nghiêng, và trọng lực  $F_W$  tạo ra bởi lực hấp dẫn của Trái đất. Vì vật đang được đẩy lên ở tốc độ không đổi, nên nó có gia tốc bằng không, và hợp lực đặt lên nó phải bằng không.

Từ hình i, chúng ta tìm được

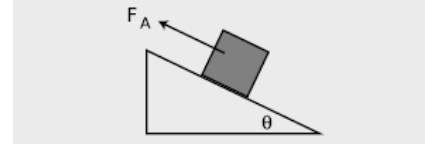
$$|F_A| = |F_W| \sin \theta \\ = mg \sin \theta$$

Vì sin luôn luôn nhỏ hơn 1, nên lực ngoài luôn nhỏ hơn  $mg$ , nghĩa là đẩy một vật lên dốc nghiêng thì dễ hơn kéo nó lên thẳng đứng. Đây có lẽ là nguyên lý mà kim tự tháp được xây dựng: người Ai Cập cổ đại đã có thời gian vất vả áp đặt lực của đủ số nô lệ bằng với sức nặng của những khối đá khổng lồ.

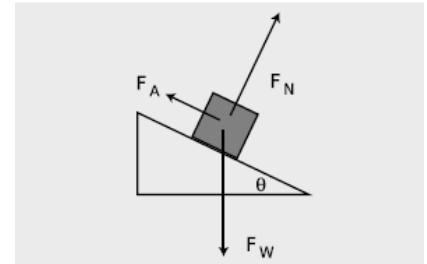
Về cơ bản thì phép phân tích tương tự áp dụng được cho vài máy cơ đơn giản khác, ví dụ như cái nêm và đinh vít.

© A. Hình bên dưới cho thấy một vật đang bị ấn theo đường chéo lên phía trên trên tường, làm cho nó trượt lên tường. Hãy phân tích các lực có liên quan, kể cả hướng của chúng.

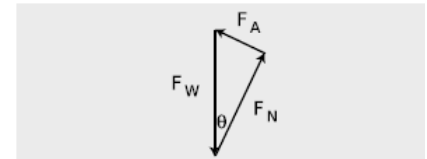
B. Hình bên dưới cho thấy một chiếc xe lăn dốc đang lăn xuống và rồi leo lên dưới tác dụng của trọng lực. Hãy phác họa vector vận tốc và vector gia tốc của xe. Lấy một điểm tùy ý trong chuyển động và vẽ phác tập hợp vector lực tác dụng lên chiếc xe có tổng vector mang lại vector gia tốc thích hợp.



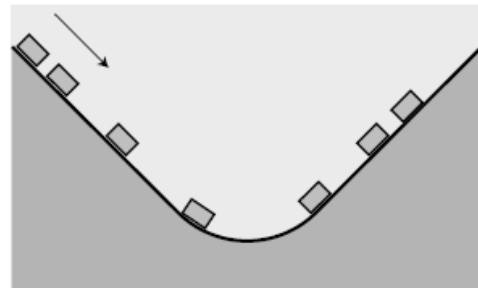
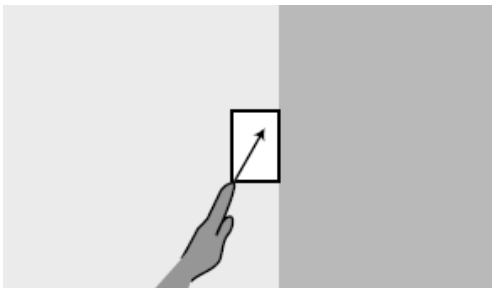
g/ Lực ngoài  $F_A$  đẩy vật lên trên một dốc nghiêng không ma sát



h/ Ba lực tác dụng lên vật. Tổng vector của chúng bằng không.



i/ Nếu vật chuyển động ở vận tốc không đổi, định luật I Newton phát biểu rằng ba vector lực tác dụng lên nó cộng lại bằng không. Để tiến hành cộng vector, chúng ta đặt các vector nối đuôi nhau, và trong trường hợp này chúng ta cộng ba vector, nên góc của mỗi vector chạm tới ngọn của vector trước. Vì chúng được cho là cộng lại bằng không, nên ngọn của vector thứ ba phải quay lại chạm vào gốc của vector thứ nhất. Chúng hình thành một tam giác, và vì lực ngoài vuông góc với lực pháp tuyến, nên nó là một tam giác vuông.



## 8.4 Giải tích vector

Sử dụng kí hiệu vector đơn vị đã giới thiệu trong mục 7.4, định nghĩa của các thành phần vận tốc và gia tốc trong chương 6 có thể chuyển thành kí hiệu giải tích như sau:

$$\mathbf{v} = \frac{dx}{dt}\hat{\mathbf{x}} + \frac{dy}{dt}\hat{\mathbf{y}} + \frac{dz}{dt}\hat{\mathbf{z}}$$

và

$$\mathbf{a} = \frac{dv_x}{dt}\hat{\mathbf{x}} + \frac{dv_y}{dt}\hat{\mathbf{y}} + \frac{dv_z}{dt}\hat{\mathbf{z}}$$

Để làm cho kí hiệu bớt cồng kềnh, chúng ta khái quát hóa khái niệm đạo hàm để bao gộp cả đạo hàm của vector, nên chúng ta có thể thu gọn phương trình ở trên là

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

và

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

Diễn đạt bằng lời, để lấy đạo hàm của một vector, bạn lấy đạo hàm các thành phần của nó và tạo ra một vector mới gồm các thành phần đó. Định nghĩa này có nghĩa là đạo hàm của một hàm vector có những tính chất quen thuộc

$$\frac{d(cf)}{dt} = c \frac{d(f)}{dt} \quad [c \text{ là hằng số}]$$

và

$$\frac{d(\mathbf{f} + \mathbf{g})}{dt} = \frac{d(\mathbf{f})}{dt} + \frac{d(\mathbf{g})}{dt}$$

Tích phân của một vector được định nghĩa tương tự là lấy tích phân từng thành phần.

*Ví dụ 6. Đạo hàm hạng hai của một vector*

Hai vật có vị trí là hàm của thời gian cho bởi phương trình

$$\mathbf{r}_1 = 3t^2\hat{\mathbf{x}} + t\hat{\mathbf{y}}$$

và

$$\mathbf{r}_2 = 3t^4\hat{\mathbf{x}} + t\hat{\mathbf{y}}$$

Tìm gia tốc của hai vật bằng giải tích. Có thể nào có câu trả lời mà không cần đến giải tích không ?

☞ Lấy đạo hàm hạng nhất của từng thành phần, ta có

$$\mathbf{v}_1 = 6t\hat{\mathbf{x}} + \hat{\mathbf{y}}$$

$$\mathbf{v}_2 = 12t^3\hat{\mathbf{x}} + \hat{\mathbf{y}}$$

và lấy đạo hàm lần nữa cho ta gia tốc

$$\mathbf{a}_1 = 6\hat{\mathbf{x}}$$

$$\mathbf{a}_2 = 36t^2\hat{\mathbf{x}}$$

Gia tốc của vật thứ nhất có thể tìm được mà không cần giải tích, đơn giản bằng cách so sánh các tọa độ  $x$  và  $y$  với phương trình gia tốc không đổi  $\Delta x = v_0\Delta t + \frac{1}{2}a\Delta t^2$ . Tuy nhiên, phương trình thứ hai không phải là một đa thức bậc hai theo  $t$ , nên gia tốc không phải là hằng số, và chúng ta thật sự cần đến giải tích để tìm gia tốc tương ứng.

#### Ví dụ 7. Tích phân của một vector

Bắt đầu từ nghỉ, một cái đĩa bay khối lượng  $m$  được quan sát thấy thay đổi lực đẩy của nó với độ chính xác toán học tuân theo phương trình

$$\mathbf{F} = bt^{42}\hat{\mathbf{x}} + ct^{137}\hat{\mathbf{y}}$$

(Người ngoài hành tinh cho chúng ta biết rằng những con số 42 và 137 có một tầm quan trọng tín ngưỡng đặc biệt đối với họ). Hãy tìm vận tốc của đĩa bay là hàm theo thời gian.

☞ Từ lực đã cho, chúng ta dễ dàng tìm được gia tốc

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}$$

$$= \frac{b}{m}t^{42}\hat{\mathbf{x}} + \frac{c}{m}t^{137}\hat{\mathbf{y}}$$

vector vận tốc  $\mathbf{v}$  là tích phân theo thời gian của gia tốc

$$\mathbf{v} = \int \mathbf{a} \, dt$$

$$= \int \left( \frac{b}{m}t^{42}\hat{\mathbf{x}} + \frac{c}{m}t^{137}\hat{\mathbf{y}} \right) dt$$

và lấy tích phân từng thành phần cho ta

$$= \left( \int \frac{b}{m}t^{42} \, dt \right) \hat{\mathbf{x}} + \left( \int \frac{c}{m}t^{137} \, dt \right) \hat{\mathbf{y}}$$

$$= \frac{b}{43m}t^{43}\hat{\mathbf{x}} + \frac{c}{138m}t^{138}\hat{\mathbf{y}},$$

trong đó chúng ta đã bỏ qua các hằng số tích phân, vì đĩa bay bắt đầu từ trạng thái nghỉ.

#### Ví dụ 8. Bình chữa cháy nhào lộn trên băng

Giáo sư Puerile chuyển lộn một bình chữa cháy vào sân trượt băng. Leo lên băng mà không mang giày trượt, ông ngồi xuống và dùng chân đẩy tường ra, thu được vận tốc ban đầu  $v_0\hat{\mathbf{y}}$ . Lúc  $t = 0$ , ông ném bình chữa cháy ở góc  $45^\circ$  sao cho nó tác dụng một lực lên ông ta ngược lại và sang bên trái, tức là theo trục  $y$  âm và trục  $x$  dương. Lực của bình chữa cháy mạnh lúc ban đầu, nhưng sau đó giảm dần theo phương trình  $|\mathbf{F}| = b - ct$ , trong đó  $b$  và  $c$  là hằng số. Tìm vận tốc của vị giáo sư là hàm của thời gian.

☞ Đo ngược chiều kim đồng hồ từ trục  $x$ , góc của vector lực là  $315^\circ$ . Phân tích lực thành các thành phần  $x$  và  $y$ , ta có

$$\begin{aligned}
 F_x &= |\mathbf{F}| \cos 315^\circ \\
 &= (b - ct) \\
 F_y &= |\mathbf{F}| \sin 315^\circ \\
 &= (-b + ct)
 \end{aligned}$$

Theo kí hiệu vector đơn vị, đây là

$$\mathbf{F} = (b - ct)\hat{\mathbf{x}} + (-b + ct)\hat{\mathbf{y}}$$

Định luật II Newton cho ta

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a} &= \mathbf{F}/m \\
 &= \frac{b - ct}{\sqrt{2}m}\hat{\mathbf{x}} + \frac{-b + ct}{\sqrt{2}m}\hat{\mathbf{y}}
 \end{aligned}$$

Để tìm vector vận tốc là hàm của thời gian, chúng ta cần lấy tích phân vector gia tốc theo thời gian

$$\begin{aligned}
 \mathbf{v} &= \int \mathbf{a} \, dt \\
 &= \int \left( \frac{b - ct}{\sqrt{2}m}\hat{\mathbf{x}} + \frac{-b + ct}{\sqrt{2}m}\hat{\mathbf{y}} \right) dt \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2}m} \int [(b - ct)\hat{\mathbf{x}} + (-b + ct)\hat{\mathbf{y}}] dt
 \end{aligned}$$

Một hàm vector có thể lấy tích phân từng thành phần, nên ở đây có thể chia thành hai tích phân

$$\begin{aligned}
 \mathbf{v} &= \frac{\hat{\mathbf{x}}}{\sqrt{2}m} \int (b - ct) \, dt + \frac{\hat{\mathbf{y}}}{\sqrt{2}m} \int (-b + ct) \, dt \\
 &= \left( \frac{bt - \frac{1}{2}ct^2}{\sqrt{2}m} + \text{constant \#1} \right) \hat{\mathbf{x}} + \left( \frac{-bt + \frac{1}{2}ct^2}{\sqrt{2}m} + \text{constant \#2} \right) \hat{\mathbf{y}}
 \end{aligned}$$

Ở đây, ý nghĩa vật lí của hai hằng số tích phân là chúng cho vận tốc ban đầu. Constant#1 do đó bằng 0, và constant#2 phải bằng  $v_0$ . Kết quả cuối cùng là

$$\mathbf{v} = \left( \frac{bt - \frac{1}{2}ct^2}{\sqrt{2}m} \right) \hat{\mathbf{x}} + \left( \frac{-bt + \frac{1}{2}ct^2}{\sqrt{2}m} + v_0 \right) \hat{\mathbf{y}}$$

## Tóm tắt chương 8

Vector vận tốc hướng theo chiều chuyển động của vật. Chuyển động tương đối có thể mô tả bằng phép cộng vector của các vận tốc.

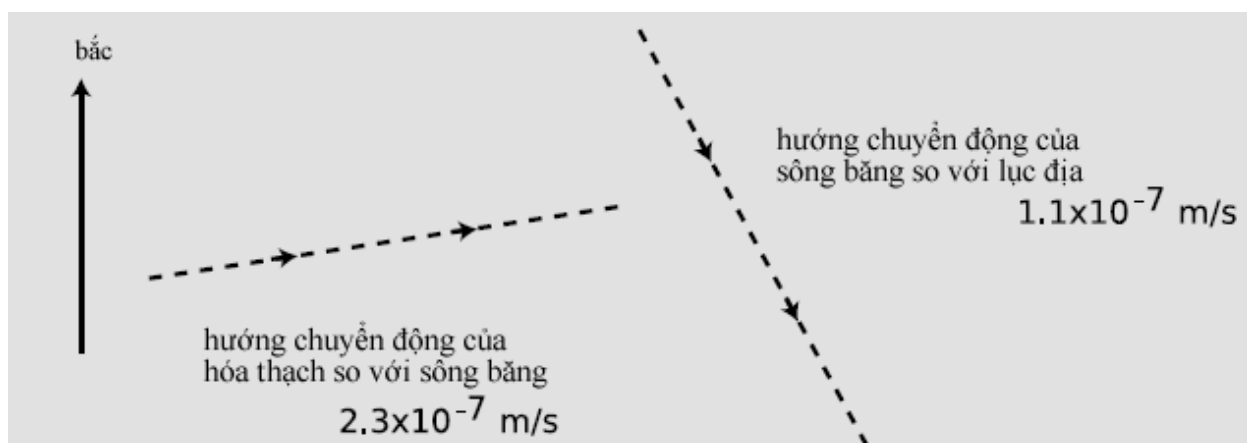
Vector gia tốc không nhất thiết hướng cùng chiều với chuyển động của vật. Chúng ta dùng từ “gia tốc” để mô tả bất kì sự thay đổi nào ở vector vận tốc của một vật, có thể là sự thay đổi độ lớn của nó hoặc sự thay đổi hướng của nó.

Một ứng dụng quan trọng của phép cộng vector của các lực là việc sử dụng định luật I Newton để phân tích các hệ cơ học.



## Bài tập

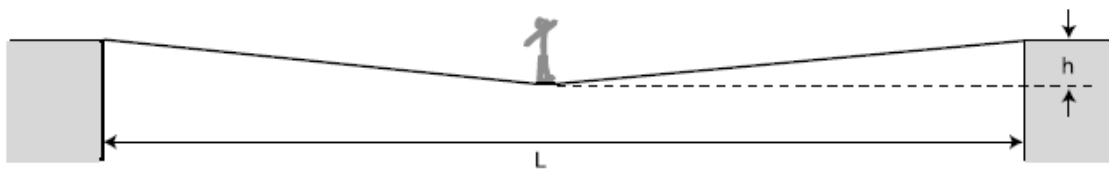
1. Một hóa thạch khủng long từ chuyển động xuống sườn dốc của một sông băng dưới tác dụng của gió, mưa và trọng lực. Đồng thời, con sông băng đang chuyển động tương đối so với lục địa bên dưới. Đường đứt nét biểu diễn hướng, chứ không phải độ lớn của các vận tốc. Chọn một tỉ lệ, và sử dụng phép cộng hình học của các vector tìm độ lớn và hướng của vận tốc tương đối của hóa thạch so với lục địa. Bạn sẽ cần một thước kẻ và một thước đo góc.



2. Có thể nào một chiếc máy bay lên thẳng có gia tốc hướng sang đông và vận tốc hướng sang tây ? Nếu như thế thì điều gì sắp xảy ra ? Nếu không thì tại sao không ?

3. Một con chim lúc đầu bay theo phương ngang về phía đông ở 21,1 m/s, nhưng một giây sau đó nó đổi hướng bay theo phương ngang và lệch  $7^\circ$  bắc so với hướng đông, ở cùng tốc độ cũ. Hỏi độ lớn và hướng của vector gia tốc của nó trong khoảng thời gian một giây đó ? (Cho rằng gia tốc của nó đại khái là không đổi)

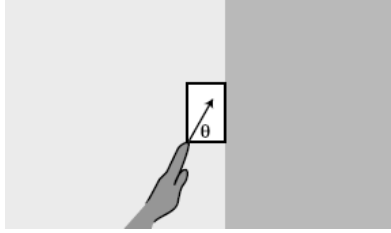
4. Một người khối lượng  $M$  đứng ở giữa một sợi dây kéo căng buộc hai đầu cố định vào hai tòa nhà cách nhau khoảng  $L$  theo phương ngang. Sợi dây cong xuống ở giữa, căng ra và hơi dài ra một chút.



(a) Nếu người đi bộ trên dây muốn sợi dây oằn theo phương đứng không quá độ cao  $h$ , hãy tìm sức căng cực tiểu,  $T$ , sợi dây có thể chịu được mà không bị đứt, theo  $h$ ,  $g$ ,  $M$  và  $L$ .

(b) Dựa trên phương trình của bạn, giải thích tại sao không thể nào thu được  $h = 0$ , và hãy cho một lời giải thích vật lí.

5. Tay của bạn ấn một vật khối lượng  $m$  lên tường với lực  $\mathbf{F}_H$  tác dụng ở góc  $\theta$ . Hãy tìm giá trị cực tiểu và cực đại của  $|\mathbf{F}_H|$  có thể giữ cho vật đứng yên, theo  $m$ ,  $g$ ,  $\theta$  và  $\mu_s$ , hệ số ma sát tĩnh giữa vật và tường.



Bài toán 5

6. Một người trượt tuyết đang lao xuống dốc nghiêng góc  $\theta$  so với phương ngang. Giả sử cho đơn giản rằng việc xem ma sát động cho trong chương 5 là thích hợp ở đây, mặc dù một bề mặt mềm và ướt thật ra xử sự hơi khác đi. Hệ số ma sát động tác dụng giữa xe trượt và tuyết là  $\mu_k$ , và ngoài ra xe trượt tuyết còn chịu một lực ma sát của không khí có độ lớn  $bv^2$ , trong đó  $b$  là một hằng số.

(a) Tìm tốc độ cực đại mà xe trượt tuyết sẽ có được, theo các biến  $m$ ,  $g$ ,  $\theta$ ,  $\mu_k$  và  $b$ .

(b) Đối với những góc nhỏ hơn góc  $\theta_{\min}$  nhất định, phương trình cho kết quả không có ý nghĩa toán học. Tìm một phương trình cho  $\theta_{\min}$ , và giải thích điều gì xảy ra khi  $\theta < \theta_{\min}$ .

7. Một khẩu súng nhắm ngang sang hướng đông và bật cò lúc  $t = 0$ . Vector vị trí của viên đạn là hàm của thời gian là  $r = b\hat{x} + c\hat{y} + dt^2\hat{z}$ , trong đó  $b$ ,  $c$ ,  $d$  là các hằng số dương.

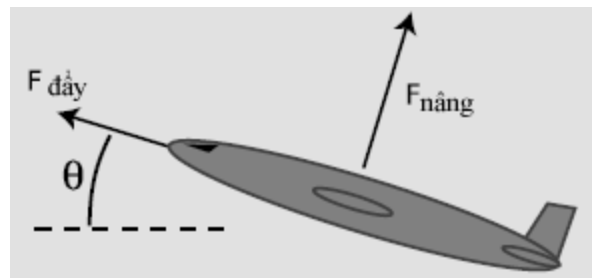
(a) Để phương trình có ý nghĩa,  $b$ ,  $c$  và  $d$  phải có đơn vị là gì ?

(b) Tìm vận tốc và gia tốc của viên đạn là hàm theo thời gian.

(c) Hãy làm sáng tỏ ý nghĩa của  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $\hat{x}$ ,  $\hat{y}$  và  $\hat{z}$ .

8. Annie Oakley, đi về hướng bắc trên lưng ngựa ở tốc độ 30 dặm/giờ, bóp cò khẩu súng trường của cô ta, nhắm theo phương ngang và hướng về phía đông bắc. Tốc độ giải phóng đạn của súng là 140 dặm/giờ. Khi viên đạn chạm trúng một con vật lông xù không có gì bảo vệ, tốc độ va chạm của nó bằng bao nhiêu ? Bỏ qua sức cản không khí, và bỏ qua chuyển động theo phương đứng của viên đạn.

9. Một máy bay chở hàng cất cánh từ một đường băng nhỏ ở Andes, và lao lên ở tốc độ không đổi, ở góc  $\theta = 17^\circ$  so với phương ngang. Giả sử sức cản không khí (sức kéo theo) là không đáng kể, nên chỉ có các lực tác dụng là lực đẩy, lực nâng và trọng lực. Hỏi khối lượng của máy bay bằng bao nhiêu kg ?



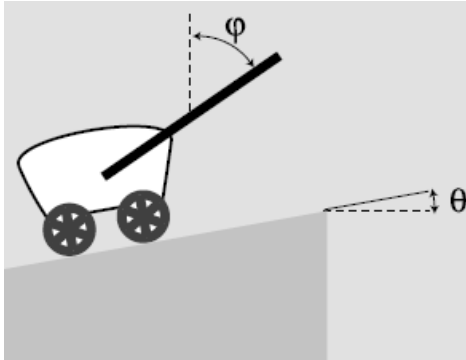
10. Một chiếc xe đẩy đang được kéo ở tốc độ không đổi lên một dốc nghiêng bằng một sợi dây hợp góc  $\phi$  với phương thẳng đứng.

(a) Giả sử ma sát không đáng kể, hãy chứng tỏ rằng lực căng trong sợi dây được cho bởi phương trình

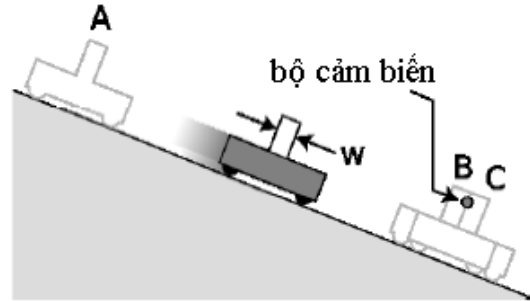
$$F_T = \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \phi)} F_w$$

trong đó  $F_w$  là trọng lực tác dụng lên chiếc xe đẩy.

(b) Giải thích phương trình này trong những trường hợp đặc biệt  $\phi = 0$  và  $\phi = 180^\circ - \theta$ .



Bài 10



Bài 12

11. Góc nghỉ là độ dốc cực đại mà một vật sẽ không bị trượt. Không có không khí, trên các vật thể trơn như Mặt trăng hay thiên thạch, nơi duy nhất mà bụi hay các mảnh vụn sẽ vẫn ở trên dốc cho dù là bờ dốc nghiêng hơn góc nghỉ.

(a) Tìm phương trình cho góc nghỉ, tự bạn đặt ra các biến có liên quan.

(b) Trên một tiểu hành tinh, nơi  $g$  có thể nhỏ hơn trên Trái đất hàng nghìn lần, mảnh vụn có thể nằm yên trên góc nghiêng hơn góc nghỉ hay không ?

12. Hình trên cho thấy một thí nghiệm trong đó một chiếc xe chở hàng được giải phóng từ trạng thái tại A, và gia tốc xuống dốc nghiêng đi qua quãng đường  $x$  cho đến khi nó đi qua một chùm ánh sáng cảm biến. Tại B, cánh bìa cứng gắn trên xe đi vào chùm ánh sáng, chặn chùm ánh sáng lại, và khởi động bộ đếm giờ điện tử. Tại C, miếng bìa đi ra khỏi chùm tia, và đồng hồ đếm ngừng lại.

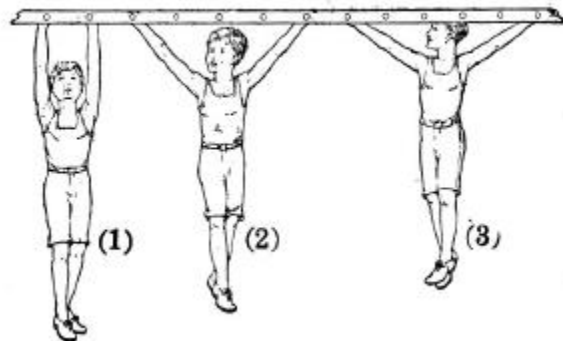
(a) Tìm vận tốc cuối cùng của xe theo chiều rộng  $w$  của miếng bìa và thời gian  $t_b$  mà chùm ánh sáng của bộ cảm biến bị chặn lại.

(b) Tìm độ lớn của gia tốc của xe theo các đại lượng đo được:  $x$ ,  $t_b$  và  $w$ .

(c) Phân tích các lực mà chiếc xe tham gia, sử dụng bảng định dạng giới thiệu trong mục 5.3. Giả sử ma sát là không đáng kể.

(d) Tìm giá trị lý thuyết cho gia tốc của chiếc xe, so sánh nó với giá trị quan sát thực nghiệm lấy từ câu b. Biểu diễn giá trị lý thuyết đo theo góc  $\theta$  của mặt nghiêng, cường độ  $g$  của trường hấp dẫn.

13. Hình vẽ cho thấy một cậu bé đang treo ở ba vị trí: (1) với hai tay thẳng đứng, (2)



với hai tay hợp góc  $45^\circ$ , và (3) với hai tay hợp góc  $60^\circ$  so với phương thẳng đứng. So sánh sức căng trong tay cậu bé trong ba trường hợp.



## Chương 9

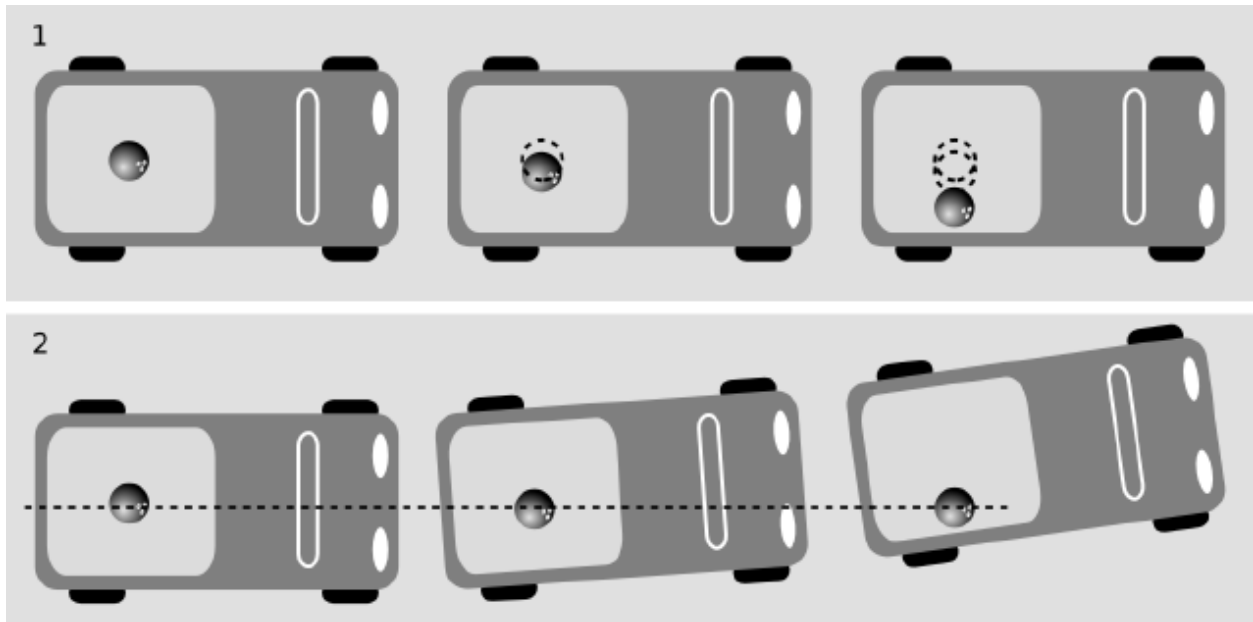
### Chuyển động tròn

#### 9.1 Khái niệm chuyển động tròn

Hiện nay, tôi sống cách Disneyland 15 phút đi xe, vì thế bạn bè và người thân ở quê hương Bắc Carolina của tôi nghĩ thật là hơi lạ khi mà tôi chưa hề trở lại thăm Vương quốc Thần kì kể từ chuyến hành trình thời thơ ấu xuôi về phương nam. Sự thật là đối với tôi lúc còn là một đứa bé chưa đến tuổi đi học, Disneyland không phải là nơi hạnh phúc nhất trên Trái đất. Mẹ tôi đã cho tôi cưỡi trên những buồng nhỏ hình dạng giống như tàu vũ trụ quay tròn thật nhanh xung quanh một cái cột ở chính giữa. Tôi biết là mình sắp tàn đời rồi. Có một lực đang cố ném tôi ra phía ngoài, và các chốt an toàn của buồng cưỡi chắc chắn là chẳng đủ nếu như tôi không la hét suốt toàn bộ thời gian để đảm bảo rằng mẹ tôi vẫn giữ lấy tôi. Sau hết thấy, bà tỏ vẻ dừng dừng đến bất ngờ trước mỗi nguy hiểm cực kì mà chúng tôi đã trải qua.

#### Chuyển động tròn không tạo ra một lực hướng ra bên ngoài

Sự hiểu biết của bản thân tôi hồi nhỏ về chuyển động tròn có phần đúng và có phần sai. Tôi sai ở việc tin rằng có một lực kéo tôi ra bên ngoài, ra xa tâm của vòng tròn. Cách đơn giản nhất để hiểu điều này là hãy trở lại với câu chuyện quả bóng bowling trên xe tải nhỏ ở chương 4. Khi chiếc xe rẽ trái, người tài xế nhìn vào gương nhìn ra sau và nghĩ rằng có một lực có phần bí ẩn đang kéo quả bóng ra bên ngoài, nhưng chiếc xe đang gia tốc, nên hệ quy chiếu của người tài xế không phải là hệ quán tính. Các định luật Newton bị vi phạm trong hệ quy chiếu phi quán tính, cho nên quả bóng có vẻ gia tốc mà không có lực thật sự nào tác dụng lên nó. Vì chúng ta đã quen với các hệ quy chiếu quán tính, trong đó gia tốc do lực gây ra, nên sự gia tốc của quả bóng tạo ra cảm giác sống động rằng phải có một lực hướng ra bên ngoài.



a/ 1. Trong hệ quy chiếu của chiếc xe tải đang rẽ cua, quả bóng dường như vi phạm các định luật Newton, biểu hiện một gia tốc hướng sang bên không phải là kết quả của một lực tương tác với bất kì vật nào khác. 2. Trong hệ quy chiếu quán tính, ví dụ như hệ quy chiếu gắn với mặt đất, quả bóng tuân theo định luật I Newton. Không có lực nào tác dụng lên nó, và nó tiếp tục chuyển động theo đường thẳng. Chiếc xe tải đang tham gia vào một tương tác với nhựa đường, chiếc xe tải gia tốc vì nó tuân theo định luật II Newton.

Trong hệ quy chiếu quán tính, mọi thứ dễ nhận thức hơn. Quả bóng không có lực tác dụng lên nó, và đi theo đường thẳng như định luật I Newton yêu cầu. Chiếc xe tải có một lực tác dụng lên nó từ phía nhựa đường, và phản ứng với nó bằng cách gia tốc (thay đổi hướng của vector vận tốc của nó) như định luật II Newton nói nó phải như vậy.

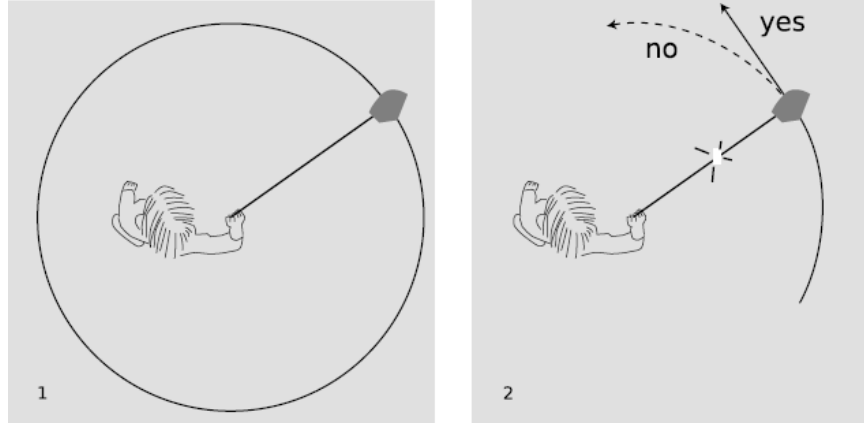
## Chuyển động tròn không tiếp tục nếu không có lực

Tuy nhiên, tôi có đúng về một điều. Để làm cho tôi quay tròn xung quanh cùng với buồng quay, tôi thật sự cần đến một số lực như lực từ phía mẹ tôi, lực ma sát từ chỗ ngồi, hay lực pháp tuyến từ mặt buồng quay. (Thật vậy, cả ba lực có khả năng cộng lại với nhau). Một trong những lí do khiến Galileo thất bại ở việc cải tiến nguyên lí quán tính thành một phát biểu định lượng như định luật I Newton là ông không chắc chắn một chuyển động không có lực tác dụng tự nhiên sẽ là chuyển động tròn hay thẳng. Thật vậy, những thí dụ ấn tượng nhất mà ông biết về sự tồn tại kéo dài của chuyển động chủ yếu là chuyển động tròn: ví dụ như sự quay tròn của con quay, hay chuyển động quay của Trái đất. Newton nhận ra rằng trong những thí dụ như thế này, thật sự có lực đang tác dụng. Các nguyên tử ở trên bề mặt của con quay được ngăn không cho bay ra theo đường thẳng bằng lực thông thường giữ các nguyên tử gắn lại với nhau trong chất rắn. Trái đất gần như toàn bộ ở thể lỏng, nhưng lực hấp dẫn hút toàn bộ các phần của nó vào bên trong.

## Chuyển động tròn đều và không đều

Chuyển động tròn luôn luôn liên quan đến sự thay đổi hướng của vector vận tốc, nhưng cũng có thể độ lớn của vector vận tốc đồng thời thay đổi luôn. Chuyển động tròn được cho là đều nếu như  $|\mathbf{v}|$  là không đổi, và là không đều nếu như nó thay đổi.





b/ 1. Hình nhìn từ trên xuống của một người đang quay một hòn đá qua một sợi dây. Lực tác dụng từ phía sợi dây là cần thiết để làm cho vector vận tốc của hòn đá đổi hướng. 2. Nếu sợi dây đứt, hòn đá sẽ tuân theo định luật I Newton và đi thẳng, thay vì tiếp tục quay tròn.

Tốc kế của bạn cho bạn biết độ lớn của vector vận tốc của xe bạn, vì thế khi bạn đi theo cung tròn đồng thời giữ cho kim tốc kế của bạn ổn định, là bạn đang thực hiện chuyển động tròn đều. Nếu số chỉ tốc kế của bạn thay đổi khi bạn rẽ cua, thì chuyển động tròn của bạn là không đều. Chuyển động tròn đều dễ phân tích hơn về mặt toán học, nên chúng ta sẽ xét nó trước tiên và sau đó nói qua trường hợp chuyển động không đều.

☺ Thí dụ nào sau đây là chuyển động tròn đều, thí dụ nào là chuyển động tròn không đều ?

(1) quần áo trong máy sấy (giả sử chúng vẫn bám vào bên trong tang trống, kể cả ở trên)

(2) hòn đá ở cuối sợi dây quay theo một vòng tròn thẳng đứng.

## Chỉ một lực là cần thiết đối với chuyển động tròn đều

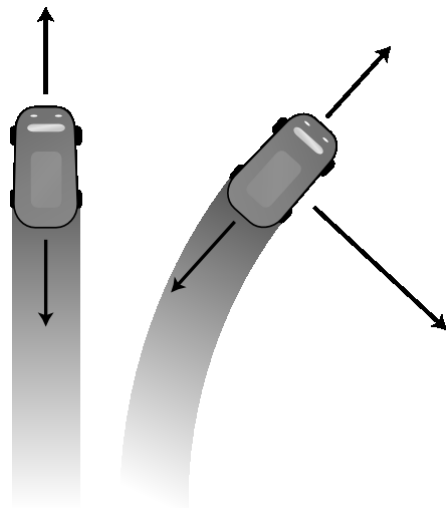
Hình b cho thấy sợi dây đang kéo căng thẳng dọc theo bán kính của vòng tròn, nhưng nhiều người tin rằng khi họ làm như vậy họ phải “nắm kéo” hòn đá một chút để giữ nó chuyển động dọc. Nghĩa là, họ tin rằng lực cần thiết để tạo ra chuyển động tròn đều không hướng thẳng vào trong mà hơi lệch một góc so với bán kính của vòng tròn. Trực giác này không đúng, bạn dễ dàng xác nhận ngay bây giờ nếu bạn có một sợi dây trong tay. Chỉ khi nào bạn làm cho vật bắt đầu chuyển động thì lực của bạn mới phải hợp một góc với bán kính. Trong thời gian tăng tốc ban đầu này, chuyển động là không đều. Một khi bạn đã thiết lập được chuyển động tròn đều, thì bạn chỉ tác dụng một lực hướng vào trong.

Nếu bạn không tự mình làm thí nghiệm, thì đây là một lập luận lí thuyết để thuyết phục bạn về sự thật này. Chúng ta đã thảo luận ở chương 6 nguyên tắc rằng lực không có tác dụng lên phương vuông góc. Để giữ cho hòn đá không tăng tốc hay giảm tốc, chúng ta chỉ việc đảm bảo rằng lực của chúng ta vuông góc với



c/ Để làm cho viên gạch đi theo vòng tròn, tôi phải tác dụng lên sợi dây một lực hướng vào trong.

hướng chuyển động của nó. Khi đó chúng ta cam đoan rằng chuyển động về phía trước của nó sẽ vẫn không bị ảnh hưởng: lực của chúng ta không có tác dụng vuông góc, và không có lực nào khác tác dụng lên hòn đá có thể làm chậm nó lại. Hòn đá không đòi hỏi lực hướng ra trước để duy trì chuyển động về phía trước của nó, không cần thêm một lực ngang nào để “giữ nó ở trên đầu” của vòng cung chuyển động của nó.



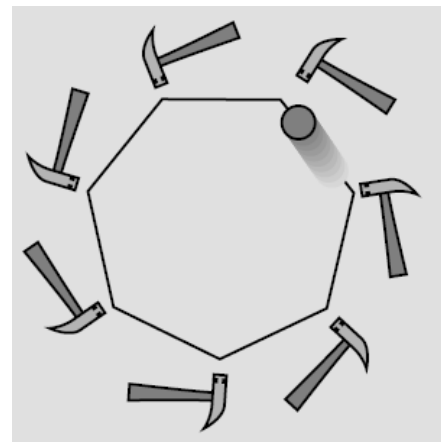
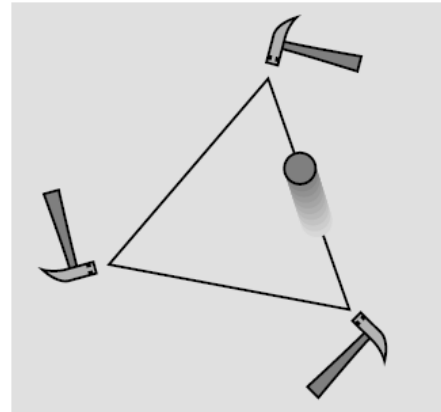
e/ Khi chiếc xe hơi chạy thẳng ở tốc độ không đổi, lực hướng ra trước và ra sau tác dụng lên nó triệt tiêu nhau, tạo ra hợp lực bằng 0. Khi nó chuyển động theo vòng tròn ở tốc độ không đổi, có ba lực tác dụng lên nó, nhưng lực hướng ra sau và ra trước triệt tiêu nhau, nên tổng vector là một lực hướng vào trong.

Vậy thì tại sao một chiếc xe hơi lái theo vòng tròn trong bãi đậu xe thực hiện chuyển động tròn đều nếu bạn lấy chân ra khỏi ga nhả? Nguyên nhân lộn xộn ở đây là các định luật Newton tiên đoán chuyển động của vật dựa trên hợp lực tác dụng lên nó. Một chiếc xe hơi lái theo vòng tròn có ba lực tác dụng lên nó:

- (1) một lực hướng vào bên trong do nhựa đường tác dụng, điều khiển với bánh xe đang quay,
- (2) một lực hướng ra trước do nhựa đường tác dụng, điều khiển với bàn đạp hơi, và
- (3) các lực hướng ra sau do sức cản không khí và sức cản quay.

Bạn cần chắc chắn rằng có một lực hướng ra trước tác dụng lên chiếc xe sao cho các lực hướng ra sau triệt tiêu vừa đủ với nó, tạo ra tổng vector hướng thẳng vào trong.

Ví dụ 1. Xe mô tô rẽ cua



d/ Loạt ba nhát búa làm cho quả bóng đi theo hình tam giác, bảy nhát búa tạo ra hình bảy cạnh. Nếu số búa đủ lớn, thì quả bóng về cơ bản chịu một lực hướng vào trong đều đặn, và nó sẽ đi theo vòng tròn. Không có trường hợp nào cần thêm một lực nào khác.



f/ Ví dụ 1

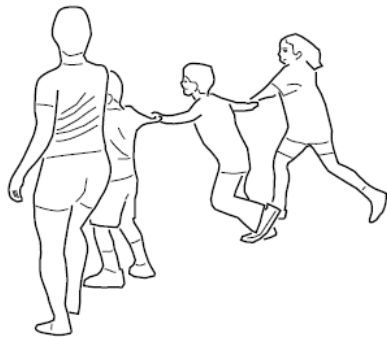
Người lái mô tô trong hình f đang đi theo một cung tròn. Trông có vẻ như anh ta chọn lái lên bề mặt lồi chồm bụi tại nơi đúng góc anh ta muốn, cho phép anh ta thu được lực anh ta cần tác dụng lên lốp xe làm lực pháp tuyến, mà không cần đến chút lực ma sát nào. Lực pháp tuyến của bụi đất tác dụng lên lốp xe hướng lên trên và về bên trái chúng ta. Thành phần thẳng đứng của lực đó bị triệt tiêu bởi trọng lực, còn thành phần ngang của nó làm cho anh ta ngoặt cua.

## Trong chuyển động tròn đều, vector gia tốc hướng vào trong

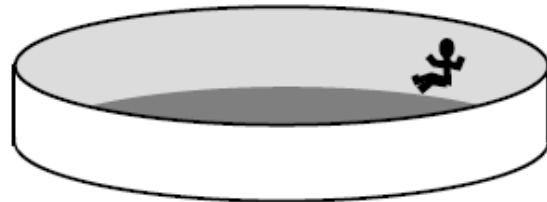
Vì các thí nghiệm cho thấy vector lực hướng thẳng vào trong, nên định luật II Newton ngụ ý rằng vector gia tốc cũng hướng thẳng vào trong. Thực tế này còn có thể chứng minh thuần túy trên cơ sở toán học, và chúng ta sẽ làm điều đó trong mục tiếp theo.

☺ A. Trong trò chơi “bắt cóc bỏ đĩa”, một đoàn người đứng nắm tay nhau và rồi họ bắt đầu quay thành vòng tròn. Một người ở chính giữa, và quay mà không thay đổi vị trí. Ở đầu bên kia là người đang chạy nhanh nhất, theo một vòng tròn rộng. Trong trò chơi này, một số người luôn bị mất tay nắm và bị loại ra. Giả sử một người ở một đầu bị mất tay nắm của cô ta. Cô ta sẽ đi theo quỹ đạo gì khi cô ta bị loại ra? (Giả sử cô ta đang chạy nhanh tới mức cô ta thật sự cố đặt một chân lên trước chân kia đủ nhanh để giữ cho khỏi rơi xuống; cô ta không thể nào thu được bất cứ lực nằm ngang đáng kể nào giữa chân cô ta và mặt đất)

B. Giả sử người bên ngoài vẫn đang giữ tay, nhưng nhận thấy cô ta có thể mất tay nắm của mình vào bất cứ lúc nào. Hỏi lực hay những lực gì đang tác dụng lên cô ta, và hướng tác dụng của chúng? (Chúng ta không quan tâm các lực thẳng đứng, đó là lực hấp dẫn của Trái đất hút xuống, và lực pháp tuyến của mặt đất đẩy lên)



Câu hỏi A – D



Câu hỏi E

C. Giả sử người bên ngoài vẫn đang giữ tay, nhưng nhận thấy cô ta có thể mất tay nắm của mình vào bất cứ lúc nào. Phép phân tích tình huống sau đây sai ở chỗ nào? “Người có tay cô ta đang nắm tác dụng một lực hướng vào trong lên cô ta, và vì do định luật III Newton, có một lực bằng và ngược chiều tác dụng hướng ra ngoài. Lực hướng ra ngoài đó là lực mà cô ta cảm thấy ném cô ta ra ngoài, là lực hướng ra ngoài là cái làm cho cô ta văng ra, nếu như nó đủ mạnh”.

D. Nếu như lực duy nhất mà người ở bên ngoài cảm nhận là một lực hướng vào trong, thì tại sao cô ta không chuyển động thẳng?

E. Trong trò chơi công viên như ở trong hình, vòng trụ quay càng lúc càng nhanh cho đến khi vị khách có thể nhấc chân lên khỏi sàn mà không rơi trở xuống. Trong phiên bản Coney Island cũ của trò chơi, sàn nhà thật sự hạ xuống giống như một cánh cửa bật, cho thấy cả một đại dương bên dưới. (Còn có một phiên bản trong đó toàn bộ mọi thứ nghiêng đi theo đường chéo, nhưng chúng ta đang nói về phiên bản vẫn giữ phẳng) Nếu không có lực hướng ra ngoài tác dụng lên cô ta, thì tại sao cô ta có thể bám dính vào tường? Hãy phân tích tất cả các lực tác dụng lên cô ta.

F. Cho một ví dụ chuyển động tròn trong đó lực hướng vào trong là lực pháp tuyến. Cho một ví dụ chuyển động tròn trong đó lực hướng vào trong là lực ma sát. Cho một ví dụ chuyển động tròn trong đó lực hướng vào trong là tổng hợp của nhiều lực.

G. Vector gia tốc có luôn luôn thay đổi liên tục trong chuyển động tròn hay không? Vector vận tốc thì sao?

## 9.2 Chuyển động tròn đều

Trong phần này, tôi xuất phát từ một phương trình đơn giản và rất hữu ích cho độ lớn của gia tốc của một vật chịu sự gia tốc không đổi. Định luật sin có liên quan, và tôi tóm tắt nó trong hình g.

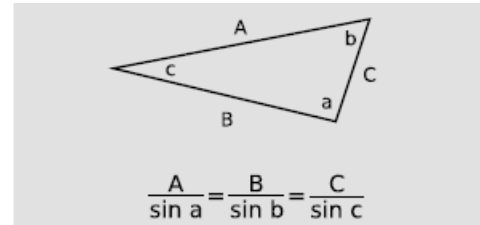
Điểm xuất phát thì ngắn gọn, nhưng phương pháp yêu cầu một số giải thích và biện hộ. Ý tưởng là tính vector  $\Delta \mathbf{v}$  mô tả sự thay đổi vector vận tốc khi vật đi qua góc  $\theta$ . Khi đó chúng ta tính gia tốc  $\mathbf{a} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t$ . Tuy nhiên, độc giả tinh ý sẽ nhớ lại phương trình này chỉ có giá trị đối với chuyển động có gia tốc không đổi. Mặc dù độ lớn của gia tốc là không đổi trong chuyển động tròn đều, nhưng vector gia tốc thay đổi hướng của nó, nên nó không phải là một vector không đổi, và phương trình  $\mathbf{a} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t$  không áp dụng được. Phép biện hộ nhằm sử dụng nó là chúng ta sẽ xét hành vi của nó khi chúng ta làm cho khoảng thời gian rất ngắn, nghĩa là làm cho góc  $\theta$  rất nhỏ. Với khoảng thời gian càng lúc càng nhỏ, biểu thức  $\Delta \mathbf{v} / \Delta t$  trở nên càng gần đúng hơn, nên kết quả cuối cùng của phép đạo hàm là chính xác.

Trong hình h1, vật quét một góc  $\theta$ . Hướng chuyển động của nó cũng quay tròn một góc  $\theta$ , tính từ đường đứt nét thẳng đứng tới đường xiên. Hình h2 cho thấy các vector vận tốc ban đầu và cuối cùng, chúng có độ lớn bằng nhau, nhưng hướng lệch nhau góc  $\theta$ . Trong h3, tôi sắp xếp lại các vector theo vị trí thích hợp cho phép trừ vector. Chúng hình thành một tam giác cân với các góc bên trong  $\theta$ ,  $\eta$  và  $\eta$ . Định luật sin cho ta

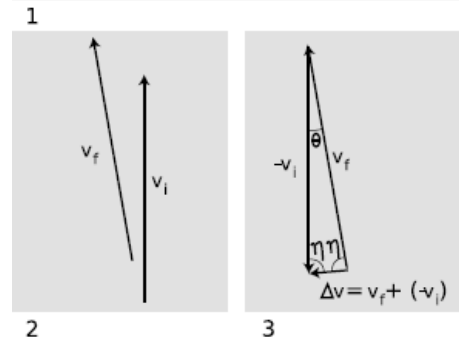
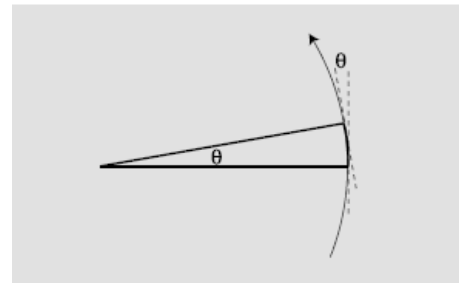
$$\frac{|\Delta v|}{\sin \theta} = \frac{|v|}{\sin \eta}$$

Biểu thức này cho chúng ta biết độ lớn của  $\Delta \mathbf{v}$ , một trong hai thành phần mà chúng ta cần cho việc tính toán độ lớn  $\mathbf{a} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t$ . Thành phần kia là  $\Delta t$ . Thời gian cần thiết cho vật chuyển động qua góc  $\theta$  là

$$\Delta t = \frac{\text{độ dài cung}}{|\mathbf{v}|}$$



g/ Định luật sin



h/ Đạo hàm  $|\mathbf{a}| = |\mathbf{v}|^2 / r$  cho chuyển động tròn đều

Bây giờ, nếu chúng ta đo các góc theo radian, chúng ta có thể sử dụng định nghĩa số đo radian, đó là (góc) = (độ dài cung)/(bán kính), cho  $\Delta t = \theta r/|v|$ . Kết hợp biểu thức này với biểu thức thứ nhất với  $|\Delta v|$  cho ta

$$|a| = |\Delta v|/\Delta t \\ = \frac{|v|^2}{r} \cdot \frac{\sin \theta}{\theta} \cdot \frac{1}{\sin \eta}$$

Khi  $\theta$  trở nên rất nhỏ, ta áp dụng phép xấp xỉ góc nhỏ  $\sin \theta \approx \theta$ , và  $\eta$  cũng trở nên gần với  $90^\circ$ , nên  $\sin \eta \approx 1$ , và ta có phương trình cho  $|a|$ :

$$|a| = \frac{|v|^2}{r} \quad [\text{chuyển động tròn đều}]$$

*Ví dụ 2. Lực cần thiết để ngoặt cua trên xe đạp*

Một người đi xe đạp đang ngoặt cua theo một cung tròn bán kính 20 m, ở tốc độ 5 m/s. Nếu khối lượng tổng cộng của người và xe là 60 kg, thì lực ma sát tĩnh mà mặt đường phải tác dụng lên lốp xe bằng bao nhiêu ?

✎ Lấy độ lớn cả hai vế của định luật II Newton cho ta

$$|F| = |ma| = m |a|$$

Thay  $|a| = |v|^2/r$  cho ta

$$|F| = m |v|^2/r \approx 80 \text{ N}$$

(làm tròn một chữ số có nghĩa)

*Ví dụ 3. Đùng ôm lấy đường tâm trên đường cong!*

Bạn đang lái xe trên đường núi và bên phải bạn là vực sâu. Khi rẽ trái, cách nào an toàn hơn: ôm lấy đường tâm hay là vẫn ở gần phía bên ngoài của con đường ?

✎ Bạn muốn chọn lựa có giá tốc nhỏ nhất, vì điều đó sẽ yêu cầu lực nhỏ nhất và đưa đến ít rủi ro nhất về việc vượt quá lực ma sát tĩnh cực đại. Giả sử đường cong là một cung tròn và tốc độ của bạn là không đổi, chiếc xe của bạn đang thực hiện chuyển động tròn đều, với  $|a| = |v|^2/r$ . Sự phụ thuộc vào bình phương của tốc độ cho thấy việc lái chậm là số đo an toàn chủ yếu mà bạn có thể thực hiện, nhưng với tốc độ cho trước, bạn cũng muốn có giá trị lớn nhất có thể của  $r$ . Cho dù là bản năng giữ bạn tránh xa bờ vực, nhưng bạn thật sự ít gặp nguy hiểm hơn nếu bạn tiến ra phía ngoài, vì khi đó bạn đang vạch nên một vòng tròn lớn.

*Ví dụ 4. Gia tốc liên hệ với bán kính và chu kỳ quay*

Phương trình gia tốc trong chuyển động tròn đều được viết lại như thế nào theo bán kính của vòng tròn và chu kỳ  $T$  của chuyển động, tức là thời gian cần thiết để đi trọn một vòng ?

✎ Chu kỳ có thể liên hệ với tốc độ như sau:

$$|v| = \frac{\text{chu vi}}{T} = \frac{2\pi r}{T}$$

Thay vào phương trình  $|a| = |v|^2/r$  cho ta

$$|a| = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$



### Ví dụ 5. Máy sấy quần áo

Chiếc máy sấy quần áo của tôi có tang trống với bán kính trong 35 cm, và nó quay 48 vòng/phút. Hỏi gia tốc của quần áo bên trong bằng bao nhiêu ?

✎ Chúng ta có thể giải bài toán này bằng cách tìm chu kì và thay vào kết quả của ví dụ ở trên. Nếu nó quay 48 vòng/phút, thì chu kì là  $1/48$  phút, hay 1,25 giây. Đề thu được gia tốc theo đơn vị mks, chúng ta phải đổi bán kính thành 0,35m. Thay số vào, kết quả là  $8,8 \text{ m/s}^2$ .

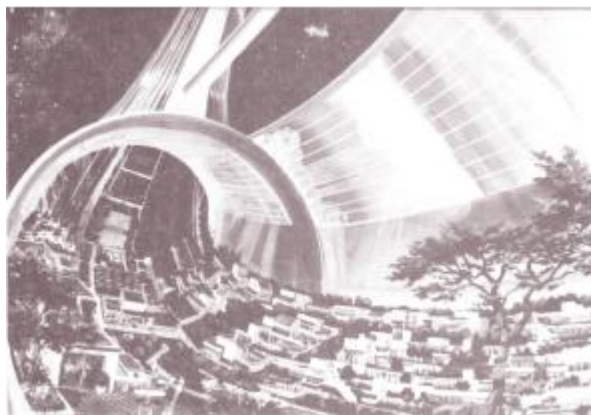
### Ví dụ 6. Nói thêm về máy sấy quần áo!

Trong câu hỏi thảo luận ở phần trước, chúng ta đã giả sử rằng quần áo vẫn bám vào tang trống khi chúng đi lên phía trên. Từ kết quả của ví dụ trên, thì đây có phải là một giả định đúng ?

✎ Không đúng. Chúng ta biết rằng phải có một tốc độ tối thiểu ở đó động cơ có thể chạy làm cho quần áo vừa vẩy bám vào tang trống khi chúng đi lên phía trên. Nếu máy sấy quần áo chạy ở tốc độ tối thiểu vừa đủ này, thì không có lực pháp tuyến tác dụng lên quần áo ở trên cùng: chúng ở ngay ranh giới của sự mất tiếp xúc. Lực duy nhất tác dụng lên chúng ở trên cùng sẽ là trọng lực, gây cho chúng gia tốc  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Máy sấy trong thực tế phải chạy chậm hơn tốc độ tối thiểu này, vì nó tạo ra gia tốc chỉ  $8,8 \text{ m/s}^2$ . Lí thuyết của tôi là việc này được thực hiện cố ý, để làm cho quần áo trộn lẫn và nhào lộn.

☺ A. Một lượng lực nhất định là cần thiết để gây ra gia tốc của chuyển động tròn. Vậy lực tác dụng vuông góc với hướng chuyển động trong nỗ lực làm cho vật đi theo một vòng tròn bán kính  $r$  có bằng  $m|\mathbf{v}|^2/r$  ?

B. Giả sử một trạm không gian quay, như trong hình j, được xây dựng. Nó mang lại cho những người cư ngụ cảm giác trọng lực bình thường. Điều gì xảy ra khi một người ở trong trạm đá một quả bóng ? Điều gì xảy ra khi cô ta ném quả bóng thẳng “đứng” trong không khí (tức là hướng về phía tâm) ?



j/ Hình minh họa một khu dân cư không gian quay theo kiểu bánh xe khổng lồ. Một người sống trong hệ quy chiếu phi quán tính này có cảm giác một lực hút cô ta ra bên ngoài, hướng về phía boong, giống như trường hợp người ở trong xe tải chở hàng có cảm giác một lực hút quả bóng bowling. Bằng cách điều chỉnh tốc độ quay, nhà thiết kế có thể tạo ra gia tốc  $|\mathbf{v}|^2/r$  bằng với gia tốc hấp dẫn bình thường trên Trái đất. Trên Trái đất, gia tốc của bạn đang đứng trên mặt đất là bằng không, và một hòn đá rơi về phía chân bạn có gia tốc  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Một người đang đứng trên boong của khu dân cư không gian có một gia tốc hướng lên  $9,8 \text{ m/s}^2$ , và khi cô ta đá một hòn đá, chân của cô ta nhả lên hòn đá không gia tốc. Với cô ta, điều đó giống như lực hấp dẫn thật sự.

## 9.3 Chuyển động tròn không đều

Còn chuyển động tròn không đều thì sao ? Mặc dù từ trước tới giờ chúng ta đã nói tới các thành phần của vector theo các trục  $x$  và  $y$  cố định, nhưng bây giờ tiện lợi hơn là nói về các thành phần của vector gia tốc theo đường xuyên tâm (trong-ngoài) và đường tiếp tuyến (theo hướng chuyển động). Trong chuyển động tròn không đều, thành phần xuyên tâm của gia tốc tuân theo cùng phương trình như chuyển động tròn đều

$$a_r = |\mathbf{v}|^2/r$$

nhưng vector gia tốc còn có một thành phần tiếp tuyến



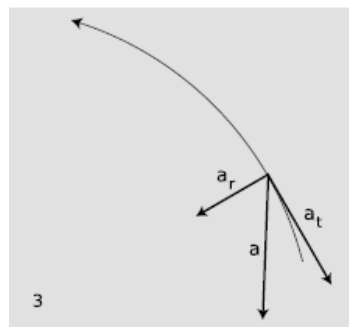
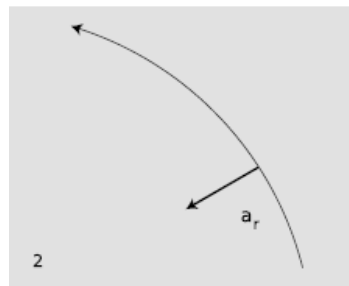
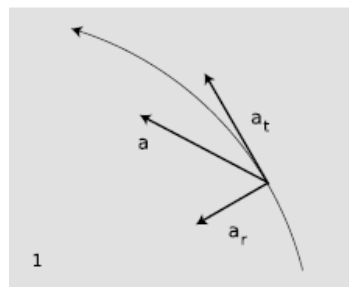
$a_t = \text{độ dốc của đồ thị } |\mathbf{v}| \text{ theo } t$

Đại lượng sau có một cách hiểu đơn giản. Nếu bạn đang đi một vòng tròn trên xe của bạn, và kim tốc kế đang nhúc nhích, thì thành phần tiếp tuyến của vector gia tốc đơn giản là cái mà bạn cho là gia tốc nếu bạn nhìn vào tốc kế và không biết bạn đang chạy vòng tròn.

*Ví dụ 7. Chạy chậm lại trước khi rẽ, không phải trong khi rẽ*

Khi bạn đang ngoặt cua trên xe của mình và bạn lo ngại xe bị trượt, bạn có nên chạy chậm lại không ?

Nếu cua rẽ là một cung tròn, và bạn đi qua hết đoạn cua ở tốc độ không đổi mà không bị trượt, thì con đường và lốp xe hình như có đủ ma sát tĩnh để mang lại gia tốc  $|\mathbf{v}|^2/r$ . Không có lí do gì khiến bạn bị trượt ra ngoài nếu như bạn đã sẵn sàng. Tuy nhiên, nếu bạn lo lắng và hãm phanh, thì bạn phải có một thành phần gia tốc tiếp tuyến ngoài thành phần xuyên tâm mà bạn đã có thể tạo ra một cách thành công. Điều này yêu cầu một vector gia tốc có độ lớn lớn hơn, thành ra sẽ yêu cầu một lực lớn hơn. Ma sát tĩnh không có khả năng mang lại một lực như thế, và bạn có thể bị trượt ra ngoài. Như trong ví dụ trước nói về vấn đề tương tự, việc an toàn phải làm là tiến đến chỗ quanh ở một tốc độ thấp thích hợp.



k/ 1. Chuyển động theo một vòng tròn trong khi tăng tốc. 2. Chuyển động tròn đều. 3. Chuyển động chậm dần.

## Tóm tắt chương 9

### Từ khóa chọn lọc

chuyển động tròn đều .....	chuyển động tròn trong đó độ lớn của vector gia tốc giữ nguyên không đổi
chuyển động tròn không đều .....	chuyển động tròn trong đó độ lớn của vector gia tốc thay đổi
xuyên tâm .....	song song với bán kính của vòng tròn, phương từ trong ra ngoài
tiếp tuyến .....	tiếp tuyến với vòng tròn, vuông góc với hướng xuyên tâm

## Kí hiệu

$a_r$ .....	gia tốc xuyên tâm; thành phần của vector gia tốc theo phương trong-ngoài
$a_t$ .....	gia tốc tiếp tuyến; thành phần của vector gia tốc tiếp tuyến với vòng tròn

## Tóm tắt

Nếu một vật có chuyển động tròn, phải có một lực tác dụng lên nó hướng vào tâm của vòng tròn. Không có lực nào hướng ra tác dụng lên vật; cảm giác một lực hướng ra là do kinh nghiệm của bạn từ điểm nhìn đang quay, cho nên chúng ta đang nhìn mọi vật trong hệ quy chiếu phi quán tính.

Một vật chịu chuyển động tròn đều có vector gia tốc hướng vào trong có độ lớn

$$|\mathbf{a}| = |\mathbf{v}|^2/r$$

Trong chuyển động tròn không đều, các thành phần xuyên tâm và tiếp tuyến của vector gia tốc là

$$a_r = |\mathbf{v}|^2/r$$

và

$$a_t = \text{độ dốc của đồ thị } |\mathbf{v}| \text{ theo } t$$

## Bài tập

1. Khi bạn làm bánh bằng máy trộn bằng điện, bạn có thể lấy đa số bột nhào ra khỏi đôn đập bằng cách nâng chúng ra khỏi bột với động cơ đang quay ở tốc độ đủ cao. Hãy tưởng tượng, để làm cho mọi thứ dễ hình dung hơn, chúng ta có một miếng băng dính vào một trong các đôn đập bánh.

(a) Giải thích tại sao ma sát tĩnh không có tác dụng lên miếng băng bay ra hay không bay ra.

(b) Giả sử bạn thấy miếng băng không bay ra khi động cơ chạy ở tốc độ thấp, nhưng ở tốc độ lớn hơn, miếng băng sẽ không ở đó nữa. Tại sao tốc độ lớn làm thay đổi mọi thứ?

2. Chứng tỏ rằng biểu thức  $|\mathbf{v}|^2/r$  có đơn vị của gia tốc.

3. Một máy bay nhào lộn vòng tròn có bán kính 1,00 km. Máy bay bắt đầu bay lộn ngược, thẳng và ngang, rồi bắt đầu lượn theo một cung tròn, và lượn lại khi nó lên tới trên cùng (Máy bay có thể chậm lại đôi chút trên đường đi lên). Hỏi máy bay phải lượn bao nhanh ở trên cao cùng nếu như người phi công không chịu một lực nào từ phía ghế ngồi hay đai an toàn trong khi ở đỉnh trên cùng của vòng tròn?

4. Trong bài toán này, bạn sẽ nhận được phương trình  $|\mathbf{a}| = |\mathbf{v}|^2/r$  bằng giải tích. Thay vì so sánh vận tốc tại hai điểm trong chuyển động của hạt và rồi tính giới hạn nơi các điểm tiến gần

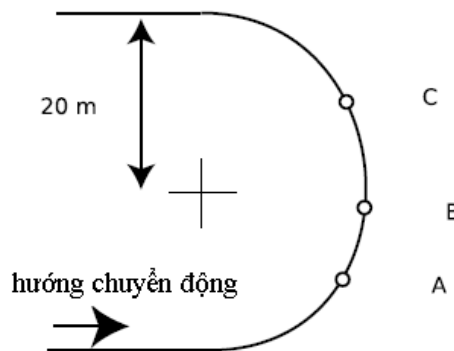
nhau, bạn chỉ việc lấy đạo hàm. Vector vị trí của hạt là  $\mathbf{r} = (r \cos \theta) \hat{x} + (r \sin \theta) \hat{y}$ , trong đó  $\hat{x}, \hat{y}$  là các vector đơn vị hướng dọc theo trục  $x$  và  $y$ . Theo đơn vị radian, khoảng cách đi được kể từ  $t = 0$  là  $r\theta$ , nên nếu hạt đang chuyển động ở tốc độ không đổi  $v = |\mathbf{v}|$ , chúng ta có  $v = r\dot{\theta}$ .

(a) Loại trừ  $\theta$  để có được vector vị trí của hạt là hàm của thời gian.

(b) Tìm vector gia tốc của hạt.

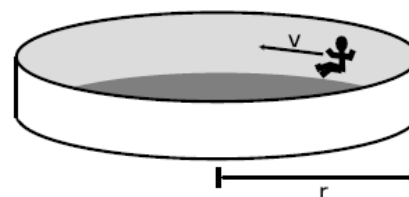
(c) Chứng tỏ rằng độ lớn của vector gia tốc bằng  $v^2/r$ .

5. Ba người đi xe đạp trong một cuộc đua đang rẽ quanh một cung hình bán nguyệt. Tại thời điểm mô tả, người A sử dụng phanh tác dụng một lực 375 N lên xe của cô ta. Người B thì đang thả dốc. Người C thì đang đạp, tác dụng lực 375 N lên xe cô ta. Mỗi người, cùng với xe, có khối lượng 75 kg. Tại thời điểm mô tả, tốc độ tức thời của cả ba người là 10 m/s. Trên hình vẽ, hãy vẽ vector gia tốc của từng người với điểm đặt trên vị trí hiện tại của họ, biểu diễn hướng và chiều dài với độ chính xác hợp lý. Biểu diễn một cách gần đúng tỉ lệ phù hợp mà bạn đang dùng cho cả ba vector gia tốc. Không nhất thiết phải quá chính xác. Giả sử cả ba người đều đi theo con đường suốt toàn bộ thời gian, không bị lệch khỏi đường dành riêng hay chệch khỏi đường lớn.



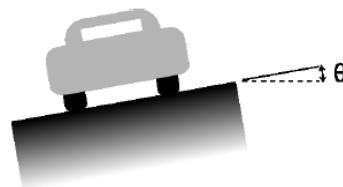
Bài 5

6. Trò chơi công viên ở trong hình gồm một buồng hình trụ quay xung quanh trục thẳng đứng của nó. Khi chuyển động quay đủ nhanh, một người dựa vào thành có thể nhấc chân lên khỏi sàn và vẫn “dính” vào thành mà không rơi xuống. (a) Giả sử chuyển động quay mang lại cho người đó có vận tốc  $v$ . Bán kính của hình trụ là  $r$ , khối lượng của người là  $m$ , gia tốc hấp dẫn hướng xuống dưới là  $g$ , và hệ số ma sát tĩnh giữa người và thành là  $\mu_s$ . Tìm vận tốc cho tốc độ  $v$ , theo các biến kia (Bạn sẽ nhận thấy một trong các biến triệt tiêu nhau)



Bài 6

(b) Bây giờ giả sử hai người đang tham gia trò chơi. Huy mặc quần jean, và Gina mặc vải polyester, nên hệ số ma sát tĩnh của Huy lớn hơn ba lần. Vòng quay bắt đầu từ trạng thái nghỉ, và khi nó bắt đầu quay càng lúc càng nhanh, Gina phải chờ lâu hơn mới có thể nhấc chân lên mà không trượt xuống sàn. Dựa trên phương trình của bạn có ở câu a, hỏi tốc độ trước khi Gina có thể nhấc chân lên mà không trượt xuống phải lớn gấp bao nhiêu lần?



Bài 7

7. Một kỹ sư đang thiết kế bờ dốc cong cho đường cao tốc. Vì bờ dốc cong, nên cô ta muốn làm cho nó nghiêng đi để giảm bớt khả năng người lái xe chạy quá nhanh sẽ văng ra ngoài. Nếu bán kính cong là  $r$ , thì góc nghiêng  $\theta$  sẽ là bao nhiêu sao cho một chiếc xe chạy ở tốc

độ  $v$ , không có thứ lực ma sát tĩnh nào cần thiết, được phép rẽ cong? Trình bày đáp án của bạn theo  $v$ ,  $r$  và  $g$ , và chứng tỏ rằng khối lượng chiếc xe là không có liên quan.

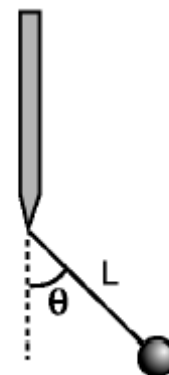
8. Lionel chơi trò xe lửa đồ chơi với các đoạn ray có kích thước và hình dạng chuẩn. Đối với các cung tròn, các đoạn được dùng thông dụng nhất có đường kính 662 và 1067 mm ở phần bên trong của đường ray bên ngoài. Tốc độ tối đa mà xe lửa có thể chạy trên cung rộng hơn mà không bị lệch khỏi ray là 0,95 m/s. Hỏi xe lửa phải hoạt động ở tốc độ nào để tránh trật ray trên những cung chật hơn?

9. Hình bên cho thấy một quả cầu ở một đầu của sợi dây chiều dài  $L$  gắn với một thanh thẳng đứng quay xung quanh trục dọc của nó bằng một động cơ. Chu kì (thời gian quay một vòng) là  $P$ .

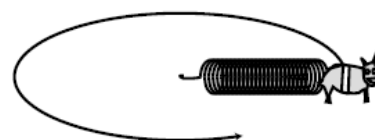
(a) Phân tích các lực mà quả cầu tham gia.

(b) Tìm xem góc  $\theta$  phụ thuộc như thế nào vào  $P$ ,  $g$  và  $L$  (Gợi ý: (1) Viết định luật II Newton cho các thành phần ngang và thẳng đứng của lực và gia tốc. Ta có hai phương trình có thể giải theo hai biến,  $\theta$  và lực căng dây. (2) Nếu bạn đưa ra các biến như  $v$  và  $r$ , hãy liên hệ chúng với các biến mà lời giải của bạn có chứa, và loại trừ chúng)

(c) Điều gì xảy ra về mặt toán học với đáp án của bạn nếu như động cơ quay rất chậm (giá trị  $P$  rất lớn)? Về mặt vật lí, bạn nghĩ điều gì thật sự xảy ra trong trường hợp này?



Bài 9



Bài 10

10. Giáo sư tâm lí R.O. Dent yêu cầu tài trợ cho một thí nghiệm về hành vi tìm-run cưỡng bức ở loài chuột đồng, trong đó đối tượng được gắn vào một đầu lò xo và quay theo một vòng tròn nằm ngang. Lò xo có chiều dài cân bằng  $b$  và tuân theo định luật Hooke với độ cứng  $k$ . Nó đủ cứng để giữ không bị cong gì nhiều dưới sức nặng của con chuột.

(a) Tính chiều dài của lò xo khi nó chịu chuyển động tròn đều trong đó mỗi vòng quay mất thời gian  $T$ . Biểu diễn kết quả của bạn theo  $k$ ,  $m$ ,  $b$  và  $T$ .

(b) Ủy ban đạo đức không hiểu sao không phủ quyết thí nghiệm, nhưng ủy ban an toàn tỏ mối quan tâm. Tại sao? Phương trình của bạn có cái gì bất thường, hay thậm chí là kì lạ không, đối với bất kì giá trị đặc biệt nào của  $T$ ? Bạn nghĩ gì về ý nghĩa vật lí của hành trạng toán học này?

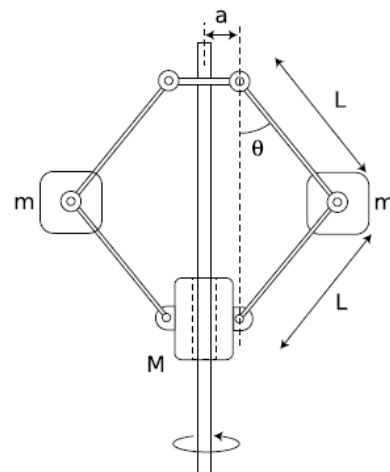
11. Hình bên cho thấy một dụng cụ kiểu cũ gọi là bộ điều tốc quả văng, dùng để giữ cho động cơ chạy ở một tốc độ chính xác. Toàn bộ vật quay xung quanh càng thẳng đứng, và khối lượng  $M$  tự do trượt lên và xuống. Khối lượng này sẽ có một mối nối (không vẽ) tới một van điều khiển động cơ. Chẳng hạn, nếu động cơ chạy quá nhanh, khối lượng đó sẽ đi lên, làm cho động cơ chạy chậm lại.

(a) Chứng minh rằng trong trường hợp đặc biệt  $a = 0$ , góc  $\theta$  được cho bởi

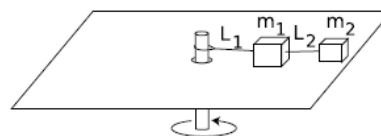
$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{m(m+M)P^2}{4\pi^2 mL} \right)$$

trong đó  $P$  là chu kì quay (thời gian cần thiết để quay tròn một vòng)

(b) Không có đáp án gần đúng nào cho  $\theta$  trong trường hợp tổng quát trong đó  $a$  khác 0. Tuy nhiên, hãy giải thích làm thế nào hành trạng tốc độ thấp có vẻ phức tạp của dụng cụ  $a = 0$  có thể cải tiến bằng cách làm cho  $a$  khác 0.



Bài 11

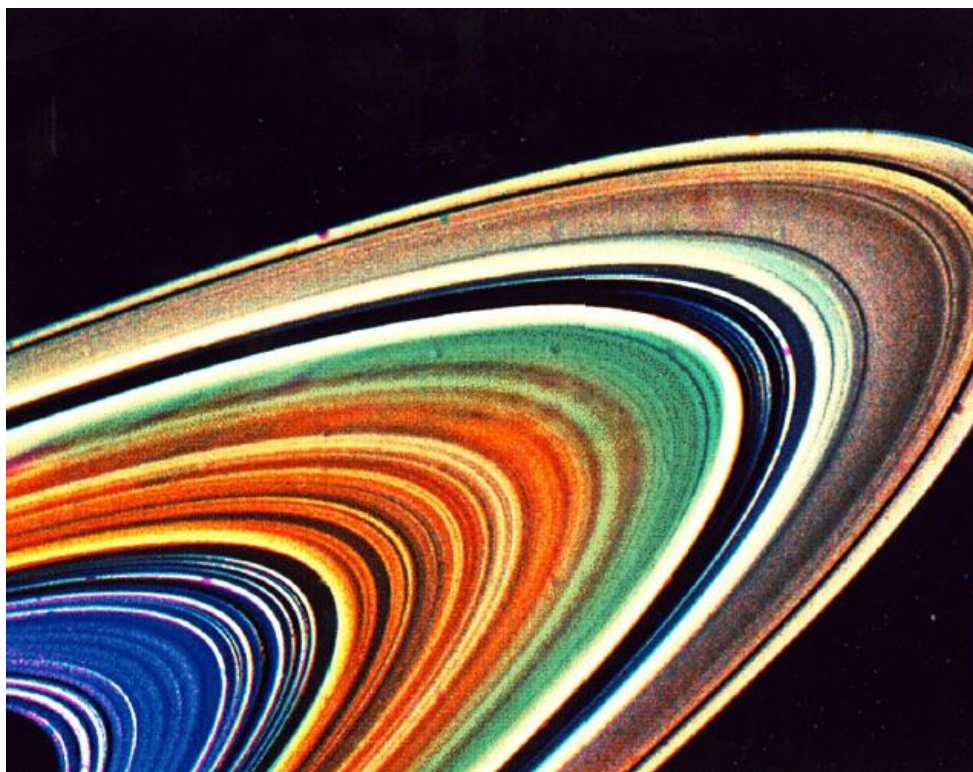


Bài 12

12. Hình bên cho thấy hai vật khối lượng  $m_1$  và  $m_2$  đang trượt theo vòng tròn trên một cái bàn không ma sát. Tìm lực căng dây nếu như chu kì quay là  $T$ .

13. Gia tốc của vật trong chuyển động tròn đều có thể cho bởi  $|\mathbf{a}| = |\mathbf{v}|^2/r$ , hoặc tương đương,  $|\mathbf{a}| = 4\pi^2 r/T^2$ , trong đó  $T$  là thời gian cần thiết cho một vòng quay (xem ví dụ 4 ở trang 180). Người A nói dựa trên phương trình thứ nhất rằng gia tốc trong chuyển động tròn thì lớn hơn khi vòng tròn nhỏ hơn. Người B, biện luận từ phương trình thứ hai, nói rằng gia tốc thì nhỏ hơn khi vòng tròn nhỏ hơn. Hãy viết lại hai công thức sao cho chúng ít gây nhầm lẫn hơn, loại trừ những thứ tưởng như là nghịch lí.





Hấp dẫn là lực duy nhất thật sự quan trọng ở quy mô vũ trụ. Bức ảnh màu không thật này của các vành Thổ tinh được thực hiện từ một bức ảnh gửi về từ tàu thám hiểm không gian Voyager 2. Các vành gồm hằng hà sa số những hạt băng nhỏ xíu quay theo quỹ đạo tròn dưới tác dụng của lực hấp dẫn của Thổ tinh.

## Chương 10

### Lực hấp dẫn

Hãy bật chiếc radio của bạn hôm nay và thử tìm bất cứ bài hát nổi tiếng nào có thể tưởng tượng được mà không có Louis Armstrong. Bằng cách đưa solo tùy hứng thành jazz, Armstrong đã tham gia vào trò chơi ráp hình của âm nhạc công chúng và lắp ráp các mảnh trở lại theo một cách khác. Tương tự như vậy, Newton đã sắp xếp lại quan niệm của chúng ta về vũ trụ. Hãy xem tựa đề của một số sách vật lý gần đây viết cho độc giả phổ thông: Hạt Thần thánh, Giác mơ về Lí thuyết cuối cùng. Khi hạt hạ nguyên tử tên gọi là neutrino gần đây được chứng minh lần đầu tiên là có khối lượng, các chuyên gia vũ trụ học bắt đầu thảo luận nghiêm túc về hệ quả mà điều này mang lại lên những tính toán về số phận tối hậu của vũ trụ: khối lượng neutrino có gây ra đủ lực hút hấp dẫn thêm nữa làm cho vũ trụ cuối cùng ngừng giãn nở và rơi trở lại với nhau hay không ? Không có Newton, những nỗ lực như thế ở mức hiểu biết phổ thông sẽ



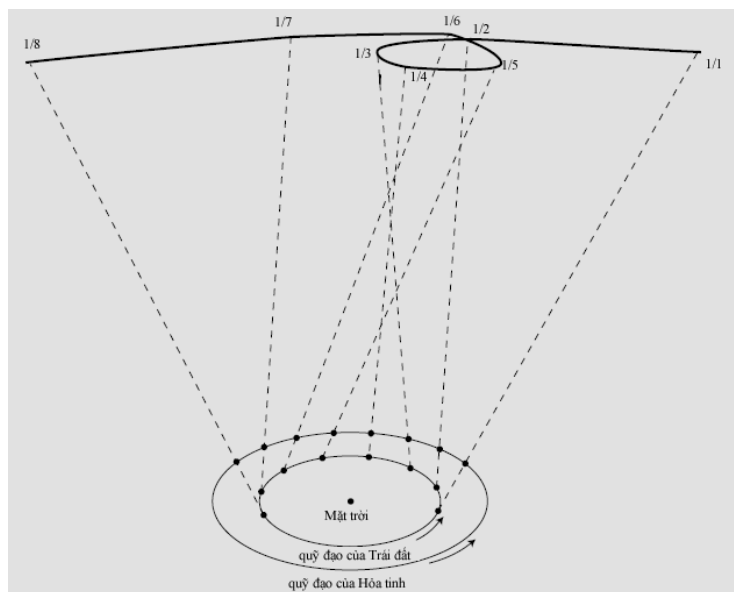
a/ Johannes Kepler đã tìm ra mô tả toán học của chuyển động của các hành tinh, cái đưa đến lí thuyết hấp dẫn của Newton



không đơn thuần là có chút tự phụ, chúng dễ dàng không xảy ra với bất kì ai.

Chương này nói về lí thuyết hấp dẫn của Newton, lí thuyết ông đã sử dụng để giải thích chuyển động của các hành tinh khi chúng quay xung quanh Mặt trời. Trong khi cuốn sách này tập trung vào các định luật Newton, để lực hấp dẫn lại làm món tráng miệng sau cùng, thì Newton đã quảng các định luật của chuyển động trong 20 trang đầu của cuốn Nguyên lí Toán học và rồi mất 130 trang tiếp theo bàn về chuyển động của các hành tinh. Rõ ràng ông xem đây là tiêu điểm khoa học quan trọng của công trình nghiên cứu của ông. Tại sao vậy ? Vì trong cuốn sách đó, ông đã chỉ ra rằng các định luật chuyển động như nhau áp dụng được cho cả trên trời và trên Trái đất, và rằng lực hấp dẫn làm một quả táo rơi giống như lực đã giữ cho chuyển động của Trái đất không đi xa khỏi Mặt trời. Cái cấp tiến ở Newton không phải là các định luật chuyển động của ông mà là quan niệm của ông về nền khoa học vật lí phổ thông.

## 10.1 Các định luật Kepler



c/ Khi Trái đất và Hỏa tinh quay xung quanh Mặt trời ở tốc độ khác nhau, hiệu ứng kết hợp của chuyển động của chúng làm cho Hỏa tinh dường như đi theo một quỹ đạo kì lạ, thất nút trên nền các sao ở xa.

Newton sẽ không thể nào hiểu nổi tại sao các hành tinh chuyển động theo kiểu của chúng nếu như không có nhà thiên văn học Tycho Brahe (1546 – 1601) và người học trò của ông là Johannes Kepler (1571 – 1630), những người cùng với nhau đã đi đến sự mô tả chính xác và đơn giản đầu tiên về các hành tinh thật sự



b/ Tycho Brahe lưu danh tên tuổi của ông là nhà thiên văn học bởi việc chỉ ra rằng ngôi sao sáng mới, ngày nay gọi là sao siêu mới, xuất hiện trên bầu trời năm 1572 nằm ở xa bên ngoài khí quyển của Trái đất. Cùng với khám phá của Galileo về các vết đen Mặt trời, điều này đã chứng minh cái ngược lại với Aristotle, bầu trời là không hoàn hảo và không bất biến. Tiếng tăm của Brahe với tư cách nhà thiên văn học đã mang ông tới sự bảo trợ của nhà vua Frederick II, cho phép ông thực hiện những phép đo chính xác cao mang tính lịch sử của mình về chuyển động của các hành tinh. Tính cách ưa tranh cãi, Brahe thích thuyết giảng cho các nhà quý tộc khác về cái xấu của việc đo sức tay đôi nhưng đã mất chiếc mũi của ông trong một cuộc đấu kiếm thời trẻ và phải thay thế nó bằng một bộ phận giả chế tạo từ hợp kim của bạc và vàng. Sẵn sàng chấp nhận tai tiếng để cưới một người nông dân, tuy thế ông đã sử dụng sức mạnh phong kiến mà nhà vua ban cho ông ra sức áp đặt lên những người dân sống trong hạt quản lí của ông. Kết quả của công trình của họ, một lâu đài kiểu Italy với một đài quan sát ở trên cùng, chắc chắn được xem là một trong những phòng thí nghiệm xa hoa nhất từng được xây dựng. Ông mất vì vỡ bàng quang sau khi té khỏi xe ngựa trên đường từ một bữa tiệc về nhà – vào thời đó, việc rời khỏi bữa tiệc tối để giải vây chính mình bị xem là mất lịch sự.

chuyển động *như thế nào*. Cái khó của công việc của họ được nêu ra bởi hình c, cho thấy làm thế nào chuyển động quỹ đạo tương đối đơn giản của Trái đất và Hỏa tinh kết hợp với nhau sao cho nhìn từ Trái đất, Hỏa tinh dường như thất thông lạng giống như một người thủy thủ say rượu.

Brahe, người cuối cùng trong số những nhà thiên văn học mắt trần, đã thu thập số liệu lâu ngày về chuyển động của các hành tinh trong khoảng thời gian nhiều năm, tiến một bước lớn từ độ chính xác của những quan sát trước đó khoảng 10 phút cung ( $10/60^\circ$ ) lên tới 1 phút chưa từng có. Chất lượng của công trình của ông được tất thấy xem là đáng chú ý hơn là đài quan sát của ông gồm bốn thước đo góc bằng đồng không lò gấn thẳng lên lâu đài của ông ở Đan Mạch. Bốn người quan sát khác nhau sẽ đồng thời đo vị trí của một hành tinh để kiểm tra lỗi và giảm sai số ngẫu nhiên.

Với cái chết của Brahe, người phụ tá cũ của ông là Kepler đã thử khai thác một số ý nghĩa là núi số liệu đó. Kepler, trái với ông chủ cũ của ông, đã hình thành một thiên kiến, hóa ra là một ý kiến chính xác, trên nền lí thuyết rằng Trái đất và các hành tinh chuyển động xung quanh Mặt trời, chứ không phải Trái đất đứng yên cố định và mọi thứ quay xung quanh nó. Mặc dù chuyển động là tương đối, nhưng nó không chỉ là vấn đề quan điểm vì sao lại chuyển động tròn. Chuyển động quay của Trái đất và sự xoay vòng quanh Mặt trời khiến nó là một hệ quy chiếu phi quán tính, gây ra những vi phạm có thể nhận ra của các định luật Newton khi người ta cố gắng mô tả các thí nghiệm đủ chính xác trong hệ quy chiếu Trái đất đứng yên. Mặc dù những thí nghiệm trực tiếp đó không được thực hiện mãi cho đến thế kỉ 19, nhưng cái thuyết phục mọi người về hệ nhật tâm vào thế kỉ 17 là Kepler có thể đi tới một bộ quy luật toán học và hình học đơn giản đến mức bất ngờ dùng cho mô tả chuyển động của các hành tinh bằng giả thiết Mặt trời trung tâm. Sau 900 trang tính toán, Kepler cuối cùng đã tổng hợp số liệu thành ba định luật sau đây:

### **định luật Kepler về quỹ đạo hình elip**

Các hành tinh quay xung quanh Mặt trời theo quỹ đạo hình elip với Mặt trời là một tiêu điểm.

### **định luật Kepler về diện tích bằng nhau**

Đường nối hành tinh với Mặt trời quét những diện tích bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau.

### **định luật Kepler về chu kì**

Thời gian cần thiết cho một hành tinh quay xung quanh Mặt trời, gọi là chu kì của nó, tỉ lệ với trục dài của elip lũy thừa  $3/2$ . Hằng số tỉ lệ là như nhau cho tất cả hành tinh.

Mặc dù quỹ đạo của các hành tinh là elip chứ không phải hình tròn, nhưng đa số rất gần với hình tròn. Quỹ đạo của Trái đất, chẳng hạn, chỉ lệch 1,7% so với hình tròn. Trong trường hợp đặc biệt của hành tinh trong quỹ đạo tròn, hai tiêu điểm trùng nhau tại tâm của vòng tròn, và định luật quỹ đạo elip của Kepler vì thế nói rằng vòng tròn có tâm ở trên Mặt trời. Định luật diện tích

bằng nhau ngụ ý rằng một hành tinh trong quỹ đạo tròn chuyển động xung quanh Mặt trời với tốc độ không đổi. Đối với quỹ đạo tròn, định luật chu kì khi đó gắn liền với một phát biểu rằng thời gian cho một hành tinh quay tỉ lệ với  $r^{3/2}$ , trong đó  $r$  là bán kính. Nếu tất cả hành tinh chuyển động trong quỹ đạo của chúng ở tốc độ như nhau, thì thời gian cho một vòng quỹ đạo đơn giản phụ thuộc vào chu vi của vòng tròn, nên nó sẽ chỉ tỉ lệ với lũy thừa một của  $r$ . Sự phụ thuộc mạnh hơn vào  $r^{3/2}$  nghĩa là các hành tinh bên ngoài phải chuyển động chậm hơn các hành tinh bên trong.

## 10.2 Định luật hấp dẫn Newton

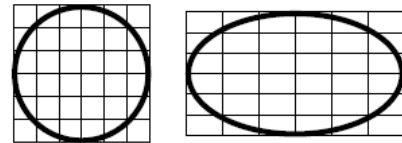
### Lực của Mặt trời tác dụng lên các hành tinh tuân theo quy luật nghịch đảo bình phương

Các định luật Kepler là sự giải thích đơn giản tuyệt vời của cái do các hành tinh thực hiện, nhưng chúng không cho biết tại sao chúng chuyển động như thế. Có phải Mặt trời tác dụng một lực hút hành tinh về phía tâm quỹ đạo của nó, hay, như Descartes đề xuất, có phải các hành tinh đang quay tròn một xoáy nước của một số chất lỏng chưa biết? Kepler, làm việc trong truyền thống Aristotle, giả thuyết rằng không chỉ có một lực hướng vào do Mặt trời tác dụng lên hành tinh, mà còn có một lực thứ hai theo hướng chuyển động giữ cho hành tinh không chậm lại. Một số người cho rằng Mặt trời đã hút các hành tinh bằng lực từ.

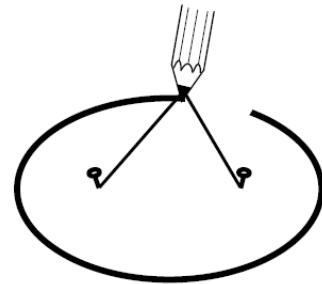
Một khi Newton đã thiết lập các định luật của ông về chuyển động và giảng dạy chúng cho một số bạn bè của ông, họ bắt đầu thử nối kết chúng với các định luật Kepler. Bây giờ rõ ràng một lực hướng vào sẽ là cần thiết để bẻ cong đường đi của hành tinh. Lực này có lẽ là sự hút giữa Mặt trời và từng hành tinh. (Mặc dù Mặt trời thật sự gia tốc theo phản ứng với sức hút của các hành tinh, nhưng khối lượng của nó quá lớn nên hiệu ứng chưa bao giờ được phát hiện bởi các nhà thiên văn tiền Newton) Vì các hành tinh bên ngoài chuyển động từ từ theo quỹ đạo cong êm dịu hơn so với các hành tinh bên trong, nên gia tốc của chúng rõ ràng nhỏ hơn. Điều này có thể giải thích nếu như lực của Mặt trời được xác định bằng khoảng cách, trở nên yếu hơn đối với các hành tinh ở xa hơn. Các nhà vật lí cũng đã quen thuộc với lực không tiếp xúc như lực điện và từ, và biết rằng chúng giảm nhanh chóng theo khoảng cách, cho nên điều này là có ý nghĩa.

Trong phép gần đúng của quỹ đạo tròn, độ lớn của lực do Mặt trời tác dụng lên các hành tinh phải là

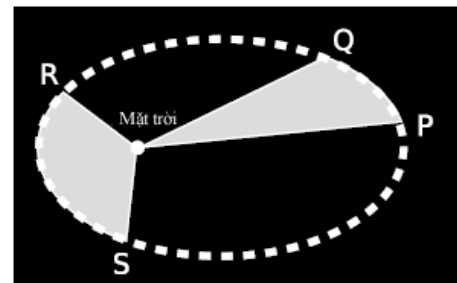
$$[1] \quad F = ma = mv^2 / r$$



d/ Elip là một vòng tròn bị bóp méo bằng cách rút ngắn và kéo dài theo những trục vuông góc nhau.



e/ Có thể dựng một elip bằng cách buộc một sợi dây với hai đinh ghim và vẽ giống như thế này với cái bút chì kéo sợi dây căng ra. Mỗi đinh ghim cấu thành một tiêu điểm của elip.



f/ Nếu khoảng thời gian mà một hành tinh cần để chuyển động từ P đến Q bằng với khoảng thời gian từ R đến S, thì theo định luật Kepler về diện tích bằng nhau, hai diện tích tô sẫm là bằng nhau. Hành tinh chuyển động trong khoảng thời gian RS nhanh hơn nó chuyển động trong khoảng thời gian PQ, sau này Newton chứng minh là do lực hút hấp dẫn của Mặt trời làm gia tốc nó. Định luật diện tích bằng nhau tiên đoán chính xác nó sẽ tăng tốc lên bao nhiêu.

Bây giờ, mặc dù phương trình này có độ lớn  $v$  của vector vận tốc trong nó, nhưng cái Newton trông đợi là có một phương trình cơ bản hơn nữa cho lực của Mặt trời tác dụng lên hành tinh, và phương trình đó sẽ có liên quan tới khoảng cách  $r$  từ Mặt trời tới vật thể, chứ không phải tốc độ  $v$  của vật – chuyển động không làm cho vật nhẹ hơn hay nặng hơn.

☺ Nếu phương trình [1] thật sự có thể áp dụng chung, thì điều gì sẽ xảy ra với một vật phóng thích ở trạng thái nghỉ trong vùng có phân bố rỗng của hệ Mặt trời ?

Như vậy, phương trình [1] là một mẫu thông tin hữu ích có thể liên hệ với số liệu về các hành tinh một cách dễ dàng vì các hành tinh dường như chuyển động theo quỹ đạo gần như tròn, nhưng Newton muốn kết hợp nó với những phương trình khác và loại trừ  $v$  về phương diện đại số để thu được sự thật sâu sắc hơn.

Để loại  $v$ , Newton sử dụng phương trình

$$[2] \quad v = \frac{\text{chuvi}}{T} = \frac{2\pi r}{T}$$

Tất nhiên phương trình này sẽ chỉ có giá trị đối với những hành tinh trong quỹ đạo gần như tròn. Đưa phương trình này vào phương trình [1] để loại  $v$  cho ta

$$[3] \quad F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$$

Kết quả này không may có tác dụng phụ mang trong nó chu kỳ  $T$  mà chúng ta mong đợi trên cơ sở vật chất tương tự sẽ không xuất hiện trong đáp số cuối cùng. Đó là nơi trường hợp quỹ đạo tròn,  $T \propto r^{3/2}$ , của định luật Kepler về chu kỳ xuất hiện. Sử dụng nó để loại  $T$  cho kết quả chỉ phụ thuộc vào khối lượng của hành tinh và khoảng cách của nó tính từ Mặt trời

$F \propto m/r^2$  [lực của Mặt trời tác dụng lên hành tinh khối lượng  $m$  ở khoảng cách  $r$  tính từ Mặt trời; hằng số tỉ lệ như nhau cho tất cả hành tinh]

(Vì định luật Kepler về chu kỳ chỉ là một sự tỉ lệ, nên kết quả cuối cùng là một tỉ lệ chứ không phải một phương trình, và không có chỗ nào để đưa vào hệ số  $4\pi^2$ )

Lấy ví dụ, hai hành tinh “song sinh” Thiên vương tinh và Hải vương tinh có khối lượng gần bằng nhau, nhưng Hải vương tinh ở xa Mặt trời gấp đôi Thiên vương tinh, nên lực hấp dẫn của Mặt trời tác dụng lên Hải vương tinh nhỏ hơn khoảng 4 lần.

60

1



g/ Gia tốc của Mặt trăng nhỏ hơn  $60^2 = 3600$  lần so với quả táo

© Hãy tiến hành đầy đủ các bước từ phương trình [3] dẫn đến  $F \propto m/r^2$ .

## Lực giữa các thiên thể trên trời cùng loại với lực hấp dẫn trên địa cầu

OK. Nhưng loại lực đó là gì ? Nó có khả năng không phải là lực từ, vì lực từ không có liên quan gì tới khối lượng. Rồi ý tưởng đến với trí tuệ vĩ đại của Newton. Nằm dưới một cây táo và ngắm Mặt trăng trên trời, ông nhìn thấy một quả táo rơi. Lẽ nào Trái đất chẳng hút Mặt trăng với cùng loại lực hấp dẫn đó ? Mặt trăng quay xung quanh Trái đất theo kiểu giống như các hành tinh quay xung quanh Mặt trời, nên có lẽ lực của Trái đất tác dụng lên quả táo rơi, lực của Trái đất tác dụng lên Mặt trăng, và lực của Mặt trời tác dụng lên hành tinh đều cùng một loại lực.

Có một cách dễ dàng kiểm tra giả thuyết này bằng số. Nếu như nó đúng, thì chúng ta mong đợi lực hấp dẫn tác dụng bởi Trái đất tuân theo quy luật  $F \propto m/r^2$  giống như lực tác dụng bởi Mặt trời, nhưng với một hằng số tỉ lệ khác phù hợp với cường độ hấp dẫn của Trái đất. Vấn đề phát sinh lúc này là làm sao xác định khoảng cách  $r$  giữa Trái đất và quả táo. Một quả táo ở nước Anh thì gần với những phần khác của Trái đất hơn những phần kia, nhưng giả sử chúng ta lấy  $r$  là khoảng cách từ tâm của Trái đất đến quả táo, tức là bán kính Trái đất. (Vấn đề làm thế nào đo  $r$  không phát sinh trong phép phân tích chuyển động của các hành tinh vì Mặt trời và các hành tinh quá nhỏ so với khoảng cách giữa chúng) Gọi hằng số tỉ lệ là  $k$ , chúng ta có

$$F_{\text{Trái đất tác dụng lên quả táo}} = km_{\text{táo}}/r_{\text{Trái đất}}^2$$

$$F_{\text{Trái đất tác dụng lên Mặt trăng}} = km_{\text{Mặt trăng}}/d_{\text{Trái đất-Mặt trăng}}^2$$

Định luật II Newton nói  $a = F/m$ , nên

$$a_{\text{táo}} = k / r_{\text{Trái đất}}^2$$

$$a_{\text{Mặt trăng}} = k / d_{\text{Trái đất-Mặt trăng}}^2$$

Nhà thiên văn người Hi Lạp Hipparchus đã tìm ra chừng 2000 năm trước đó rằng khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trăng bằng khoảng 60 lần bán kính Trái đất, nên nếu giả thuyết của Newton đúng, thì gia tốc của Mặt trăng sẽ nhỏ hơn  $60^2 = 3600$  lần gia tốc của quả táo rơi.

Áp dụng  $a = v^2/r$  cho gia tốc của Mặt trăng mang lại một gia tốc thật sự nhỏ hơn 3600 lần so với  $9,8 \text{ m/s}^2$ , và Newton đã thuyết phục ông tiết lộ bí mật của lực bí ẩn giữ Mặt trăng và các hành tinh trong quỹ đạo của chúng.

## Định luật hấp dẫn Newton

Tỉ lệ thức  $F \propto m/r^2$  đối với lực hấp dẫn tác dụng lên một vật khối lượng  $m$  chỉ có một hằng số tỉ lệ thích hợp cho các vật khác nhau nếu chúng bị tác dụng bởi lực hấp dẫn của cùng một vật. Rõ ràng sức mạnh hấp dẫn của Mặt trời lớn hơn nhiều so với của Trái đất, vì các hành tinh đều quay xung quanh Mặt trời và không biểu hiện bất kì gia tốc rất lớn nào gây ra bởi Trái đất (hay bởi một hành tinh khác). Tính chất gì của Mặt trời mang lại cho nó sức mạnh hấp dẫn lớn như thế ? Có phải thể tích của nó lớn ? Hay khối lượng của nó lớn ? Hay nhiệt độ của nó lớn ? Newton lí giải rằng nếu lực tỉ lệ với khối lượng của vật bị tác dụng, thì nó cũng sẽ có ý nghĩa nếu xác định hệ số trong sức mạnh hấp dẫn của vật tác dụng lực là khối lượng của chính nó. Giả sử không có nhân tố nào khác ảnh hưởng đến lực hấp dẫn, thì thứ duy nhất khác cần thiết phải đưa



ra các tiên đoán định lượng của lực hấp dẫn sẽ là hằng số tỉ lệ. Newton gọi hằng số tỉ lệ đó là  $G$ , cho nên sau đây là dạng thức hoàn chỉnh của định luật hấp dẫn mà ông giả thuyết.

### định luật hấp dẫn Newton

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad [\text{lực hấp dẫn giữa các vật khối lượng } m_1 \text{ và } m_2, \text{ cách nhau khoảng cách } r; r \text{ không phải là bán kính của cái gì}]$$

Newton quan niệm hấp dẫn là lực hút giữa hai khối lượng bất kì trong vũ trụ. Hằng số  $G$  cho chúng ta biết lực hút đó là bao nhiêu newton đối với hai khối lượng 1 kg cách nhau khoảng cách 1 m. Việc xác định thực nghiệm  $G$  theo đơn vị bình thường (trái với các đơn vị đặc biệt, không phải hệ mét dùng trong thiên văn học) được mô tả trong mục 10.5. Phép đo khó khăn này không được hoàn thành mãi cho đến lâu sau khi Newton qua đời.

Ví dụ 1. Đơn vị của  $G$

Đơn vị của  $G$  là gì ?

✎ Giải tìm  $G$  trong phương trình định luật hấp dẫn Newton cho ta

$$G = \frac{Fr^2}{m_1m_2}$$

Nên đơn vị của  $G$  phải là  $\text{Nm}^2/\text{kg}^2$ . Tô điểm đầy đủ với đơn vị, giá trị của  $G$  là  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ .

Ví dụ 2. Định luật III Newton

Định luật hấp dẫn Newton có phù hợp với định luật III Newton ?

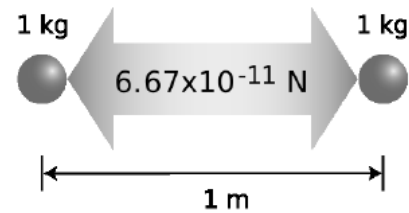
✎ Định luật III yêu cầu hai thứ. Thứ nhất, lực của  $m_1$  tác dụng lên  $m_2$  phải bằng với lực của  $m_2$  tác dụng lên  $m_1$ . Điều này thực hiện được vì tích  $m_1m_2$  cho kết quả như nhau nếu chúng ta hoán đổi các nhãn 1 và 2. Thứ hai, hai lực phải có chiều ngược nhau. Điều kiện này cũng thỏa mãn, vì định luật hấp dẫn Newton nhắc tới lực hút: mỗi khối lượng hút khối lượng kia về phía nó.

Ví dụ 3. Diêm vương tinh và Charon

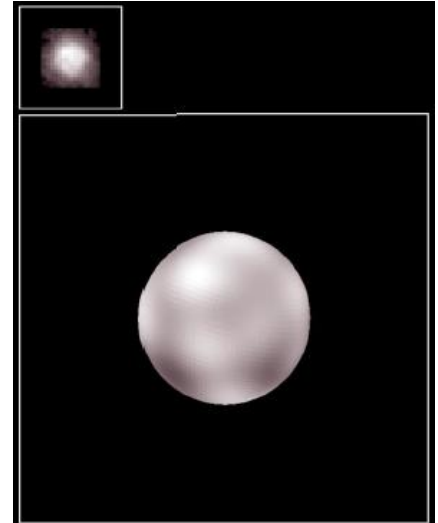
Vệ tinh Charon của Diêm vương tinh được xem là lớn bất thường cỡ kích thước Diêm vương tinh, cho chúng đặc điểm của một hành tinh đôi. Khối lượng của chúng là  $1,25 \times 10^{22}$  và  $1,9 \times 10^{21}$  kg, và khoảng cách trung bình giữa chúng là  $1,96 \times 10^4$  km. Hô lực hấp dẫn giữa chúng bằng bao nhiêu ?

✎ Nếu chúng ta muốn sử dụng giá trị của  $G$  biểu diễn theo đơn vị SI (mét-kilogram-giây), trước hết chúng ta phải đổi khoảng cách ra  $1,96 \times 10^7$  m. Lực hấp dẫn bằng

$$\frac{(6.67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2) (1.25 \times 10^{22} \text{ kg}) (1.9 \times 10^{21} \text{ kg})}{(1.96 \times 10^7 \text{ m})^2} = 4.1 \times 10^{18} \text{ N}$$



h/ Học sinh thường có thời gian khó khăn hiểu được ý nghĩa vật lý của  $G$ . Nó chỉ là một hằng số tỉ lệ cho biết lực hấp dẫn mạnh bao nhiêu. Nếu như bạn có thể thay đổi nó, thì toàn bộ lực hấp dẫn trong khắp vũ trụ sẽ trở nên mạnh hơn hoặc yếu hơn. Về số lượng, lực hút hấp dẫn giữa hai khối lượng 1 kg cách nhau khoảng cách 1 m là  $6,67 \times 10^{-11}$  N, và đây là giá trị  $G$  trong hệ đơn vị SI.



i/ Ảnh đã hiệu chỉnh máy tính của Diêm vương tinh và Charon, chụp bằng Kính thiên văn vũ trụ Hubble.



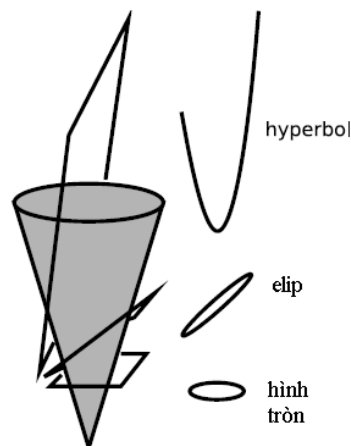
Tính tỉ lệ với  $1/r^2$  trong định luật hấp dẫn không phải hoàn toàn không mong muốn. Tỉ lệ với  $1/r^2$  được tìm thấy trong nhiều hiện tượng khác trong đó một số tác động trải ra từ một điểm. Chẳng hạn, cường độ ánh sáng phát ra từ một ngọn nến tỉ lệ với  $1/r^2$ , vì ở khoảng cách  $r$  tính từ ngọn nến, ánh sáng phải phân tán ra trên bề mặt quả cầu tương đương diện tích  $4\pi r^2$ . Điều tương tự đúng cho cường độ âm thanh phát ra từ pháo nổ, hay cường độ bức xạ gamma phát ra bởi lò phản ứng Chernobyl. Tuy nhiên, điều quan trọng cần nhận ra là đây chỉ là một sự tương tự. Lực không truyền qua không gian như âm thanh hay ánh sáng, và lực không phải là một chất có thể phân tán dày hơn hay mỏng hơn như bơ trên bánh mì.

Mặc dù một số người đương thời của Newton biện luận rằng lực hấp dẫn có lẽ tỉ lệ với  $1/r^2$ , nhưng không ai trong số họ, kể cả những người đã biết các định luật chuyển động của Newton, có may mắn chứng minh được rằng quỹ đạo thu được sẽ là elip, như Kepler tìm được theo lối kinh nghiệm. Newton thật sự thành công ở việc chứng minh rằng quỹ đạo elip sẽ thu được một lực  $1/r^2$ , nhưng chúng ta hoãn phép chứng minh lại cho đến phần cuối của tập sách tiếp theo vì nó có thể thực hiện dễ hơn nhiều bằng khái niệm năng lượng và xung lượng góc.

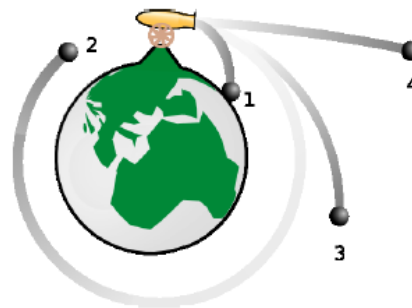
Newton còn tiên đoán rằng các quỹ đạo hình hyperbol sẽ là có thể, và ông đã đúng. Một số sao chổi, chẳng hạn, quay xung quanh Mặt trời theo những elip rất thon dài, nhưng những sao chổi khác đi qua hệ Mặt trời theo quỹ đạo hyperbol, chưa bao giờ quay lại. Giống như quỹ đạo của một quả bóng ném nhanh hơn thì phẳng hơn quỹ đạo của một quả bóng ném chậm hơn, độ cong của quỹ đạo hành tinh phụ thuộc vào tốc độ của nó. Một con tàu vũ trụ có thể được phóng ở tốc độ tương đối thấp, mang lại quỹ đạo tròn xung quanh Trái đất, hay nó có thể được phóng ở tốc độ cao hơn, mang lại quỹ đạo elip cong dịu hơn đi được xa hơn tính từ Trái đất, hay nó có thể được phóng ở tốc độ rất cao đưa nó vào quỹ đạo hyperbol còn ít cong hơn. Khi bạn đi rất xa khỏi một hyperbol, nó tiến tới gần như là đường thẳng, tức là độ cong của nó rất cuộc gần như bằng không.

Newton còn có thể chứng minh rằng định luật II Kepler (diện tích quét bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau) là một hệ quả hợp lí của định luật hấp dẫn của ông. Kiểu chứng minh của Newton có phần phức tạp, nhưng việc chứng minh trở nên không đáng kể một khi bạn hiểu khái niệm xung lượng góc, nó sẽ được bàn tới trong phần sau của bộ sách này. Việc chứng minh vì thế sẽ hoãn lại cho đến mục 5.7 của sách tập 2.

☺ Định luật Kepler nào có ý nghĩa áp dụng cho quỹ đạo hyperbol ?



j/ Các đường conic là những đường cong tạo ra bằng cách cắt một hình nón vô hạn bằng một mặt phẳng.



k/ Một khẩu đại bác tương tự có thể bắn ra những quả đạn ở tốc độ rất cao đặt trên đỉnh của một ngọn núi tương tự, rất cao chạm tới trên cùng tầng khí quyển. Phụ thuộc vào tốc độ viên đạn được bắn ra, nó có thể đi vào một quỹ đạo elip cong sát sao, 1, một quỹ đạo tròn, 2, một quỹ đạo elip to hơn, 3, hay một quỹ đạo hyperbol gần như thẳng, 4.

☺ A. Làm thế nào Newton có thể tìm được tốc độ của Mặt trăng để đưa vào biểu thức  $a = v^2/r$  ?

B. Hai quả đạn pháo khối lượng khác nhau bắn ra khỏi khẩu súng nằm trên mặt đất ở cùng tốc độ và góc thì sẽ đi theo cùng quỹ đạo, giả sử rằng ma sát không khí là không đáng kể. (Bạn có thể xác nhận điều này bằng cách ném hai vật cùng nhau từ tay bạn và xem chúng có tách ra hay vẫn chuyển động sát bên nhau) Điều gì tương ứng với thực tế đúng cho các vệ tinh của Trái đất có khối lượng khác nhau ?

C. Phát biểu sau đây sai ở chỗ nào ? “Một ngôi sao chổi trong quỹ đạo elip tăng tốc khi nó tiến gần tới Mặt trời, vì lực của Mặt trời tác dụng lên nó tăng lên”.

D. Tại sao lại không có ý nghĩa việc trông đợi lực hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên quả bóng bowling tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa các bề mặt của chúng thay vì tâm của chúng ?

E. Trái đất có bị gia tốc vì Mặt trăng tác dụng lực hấp dẫn lên nó không ? Giả sử có hai hành tinh liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn kiểu như Trái đất và Mặt trăng, nhưng hai hành tinh có khối lượng bằng nhau. Chuyển động của chúng sẽ trông như thế nào ?

F. Tàu không gian thường hoạt động bằng cách bật động cơ của chúng chỉ trong vài ba phút một lần, và tàu thăm dò liên hành tinh sẽ mất hàng tháng hoặc hàng năm trên hành trình đến mục tiêu của nó mà không được đẩy. Giả sử một phi thuyền ở trong quỹ đạo tròn xung quanh Hỏa tinh, và sau đó trong khoảng thời gian ngắn nó bật động cơ về phía ngược lại, gây ra sự giảm vận tốc đột ngột. Điều này sẽ ảnh hưởng gì tới quỹ đạo của nó ? Còn nếu bật động cơ đẩy ra phía trước thì sao ?

## 10.3 Sự mất trọng lượng biểu kiến

Nếu bạn hỏi ai đó tại trạm xe bus tại sao các nhà du hành vũ trụ không có trọng lượng, thì có khả năng bạn sẽ nhận được một trong hai câu trả lời không chính xác sau đây:

(1) Họ không trọng lượng vì họ ở cách Trái đất quá xa.

(2) Họ không trọng lượng vì họ chuyển động quá nhanh.

Câu trả lời thứ nhất sai vì phần lớn các nhà du hành chưa bao giờ đi xa quá 1000 dặm khỏi bề mặt Trái đất. Sự giảm lực hấp dẫn gây ra bởi độ cao của họ là đáng kể, nhưng không phải 100%. Câu trả lời thứ hai sai vì định luật hấp dẫn Newton chỉ phụ thuộc vào khoảng cách, chứ không phải tốc độ.

Câu trả lời đúng là các nhà du hành trong quỹ đạo xung quanh Trái đất thật ra không phải không có trọng lượng. Sự mất trọng lượng của họ chỉ là biểu kiến. Nếu không có lực hấp dẫn tác dụng lên phi thuyền, nó sẽ tuân theo định luật I Newton và đi khỏi theo đường thẳng, chứ không quay tròn xung quanh Trái đất. Như thế, các nhà du hành ở bên trong tàu vũ trụ trên quỹ đạo giống hệt như chính con tàu, với lực hấp dẫn của Trái đất liên tục xoay vector vận tốc của họ quay tròn. Nguyên nhân khiến họ dường như không có trọng lượng là ở trong cùng quỹ đạo như con tàu vũ trụ, nên cho dù lực hấp dẫn của Trái đất bẻ cong quỹ đạo của họ xuống phía boong tàu, nhưng boong tàu lại rơi bên dưới họ với cùng tốc độ đó.

Sự mất trọng lượng biểu kiến cũng có thể trải nghiệm trên Trái đất. Hễ khi nào bạn nhảy lên trong không khí, bạn đã chịu cùng loại mất trọng lượng biểu kiến như các nhà du hành vũ trụ. Khi ở trong không khí, bạn có thể nâng tay của mình lên dễ dàng hơn lúc bình thường, vì lực hấp dẫn không làm cho chúng rơi nhanh hơn phần còn lại của cơ thể bạn, nó rơi bên dưới chúng. Lực lượng không quân nước Nga hiện nay nhận đưa những vị khách du lịch nước ngoài giàu có lên

một chiếc máy bay chở hàng to và cho họ cảm giác không trọng lượng trong khoảng thời gian ngắn trong khi máy bay hạ xuống và thả rơi giống như một hòn đá.

## 10.4 Phép cộng vector các lực hấp dẫn

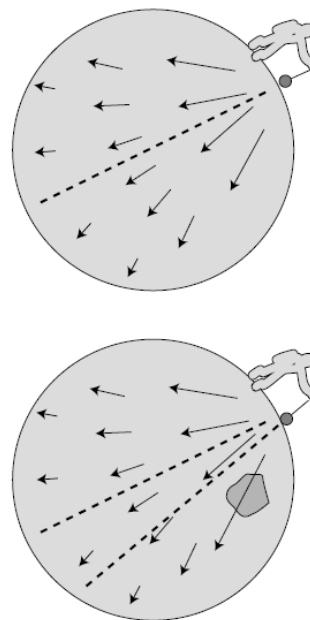
*Hãy nhặt một bông hoa trên Trái đất và bạn chuyển đến vì sao xa xôi nhất.*

Paul Dirac

Khi bạn đứng trên Trái đất thì phần nào của Trái đất đang hút bạn xuống dưới bằng lực hấp dẫn của nó? Đa số mọi người liều lĩnh nói rằng tác dụng đó chỉ đến từ phần nằm ngay bên dưới bạn, vì lực hấp dẫn luôn luôn hút thẳng đứng xuống. Ở đây có ba quan sát có thể giúp bạn thay đổi quan điểm:

- Nếu bạn nhảy lên trong không khí, lực hấp dẫn không ngừng tác dụng lên bạn chỉ vì bạn không chạm tới Trái đất: lực hấp dẫn là lực không tiếp xúc. Điều đó nghĩa là bạn không thoát khỏi lực hấp dẫn của các phần ở xa của hành tinh chúng ta chỉ vì bạn không tiếp xúc với chúng.
- Lực hấp dẫn không bị chặn lại bởi vật chất ở giữa. Chẳng hạn, trong hiện tượng nguyệt thực, Trái đất nổi thẳng hàng giữa Mặt trời và Mặt trăng, nhưng chỉ ánh sáng Mặt trời bị chặn lại không tới được Mặt trăng, chứ không phải lực hấp dẫn – nếu lực hấp dẫn của Mặt trời tác dụng lên Mặt trăng bị chặn lại trong tình huống này, thì các nhà thiên văn học sẽ có thể nói vì gia tốc của Mặt trăng thay đổi đột ngột. Một ví dụ tinh tế hơn nhưng dễ quan sát hơn là thủy triều gây ra bởi lực hấp dẫn của Mặt trăng, và hiệu ứng thủy triều có thể xảy ra ở phía Trái đất đối diện ngược lại phía Mặt trăng. Như vậy, các phần bên kia Trái đất không bị cản lại việc hút bạn với lực hấp dẫn của chúng chỉ vì có vật chất khác giữa bạn và chúng.
- Các nhà thăm dò đôi khi tìm kiếm các quặng mỏ bên dưới lòng đất bằng cách đo hướng của lực hấp dẫn địa phương, tức là hướng các vật rơi hoặc hướng dây dọi treo quả lắc. Chẳng hạn, lực hấp dẫn trong vùng ở phía tây một quặng mỏ như thế sẽ hướng theo đường hơi lệch sang phía đông của tâm Trái đất. Đúng là vì lực hấp dẫn tổng hợp tác dụng lên bạn hướng xuống, điều đó không có nghĩa là chỉ các phần của Trái đất nằm ngay bên dưới bạn đang hút bạn. Nó chỉ là vì các thành phần ngang của tất cả các vector lực tác dụng lên bạn tiến rất gần đến triệt tiêu nhau.

Một centi mét khối dung nham trong lớp bao của Trái đất, một hạt cát trong ngọn núi Kilimanjaro, và một con bọ chết trên con mèo ở Paris đều hút bạn với lực hấp dẫn của chúng. Cái bạn cảm nhận là tổng vector của tất cả các lực hấp dẫn tác dụng bởi tất cả các nguyên tử của hành tinh chúng ta, và nói rộng ra là bởi tất cả các nguyên tử trong vũ trụ.

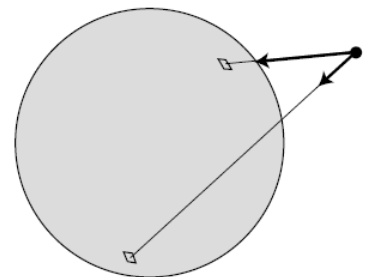


1/ Lực hấp dẫn dường như chỉ hút thẳng xuống vì tính đối xứng gần như hoàn hảo của Trái đất làm cho các thành phần ngang của hợp lực triệt tiêu hầu như chính xác với nhau. Nếu sự đối xứng bị phá vỡ, ví dụ bởi một mỏ khoáng vật rắn đặc, thì hợp lực hơi nghiêng sang bên.

Khi Newton kiểm tra lý thuyết hấp dẫn của ông bằng cách so sánh gia tốc quỹ đạo của Mặt trăng với gia tốc của quả táo rơi trên Trái đất, ông đã giả thiết ông có thể tính lực của Trái đất tác dụng lên quả táo bằng khoảng cách từ quả táo đến tâm của Trái đất. Có phải ông đã sai? Xét cho cùng, không phải là tâm của Trái đất hút quả táo, mà là toàn bộ Trái đất. Một kilogram bụi nằm vài feet bên dưới sân vườn của ông ở nước Anh có lực tác dụng lên quả táo lớn hơn nhiều so với lực của một kilogram đất đá tan chảy nằm sâu dưới nước Australia, cách xa hàng ngàn dặm. Thật ra không có lý do rõ ràng nào lý giải lực sẽ sai lệch nếu bạn giả thiết rằng toàn bộ khối lượng của Trái đất tập trung tại tâm của nó. Đồng thời, chúng ta biết rằng Trái đất có một số phần thì đậm đặc hơn, và một số phần thì kém đậm đặc hơn. Lớp vỏ rắn mà chúng ta sống trên đó được xem là kém đậm đặc hơn lớp đá tan chảy bên dưới mà nó trôi trên đó. Kể hết các yếu tố đó thì việc tính tổng vector của tất cả các lực tác dụng bởi toàn bộ các phần của Trái đất sẽ là một công việc rối rắm kinh khủng.

Thật ra, Newton có những lý giải có vẻ toán học khi xem khối lượng Trái đất như thể nó tập trung tại tâm Trái đất. Trước hết, mặc dù Newton không chút hoài nghi rằng mật độ của Trái đất là không đồng đều, nhưng ông biết rằng hướng của lực hấp dẫn tổng hợp của nó rất gần hướng thẳng vào tâm Trái đất. Đó là bằng chứng mạnh mẽ cho thấy sự phân bố khối lượng là rất đối xứng, cho nên chúng ta có thể xem Trái đất là cấu thành từ nhiều lớp, giống như củ hành, với từng lớp có mật độ không đồng đều khắp. (Ngày nay có bằng chứng khác cho sự đối xứng qua các phép đo cách thức các dao động từ động đất và vụ nổ hạt nhân truyền qua Trái đất) Khi đó Newton tập trung vào các lực hấp dẫn tác dụng bởi từng lớp vỏ mỏng như thế, và chứng minh định lý toán học sau đây, gọi là định lý lớp vỏ:

Nếu một vật nằm bên ngoài một vỏ cầu mỏng có khối lượng, thì tổng vector của tất cả các lực hấp dẫn tác dụng bởi tất cả các phần của lớp vỏ bằng như thể khối lượng của lớp vỏ tập trung tại tâm của nó. Nếu vật nằm bên trong lớp vỏ, thì toàn bộ lực hấp dẫn triệt tiêu chính xác với nhau.



Đối với lực hấp dẫn Trái đất, mỗi lớp vỏ tác dụng như thể khối lượng của nó tập trung tại tâm của Trái đất, cho nên kết quả cuối cùng bằng như thể toàn bộ khối lượng của Trái đất tập trung tại tâm của nó.

Phần thứ hai của định lý lớp vỏ, về lực hấp dẫn triệt tiêu bên trong lớp vỏ, có một chút bất ngờ. Hiển nhiên các lực sẽ triệt tiêu nhau hết nếu bạn ở tại đúng tâm của vỏ cầu, nhưng tại sao chúng vẫn triệt tiêu nhau hoàn toàn nếu bạn ở bên trong vỏ cầu nhưng không phải tại tâm? Toàn bộ ý tưởng có thể trông thật trừu tượng, vì chúng ta không biết có hành tinh rỗng nào trong hệ Mặt trời của chúng ta mà các nhà du hành hi vọng có thể đến thăm, nhưng thật ra nó là một kết quả hữu ích cho việc tìm hiểu lực hấp dẫn bên trong Trái đất, nó là một vấn đề quan trọng trong địa chất học. Trong một hầm mỏ ở sâu, ví dụ 2 km, chúng ta có thể sử dụng định lý lớp vỏ để cho chúng ta biết rằng 2 km bên ngoài của Trái đất không có tác dụng hấp dẫn tổng hợp nào, và

m/ Một vật nằm bên ngoài một vỏ cầu có khối lượng sẽ chịu lực hấp dẫn từ mỗi phần của lớp vỏ - các lực mạnh hơn từ những phần gần hơn, và các lực yếu hơn từ những phần ở xa hơn. Định lý lớp vỏ phát biểu rằng tổng vector của tất cả các lực là bằng như thể toàn bộ khối lượng tập trung tại tâm của lớp vỏ.

lực hấp dẫn bằng với cái được sinh ra nếu như những phần còn lại, ở sâu hơn, của Trái đất đều tập trung tại tâm của nó.

☺ Giả sử bạn đang ở đáy của một hầm mỏ sâu, nghĩa là bạn vẫn ở cách khá xa tâm của Trái đất. Định lý lớp vỏ nói rằng lớp vỏ khối lượng mà bạn ở bên trong tác dụng hợp lực bằng không lên bạn. Hãy thảo luận xem các phần của lớp vỏ hút bạn theo hướng nào, và những lực này mạnh bao nhiêu. Giải thích tại sao ít nhất cũng đáng tin cậy là chúng triệt tiêu nhau.

☺ A. Nếu bạn cầm một quả táo, hỏi quả táo có tác dụng lực hấp dẫn lên Trái đất không ? Có phải nó yếu hơn lực hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên quả táo ? Tại sao Trái đất không gia tốc lên phía trên khi bạn thả rơi quả táo ?

B. Khi nhà du hành vũ trụ đi từ Trái đất lên Mặt trăng, lực hấp dẫn tác dụng lên họ thay đổi như thế nào khi họ di chuyển ?

C. Lực hấp dẫn ở tiền sảnh tầng một của một tòa nhà chọc trời đồ sộ so như thế nào với lực hấp dẫn trên một cánh đồng rộng mở ngoài ngoại ô thành phố ?

D. Trong vài tỉ năm, Mặt trời sẽ bắt đầu trải qua những thay đổi cuối cùng làm cho nó phồng to thành một sao kền đỏ. (Gần lúc bắt đầu quá trình này, các đại dương của Trái đất sẽ bốc hơi, và cuối cùng, Mặt trời có khả năng sẽ nuốt chửng Trái đất hoàn toàn) Khi bề mặt Mặt trời bắt đầu tiến ngày càng gần đến Trái đất, thì quỹ đạo của Trái đất sẽ bị ảnh hưởng như thế nào ?

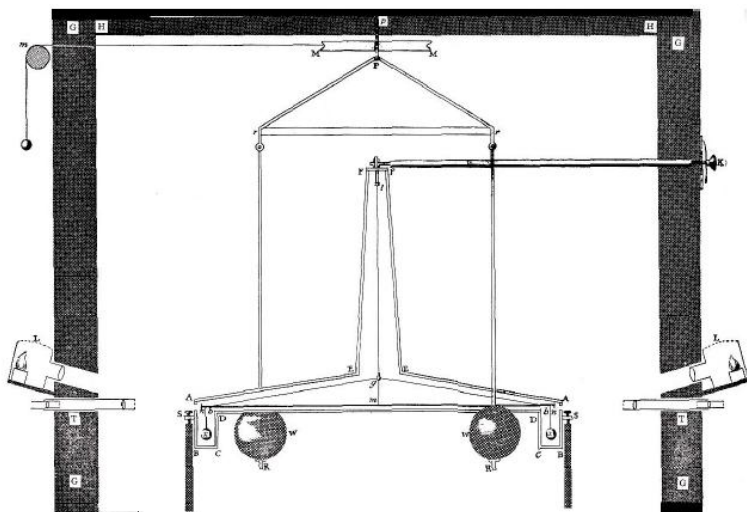
## 10.5 Cân nặng trên Trái đất

Hãy xét cụ thể hơn việc ứng dụng định luật hấp dẫn Newton cho các vật ở trên mặt đất. Vì lực hấp dẫn của Trái đất là bằng như thể khối lượng của nó tập trung hết tại tâm của nó, nên lực tác dụng lên một vật khối lượng  $m$  đang rơi được cho bởi

$$F = GM_D m / r_D^2$$

Gia tốc của vật bằng  $F/m$ , nên khối lượng của vật triệt tiêu và chúng ta có gia tốc bằng nhau cho mọi vật rơi, như chúng ta đã biết, ta có:

$$g = GM_D / r_D^2$$



n/ Thiết bị Cavendish. Hai quả cầu lớn đặt cố định trong không gian, nhưng thanh treo hai quả cầu nhỏ thì tự do xoắn dưới tác dụng của lực hấp dẫn.



Newton chẳng biết khối lượng của Trái đất hay giá trị số của hằng số hấp dẫn  $G$ . Nhưng nếu ai đó có thể đo  $G$ , thì đó có khả năng là lần đầu tiên trong lịch sử đo được khối lượng của Trái đất! Cách duy nhất đo  $G$  là đo lực hấp dẫn giữa hai vật khối lượng đã biết, nhưng đó một công việc cực kì khó khăn, vì lực hấp dẫn giữa hai vật kích cỡ bình thường thì cực kì nhỏ. Nhà vật lí người Anh Henry Cavendish là người đầu tiên thành công, sử dụng thiết bị như trong hình n và o. Hai quả cầu lớn là hai quả cầu chì đường kính 8 inch, và mỗi quả hút quả cầu nhỏ ở gần nó. Hai quả cầu nhỏ treo ở hai đầu của một thanh ngang, thanh đó lại được treo bằng một sợi chỉ mảnh. Cơ cấu treo hai quả cầu lớn có thể quay bằng tay xung quanh một trục thẳng đứng, sao cho chẳng hạn quả cầu lớn ở phía bên phải hút quả cầu nhỏ kéo bên nó về phía chúng ta và trong khi đó quả cầu nhỏ ở phía bên trái bị hút ra xa chúng ta. Sợi chỉ treo hai quả cầu nhỏ vì thế bị xoắn đi một góc nhỏ, và lực hấp dẫn thực sự có thể được xác định. Cavendish lắp đặt toàn bộ thiết bị trong phòng riêng ở nhà ông, đóng hết cửa ngăn không cho gió làm nhiễu thiết bị tinh vi. Kết quả phải được quan sát qua kính viễn vọng gắn qua lỗ khoan trên tường. Thí nghiệm của Cavendish mang lại giá trị bằng số đầu tiên cho  $G$  và cho khối lượng Trái đất. Giá trị được chấp nhận hiện nay của  $G$  là  $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ .



o/ Phiên bản đơn giản hóa của thiết bị Cavendish, nhìn từ trên xuống.

Biết được  $G$  không những cho phép xác định khối lượng Trái đất mà còn xác định khối lượng Mặt trời và những hành tinh khác. Chẳng hạn, bằng cách quan sát gia tốc của một trong những vệ tinh của Mộc tinh, chúng ta có thể suy ra khối lượng của Mộc tinh. Bảng sau đây cho khoảng cách của các hành tinh tính từ Mặt trời và khối lượng của Mặt trời và các hành tinh.

	Khoảng cách trung bình tính từ Mặt trời, theo đơn vị khoảng cách trung bình của Trái đất tính từ Mặt trời	Khối lượng, theo đơn vị khối lượng Trái đất
Mặt trời	—	330.000
Thủy tinh	0,38	0,056
Kim tinh	0,72	0,82
Trái đất	1	1
Hỏa tinh	1,5	0,11
Mộc tinh	5,2	320
Thổ tinh	9,5	95
Thiên vương tinh	19	14
Hải vương tinh	30	17
Diêm vương tinh	39	0,002



☺ A. Thật khó cho Cavendish bắt tay vào thiết kế một thí nghiệm mà không có ít nhất chút ý tưởng nào về bậc độ lớn của  $G$ . Làm thế nào ông có thể ước tính nó phù hợp trong phạm vi hệ số 10 ?

B. Giải thích chi tiết làm thế nào người ta xác định khối lượng Mặt tinh bằng cách quan sát gia tốc của một trong các vệ tinh của nó. Tại sao điều duy nhất cần thiết là biết gia tốc của vệ tinh, chứ không phải lực thực sự tác dụng lên nó ? Tại sao chúng ta không cần biết khối lượng của vệ tinh ? Còn một hành tinh không có vệ tinh, như Kim tinh, thì sao – làm thế nào tìm được khối lượng của nó ?

C. Hằng số hấp dẫn  $G$  rất khó đo chính xác, và được biết kém chính xác nhất trong những con số cơ bản của vật lý học như tốc độ ánh sáng, khối lượng electron... Nhưng đó là trong hệ mks, dựa trên mét làm đơn vị chiều dài, kilogram làm đơn vị khối lượng, và giây làm đơn vị thời gian. Các nhà thiên văn thỉnh thoảng lại sử dụng một hệ đơn vị khác, trong đó đơn vị khoảng cách, gọi là đơn vị thiên văn hay AU, là bán kính của quỹ đạo Trái đất, đơn vị khối lượng là khối lượng của Mặt trời, và đơn vị thời gian là năm (tức là thời gian cần thiết cho Trái đất quay một vòng quanh Mặt trời). Trong hệ đơn vị này,  $G$  có một giá trị số chính xác đơn giản là vấn đề định nghĩa. Vậy giá trị đó là gì ?

## 10.6 Bằng chứng cho lực hấp dẫn đẩy

Cho đến gần đây, các nhà vật lý vẫn nghĩ rằng họ đã hiểu lực hấp dẫn khá tốt. Einstein đã cải tiến lý thuyết Newton, nhưng những đặc điểm nhất định của lực hấp dẫn đã được xác lập vững chắc. Một tính chất như vậy là chúng luôn luôn là lực hút. Nếu hấp dẫn luôn luôn là hút nhau, thì một câu hỏi hợp lý là tại sao vũ trụ không co lại. Newton đã trả lời câu hỏi này bằng phát biểu rằng nếu vũ trụ là vô hạn theo mọi hướng, thì nó sẽ không có tâm hình học nào để cho nó co lại; các lực đặt lên bất kì ngôi sao hay hành tinh nào tác dụng bởi những phần vũ trụ ở xa sẽ có xu hướng triệt tiêu nhau bởi sự đối xứng. Tuy nhiên, những tính toán thận trọng hơn cho thấy vũ trụ của Newton sẽ có xu hướng co lại ở những quy mô nhỏ: bất kì phần nào của vũ trụ dường như hơi đậm đặc hơn trung bình sẽ hút nhiều hơn, và sự co này sẽ mang lại lực hấp dẫn mạnh hơn, làm cho sự co lại còn nhanh hơn nữa, và vân vân.

Khi Einstein trùng tu thuyết hấp dẫn, vấn đề tương tự đã dựng lên trong những cái đầu chống đối. Giống như Newton, Einstein đi đến tin rằng vũ trụ là tĩnh tại, cho nên ông đã thêm một số hạng đầy đặc biệt vào các phương trình của ông, định ngăn cản sự co lại. Số hạng này không có liên quan đến bất kì lực hút nào của khối lượng đối với khối lượng, mà đơn thuần biểu diễn cho một xu hướng chung của không gian tự nó dẫn nở trừ khi bị kiềm chế bởi vật chất cư ngụ trong nó. Thành ra lời giải của Einstein, giống như của Newton, là không bền. Ngoài ra, người ta sớm phát hiện bằng quan sát rằng vũ trụ đang dẫn nở, và điều này được hiểu bằng cách tạo ra mô hình Big Bang, theo đó sự dẫn nở hiện nay của vũ trụ là kết quả của một vụ nổ hết sức nóng bỏng. Một vũ trụ đang dẫn nở, không giống như vũ trụ tĩnh, có khả năng giải thích với các phương trình Einstein, mà không cần số hạng đầy nào hết. Sự dẫn nở của vũ trụ đơn giản sẽ chậm dần theo thời gian do lực hút hấp dẫn. Sau những phát triển này, Einstein đã phát biểu buồn rầu rằng việc thêm vào số hạng đầy, gọi là hằng số vũ trụ học, là sai lầm lớn nhất của cuộc đời ông.

Đây là trạng thái của mọi thứ cho đến năm 1999, khi bằng chứng bắt đầu xoay chuyển rằng sự dẫn nở của vũ trụ đang nhanh dần chứ không phải chậm dần! Bằng chứng thứ nhất đến từ việc sử dụng kính thiên văn làm một loại cỗ máy thời gian: ánh sáng phát ra từ một thiên hà ở xa có thể mất hàng tỉ năm để đi đến chúng ta, cho nên chúng ta đang nhìn nó khi nó ở rất xa

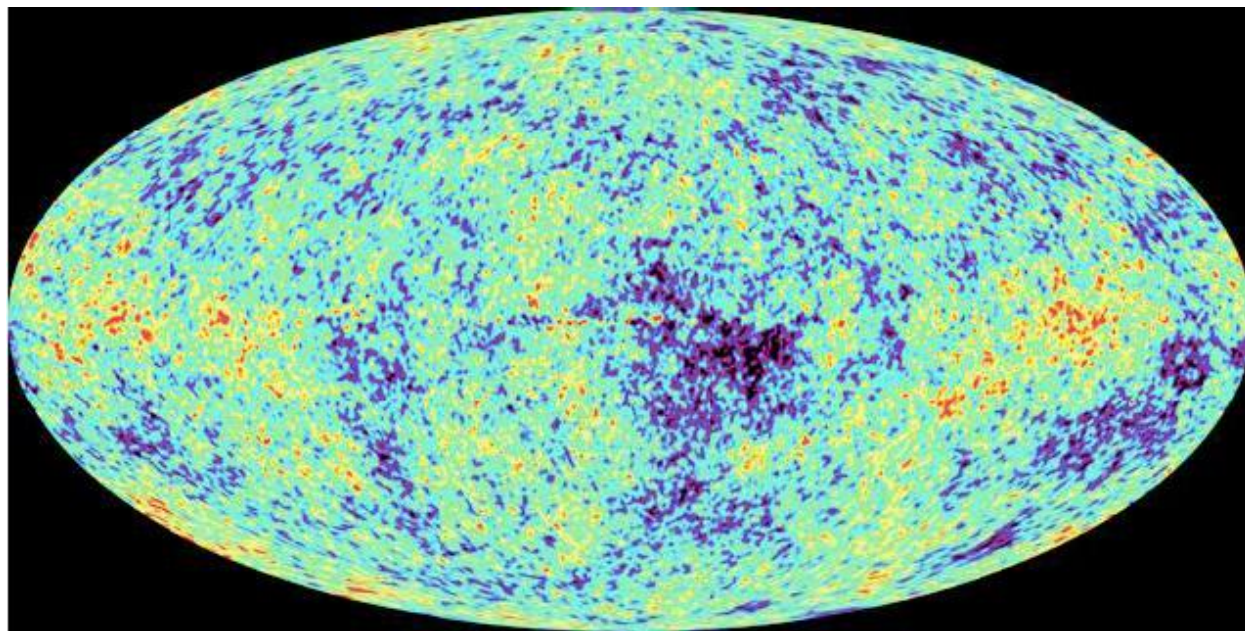
trong quá khứ. Nhìn ngược dòng thời gian, các nhà thiên văn thấy vũ trụ dần nở ở tốc độ có phần chậm hơn, chứ không nhanh hơn. Lúc đây, họ thấy xấu hổ, vì điều này đúng là ngược lại với cái được trông đợi. Chất lượng thống kê của số liệu cũng không đủ tốt để mang lại bằng chứng chắc chắn, và có những lo ngại về sai số hệ thống. Tuy nhiên, trường hợp dần nở đang tăng tốc đã bị tóm gọn bởi việc lập bản đồ chính xác cao của ánh le lói mờ nhạt, khắp nơi của Big Bang, gọi là nền vi sóng vũ trụ. Một số nhà lí thuyết đã đề xuất làm hồi sinh lại hằng số vũ trụ học của Einstein để giải thích sự gia tốc, còn những người khác thì tin rằng nó là bằng chứng cho một dạng bí ẩn của vật chất biểu hiện lực đẩy hấp dẫn. Tên gọi chung cho thứ vật chất chưa biết này là “năng lượng tối”. Một số ý kiến gần đây về đề tài này có thể tìm đọc trên số tháng 1/2001 của Scientific American có sẵn online tại

<http://www.sciam.com/issue.cfm?issueDate=Jan-01>

Các phép đo nền vi sóng nhắc tới ở trên đã được cải thiện bởi một tàu thăm dò vũ trụ gọi là WMAP, và không còn có nhiều chỗ cho sự nghi ngờ về lực đẩy hấp dẫn nữa. Một bài báo mô tả những kết quả này, đăng trên trang nhất của tờ New York Times hôm 12/02/2003 có sẵn online tại

<http://www.nytimes.com/2003/02/12/science/12COSM.html>

(cần đăng kí miễn phí)



p/ Bản đồ nền vi sóng vũ trụ của tàu thăm dò WMAP trông giống như một “bức tranh thời trẻ” của vũ trụ.

Các nhà thiên văn học tự xem họ đã đi vào một kỉ nguyên mới của vũ trụ học độ chính xác cao. Tàu thăm dò WMAP, ví dụ, đã đo tuổi của vũ trụ là  $13.7 \pm 0.2$  tỉ năm, một con số trước đây chỉ được phát biểu mù mờ là từ 10 đến 12 tỉ. Chúng ta biết rằng chỉ 4% vũ trụ là các nguyên tử, với 23% gồm các hạt hạ nguyên tử chưa biết, và 73% là năng lượng tối. Thật có chút gì đó hơi châm biếm là biết về nhiều thứ với độ chính xác cao như thế, và cho đến nay người ta hầu như chưa biết gì về bản chất của chúng. Chẳng hạn, chúng ta biết chính xác 96% vũ trụ là cái gì đó không phải nguyên tử, nhưng chúng ta biết chính xác chẳng biết cái gì đó là cái gì.

## Tóm tắt chương 10

### Từ khóa chọn lọc

elip .....	hình tròn bị bóp méo; một trong các đường conic
đường conic .....	đường cong hình thành bởi giao tuyến của một mặt phẳng và một hình nón vô hạn
hyperbol .....	một đường conic khác; nó không tiến lại gần khép kín chính nó
chu kì .....	thời gian cần thiết cho một hành tinh hoàn thành một vòng quỹ đạo; tổng quát hơn, thời gian cho một chu trình trong một số chuyển động lặp lại
tiêu điểm .....	một trong hai điểm đặc biệt bên trong elip: elip gồm tập hợp các điểm sao cho tổng khoảng cách đến hai tiêu điểm bằng một số nhất định; một hyperbol cũng có tiêu điểm

### Kí hiệu

$G$ .....	hằng số tỉ lệ trong định luật hấp dẫn Newton; lực hút hấp dẫn giữa hai quả cầu khối lượng 1kg ở khoảng cách tâm-nối-tâm 1 m
-----------	---

### Tóm tắt

Kepler đã suy luận ra ba định luật bằng kinh nghiệm từ số liệu về chuyển động của các hành tinh:

#### **định luật Kepler về quỹ đạo hình elip**

Các hành tinh quay xung quanh Mặt trời theo quỹ đạo hình elip với Mặt trời là một tiêu điểm.

#### **định luật Kepler về diện tích bằng nhau**

Đường nối hành tinh với Mặt trời quét những diện tích bằng nhau trong những khoảng thời gian bằng nhau.

#### **định luật Kepler về chu kì**

Thời gian cần thiết cho một hành tinh quay xung quanh Mặt trời, gọi là chu kì của nó, tỉ lệ với trục dài của elip lũy thừa 3/2. Hằng số tỉ lệ là như nhau cho tất cả hành tinh.

Newton đã có thể tìm ra lời giải thích cơ bản hơn nữa cho những định luật này. Định luật hấp dẫn Newton phát biểu rằng độ lớn của lực hút giữa hai vật bất kì trong vũ trụ được cho bởi

$$F = Gm_1m_2/r^2$$

Sự mất trọng lượng của các vật trong quỹ đạo xung quanh Trái đất chỉ mang tính biểu kiến. Một nhà du hành ở bên trong con tàu vũ trụ đơn giản là đang rơi cùng với con tàu. Vì con tàu đang rơi bên dưới nhà du hành, cho nên có vẻ như không có lực hấp dẫn làm gia tốc nhà du hành về phía boong tàu.

Lực hấp dẫn, giống như các lực khác, cộng theo kiểu vector. Một lực hấp dẫn như cái mà chúng ta chịu là tổng vector của tất cả các lực tác dụng bởi tất cả các phần của Trái đất. Là hệ quả của điều này, Newton đã chứng minh được định lý lớp vỏ cho lực hấp dẫn:

Nếu một vật nằm bên ngoài một vỏ cầu mỏng có khối lượng, thì tổng vector của tất cả các lực hấp dẫn tác dụng bởi tất cả các phần của lớp vỏ bằng như thể khối lượng của lớp vỏ tập trung tại tâm của nó. Nếu vật nằm bên trong lớp vỏ, thì toàn bộ lực hấp dẫn triệt tiêu chính xác với nhau.

## Bài tập

1. Roy có khối lượng 60 kg. Laurie có khối lượng 65 kg. Họ cách nhau 1,5 m.

(a) Độ lớn của lực hấp dẫn của Trái đất tác dụng lên Roy bằng bao nhiêu ?

(b) Độ lớn của lực hấp dẫn của Roy tác dụng lên Trái đất bằng bao nhiêu ?

(c) Độ lớn của lực hấp dẫn giữa Roy và Laurie bằng bao nhiêu ?

(d) Độ lớn của lực hấp dẫn giữa Laurie và Mặt trời bằng bao nhiêu ?

2. Trong hiện tượng nhật thực, Mặt trăng, Trái đất và Mặt trời đều nằm trên một đường thẳng, với Mặt trăng ở giữa Trái đất và Mặt trời. Chọn hệ tọa độ của bạn sao cho Trái đất và Mặt trăng nằm ở giá trị  $x$  lớn hơn Mặt trời. Đối với từng lực hấp dẫn, hãy cho dấu cũng như độ lớn thích hợp. (a) Lực tác dụng lên Mặt trăng bởi Mặt trời ? (b) Lực tác dụng lên Mặt trăng bởi Trái đất ? (c) Lực tác dụng lên Trái đất bởi Mặt trời ? (d) Lực tổng hợp tác dụng lên Mặt trời ? (e) Lên Mặt trăng ? (f) Lên Trái đất ?

3. Giả sử vào một ngày nhất định có trăng lưỡi liềm, và bạn có thể nói lúc hình dạng lưỡi liềm rằng Trái đất, Mặt trời và Mặt trăng hình thành một tam giác với góc trong  $135^\circ$  tại đỉnh là Mặt trăng. Độ lớn của lực hấp dẫn tổng hợp do Mặt trời và Trái đất tác dụng lên Mặt trăng bằng bao nhiêu ?



4. Một tên lửa phải ở cao bao nhiêu trên mặt đất để có  $1/100$  trọng lượng của nó tại mặt đất ? Biểu diễn đáp án của bạn theo đơn vị bán kính Trái đất.

5. Ngôi sao Lalande 21185 được tìm thấy năm 1996 có hai hành tinh ở trong quỹ đạo gần như tròn, với chu kỳ 6 và 30 năm. Tỷ số của bán kính quỹ đạo của hai hành tinh này là bao nhiêu ?



6. Trong một đoạn phim Star Trek, tàu Enterprise ở trong một quỹ đạo tròn xung quanh một hành tinh khi có trục trặc xảy ra với các động cơ. Khi đó Spock bảo Kirk rằng con tàu sẽ quay xoắn ốc vào bề mặt hành tinh đó nếu như họ không sửa được động cơ. Điều này có chính xác về mặt khoa học không? Tại sao?

7. (a) Giả sử một vật hình cầu đang quay tròn như một hành tinh có bán kính  $r$  và mật độ  $\rho$  đều, và thời gian cần thiết cho một vòng quay là  $T$ . Tại bề mặt của hành tinh, gia tốc biểu kiến của một vật rơi tự do bị giảm do gia tốc của mặt đất bên dưới nó đang lùi ra xa. Hãy tìm phương trình cho gia tốc hấp dẫn biểu kiến,  $g$ , tại xích đạo theo  $r$ ,  $\rho$ ,  $T$  và  $G$ .

(b) Áp dụng phương trình của bạn từ câu a, hỏi trọng lượng biểu kiến của bạn tại xích đạo giảm đi bao nhiêu so với ở hai cực, do chuyển động quay của Trái đất?

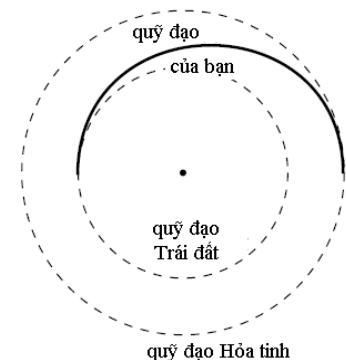
(c) Sử dụng phương trình của bạn từ câu a, hãy suy ra một phương trình cho giá trị của  $T$  mà gia tốc hấp dẫn biểu kiến trở nên bằng không, nghĩa là các vật có thể tự động trôi giạt khỏi bề mặt hành tinh. Chỉ ra rằng  $T$  chỉ phụ thuộc vào  $\rho$ , chứ không phụ thuộc  $r$ .

(d) Áp dụng phương trình của bạn ở câu c, hỏi một ngày sẽ dài bao lâu để giảm trọng lượng biểu kiến của các vật tại xích đạo Trái đất xuống bằng không?

(e) Các nhà thiên văn thực nghiệm gần đây đã phát hiện ra các đối tượng gọi là pulsar, chúng phát ra các đợt bức xạ ở những khoảng thời gian đều đặn dưới 1 s. Nếu pulsar được xem là một quả cầu đang quay tròn phát ra một “ngọn đèn pha” tự nhiên quét qua Trái đất với mỗi vòng quay, sử dụng phương trình của bạn ở câu c, hãy chứng tỏ rằng mật độ của nó phải lớn hơn nhiều mật độ của vật chất bình thường.

(f) Các nhà thiên văn vật lý đã tiên đoán hàng thập kỉ trước rằng những ngôi sao nhất định sử dụng hết nguồn năng lượng của chúng có thể co lại, hình thành một quả cầu neutron với mật độ kinh khủng vào bậc  $\sim 10^{17} \text{kg/m}^3$ . Nếu các pulsar thật sự là cái này, thì hãy dùng phương trình của bạn ở câu để giải thích tại sao không có pulsar nào từng được quan sát thấy lóe sáng với chu kì dưới 1 ms hay ngắn ấy.

8. Bạn đang xem xét một chuyến du hành không gian đến Hỏa tinh, theo đó hành trình của bạn sẽ là một nửa đường elip, tiếp tuyến với quỹ đạo Trái đất ở một đầu và tiếp tuyến với quỹ đạo Hỏa tinh ở đầu kia. Động cơ của con tàu vũ trụ của bạn sẽ chỉ sử dụng lúc bắt đầu và kết thúc, không sử dụng suốt hành trình. Hỏi hành trình đi của bạn kéo dài trong bao lâu? (Giả sử quỹ đạo của Trái đất và Hỏa tinh đều là hình tròn)



9. (a) Nếu Trái đất có mật độ đều, thì trọng lượng của bạn sẽ tăng hay giảm tại đáy của một hầm mỏ? Hãy giải thích.

(b) Trong đời sống thực, các vật hơi nặng hơn một chút tại đáy của một hầm mỏ. Điều đó cho phép chúng ta suy ra điều gì về Trái đất?

10. Ceres, tiểu hành tinh lớn nhất trong hệ Mặt trời của chúng ta, là một vật thể hình cầu có khối lượng nhỏ hơn khối lượng Trái đất 600 lần, và bán kính nhỏ hơn 13 lần. Nếu một nhà du



hành cân nặng 400 N ở trên Trái đất đến thăm bề mặt Ceres, thì trọng lượng của cô ta bằng bao nhiêu ?

11. Hãy chứng minh, dựa trên các định luật Newton về chuyển động và định luật hấp dẫn Newton, rằng mọi vật đang rơi có cùng gia tốc nếu chúng được thả ra ở cùng một nơi trên Trái đất và nếu các lực khác như ma sát là không quan trọng. Không nên nói “ $g = 9,8 \text{ ms}^{-2}$ , nó là hằng số”. Bạn phải chứng minh rằng  $g$  là con số như nhau cho mọi vật.

12. Hình bên là một bức ảnh từ tàu vũ trụ Galileo chụp trong chuyến bay hồi tháng 8/1993 đến tiểu hành tinh Ida. Các nhà thiên văn thật ngạc nhiên khi Galileo phát hiện ra một vật thể nhỏ hơn đang quay xung quanh Ida. Vật thể nhỏ hơn này, là vệ tinh duy nhất được biết của một tiểu hành tinh trong hệ Mặt trời của chúng ta, được đặt tên là Dactyl, theo tên nhân vật thần thoại sống trên ngọn núi Ida, và là người đã bảo vệ cho thần Zeus thời nhỏ. Về quy mô, Ida có kích thước và hình dạng khoảng như hạt Orange, và Dactyl có kích cỡ một sân vận động trong trường đại học. Galileo thật đáng tiếc không thể đo được thời gian  $T$  cần thiết cho Dactyl quay một vòng quanh Ida. Nếu nó có thể, các nhà thiên văn sẽ có thể thực hiện việc xác định chính xác đầu tiên khối lượng và mật độ của một tiểu hành tinh. Tìm phương trình cho mật độ  $\rho$  của Ida theo thể tích  $V$  đã biết của Ida, bán kính  $r$  đã biết của quỹ đạo của Dactyl, và biến  $T$  đáng tiếc là chưa biết. (Việc này giống như kỹ thuật đã sử dụng thành công trong việc xác định khối lượng và mật độ của các hành tinh có vệ tinh)



13. Nếu một viên đạn được bắn thẳng đứng lên trời ở tốc độ đủ cao, nó sẽ không bao giờ quay trở lại Trái đất. Đây được gọi là vận tốc thoát. Chúng ta sẽ nói về vận tốc thoát bằng khái niệm năng lượng trong quyển tiếp theo của bộ sách này, nhưng nó cũng có thể thu được bằng cách tính giải tích ngay bây giờ. Trong bài toán này, bạn sẽ phân tích chuyển động của một vật khối lượng  $m$  có vận tốc ban đầu đúng bằng vũ trụ thoát. Chúng ta giả sử nó xuất phát từ bề mặt của một hành tinh đối xứng cầu có khối lượng cỡ con người với bán kính  $b$ . Thủ thuật là dự đoán dạng thức tổng quát của đáp án, và rồi xác định đáp án một cách chi tiết hơn. Giả sử (giống như thật) rằng đáp án có dạng  $r = kt^p$ , trong đó  $r$  là khoảng cách của vật tính từ tâm của hành tinh ở thời điểm  $t$ , và  $k$  và  $p$  là các hằng số.

(a) Tìm gia tốc, và sử dụng định luật II Newton và định luật hấp dẫn Newton xác định  $k$  và  $p$ . Bạn phải tìm kết quả độc lập với  $m$ .

(b) Điều gì xảy ra với vận tốc khi  $t$  tiến tới vô cùng ?

(c) Xác định vận tốc thoát từ bề mặt Trái đất.

14. Các nhà thiên văn gần đây đã quan sát được những ngôi sao đang quay ở tốc độ rất cao xung quanh một vật thể chưa biết nằm ở gần tâm thiên hà của chúng ta. Đối với những ngôi sao quay ở khoảng cách chừng  $10^{14}$  m tính từ vật thể đó, vận tốc quỹ đạo là vào khoảng  $10^6$  m/s. Giả sử các quỹ đạo là tròn, hãy ước tính khối lượng của vật thể đó, theo đơn vị khối lượng Mặt trời,  $2 \times 10^{30}$  kg. Nếu vật thể đó là một cụm dày đặc những ngôi sao bình thường, nó sẽ là một

nguồn sáng rất rực rỡ. Vì không có ánh sáng khả kiến nào được phát hiện phát ra từ nó, nên thay vì thế người ta tin rằng nó là một lỗ đen siêu trọng.

15. Các nhà thiên văn đã phát hiện một hệ Mặt trời gồm ba hành tinh quay xung quanh ngôi sao Upsilon Andromedae. Các hành tinh có tên là b, c và d. Khoảng cách trung bình của hành tinh b tính từ ngôi sao là 0,059AU, và khoảng cách trung bình của hành tinh c là 0,83AU, trong đó đơn vị thiên văn hay AU được định nghĩa là khoảng cách từ Trái đất đến Mặt trời. Vì lí do kĩ thuật, người ta có thể xác định tỉ số khối lượng của các hành tinh, nhưng khối lượng của chúng hiện nay không thể xác định theo đơn vị tuyệt đối. Khối lượng của hành tinh c gấp 3,0 lần khối lượng của hành tinh b. Hãy so sánh lực hấp dẫn trung bình của ngôi sao tác dụng lên hành tinh c với lực trung bình của nó tác dụng lên hành tinh b.

16. Một số vệ tinh viễn thông ở trong quỹ đạo gọi là địa tĩnh: vệ tinh mất một ngày để quay một vòng xung quanh Trái đất từ tây sang đông, cho nên khi Trái đất quay, vệ tinh vẫn ở phía trên cùng một điểm trên xích đạo. Hỏi một vệ tinh như thế có độ cao phía trên mặt đất bằng bao nhiêu ?

17. Như sẽ trình bày chi tiết trong mục 5.1 của quyển tập 2, tương tác thủy triều với Trái đất đang làm cho quỹ đạo của Mặt trăng đang từ từ lớn ra. Các chùm laser phản xạ khỏi một cái gương do các nhà du hành vũ trụ để lại trên Mặt trăng cho phép đo tốc độ lùi xa của Mặt trăng, nó vào khoảng 1cm/năm. Điều này nghĩa là lực hấp dẫn tác dụng giữa Trái đất và Mặt trăng đang giảm đi. Hỏi lực này giảm đi bao nhiêu với từng chu kì quỹ đạo 27 ngày ? [Gợi ý: Nếu bạn thử tính hai lực và trừ nhau, máy tính của bạn có khả năng cho kết quả bằng không do làm tròn số. Thay vì thế, hãy giải thích lượng nhỏ đó theo đại lượng  $1/r^2$  sẽ thay đổi như thế nào. Khi hứng thú, bạn có thể muốn quan sát phần trăm thay đổi ở  $1/r^2$  thu được từ sự thay đổi  $r$  từ 1 lên 1,01]

18. Giả sử chúng ta sống trong một vũ trụ mà trong đó, thay cho định luật hấp dẫn Newton, chúng ta có  $F = k\sqrt{m_1 m_2} / r^2$ , trong đó  $k$  là một hằng số trong một đơn vị khác với  $G$ . (Lực hấp dẫn vẫn là lực hút) Tuy nhiên, chúng ta giả sử rằng  $a = F/m$  và phần còn lại của nền vật lí Newton vẫn đúng, và chúng ta sử dụng  $a = F/m$  để xác định cỡ khối lượng của chúng ta, ví dụ một khối lượng 2 kg là khối lượng biểu hiện một nửa gia tốc khi cùng một lực tác dụng lên nó so với khối lượng 1 kg.

(a) Định luật hấp dẫn mới này có phù hợp với định luật III Newton hay không ?

(b) Giả sử bạn sống trong một vũ trụ như thế, và bạn thả hai khối lượng không bằng nhau sát bên nhau. Điều gì sẽ xảy ra ?

(c) Tính bằng số, giả sử một vật 1,0kg rơi với gia tốc  $10 \text{ m/s}^2$ . Hỏi gia tốc của một giọt nước mưa khối lượng 0,1 g bằng bao nhiêu ? Bạn có muốn đi ra ngoài trời mưa hay không ?

(d) Nếu một vật rơi bị vỡ thành hai mảnh không bằng nhau trong khi đang rơi, thì điều gì sẽ xảy ra ?

(e) Hãy phát minh ra một định luật hấp dẫn mang lại hành vi ngược với cái bạn tìm thấy trong câu b.

19. (a) Một tên cướp ngoài hành tinh ghê tởm sống trên mặt của một tiểu hành tinh, ở đó trọng lượng của hắn là 0,20 N. Hắn quyết định hắn phải giảm cân mà không phải giảm sức tiêu thụ nữ giới của hắn, cho nên hắn muốn chuyển sang một tiểu hành tinh khác, ở đó trọng lượng của hắn sẽ là 0,10 N. Tuy nhiên, cơ sở dữ liệu của cơ quan quản lý tài sản thực có các tiểu hành tinh liệt kê theo khối lượng, chứ không có lực hấp dẫn bề mặt. Giả sử rằng mọi thiên thạch đều có dạng cầu và có cùng mật độ, hỏi khối lượng của tiểu hành tinh mới của hắn so như thế nào với tiểu hành tinh cũ của hắn ?

(b) Khối lượng của Mộc tinh gấp 318 lần khối lượng của Trái đất, và lực hấp dẫn của nó khoảng gấp đôi lực hấp dẫn của Trái đất. Điều này có phù hợp với kết quả ở câu a ? Nếu không, bạn giải thích như thế nào về sự khác biệt đó ?

20. Một vật phải đặt ở đâu để nó chịu lực hấp dẫn tổng hợp bằng không do Trái đất và Mặt trăng tác dụng ?

21. Thiên vương tinh có khối lượng  $8,68 \times 10^{25}$  kg và bán kính  $2,56 \times 10^4$  km. Hình bên cho thấy kích thước tương đối của Thiên vương tinh và Trái đất.

(a) Tính tỉ số  $g_U/g_E$ , trong đó  $g_U$  là cường độ trường hấp dẫn tại bề mặt Thiên vương tinh và  $g_E$  là đại lượng tương ứng tại bề mặt Trái đất.

(b) Kết quả này gây bất ngờ ở chỗ nào ? Bạn giải thích nó như thế nào ?

22. Trạm Không gian Quốc tế quay trên quỹ đạo ở độ cao trung bình khoảng 370 km trên mực nước biển. Tính giá trị của  $g$  tại độ cao đó.

## PHỤ LỤC

### Các tiếp đầu ngữ hệ mét

M-	mega-	$10^6$
k-	kilo-	$10^3$
m-	milli-	$10^{-3}$
$\mu$ - (mu)	micro-	$10^{-6}$
n-	nano-	$10^{-9}$
p-	pico-	$10^{-12}$
f-	femto-	$10^{-15}$

(centi-,  $10^{-2}$ , chỉ dùng trong centimet)

### Bảng chữ cái Hi Lạp

$\alpha$	A	alpha	$\nu$	N	nu
$\beta$	B	beta	$\xi$	$\Xi$	xi
$\gamma$	$\Gamma$	gamma	o	O	omicron
$\delta$	$\Delta$	delta	$\pi$	$\Pi$	pi
$\epsilon$	E	epsilon	$\rho$	P	rho
$\zeta$	Z	zeta	$\sigma$	$\Sigma$	sigma
$\eta$	H	eta	$\tau$	T	tau
$\theta$	$\Theta$	theta	$\upsilon$	Y	upsilon
$\iota$	I	iota	$\phi$	$\Phi$	phi
$\kappa$	K	kappa	$\chi$	X	chi
$\lambda$	$\Lambda$	lambda	$\psi$	$\Psi$	psi
$\mu$	M	mu	$\omega$	$\Omega$	omega

### Kí hiệu và đơn vị

đại lượng	đơn vị	kí hiệu
khoảng cách	mét, m	$x, \Delta x$
thời gian	giây, s	$t, \Delta t$
khối lượng	kilogram, kg	$m$
khối lượng riêng	$\text{kg}/\text{m}^3$	$\rho$
diện tích	$\text{m}^2$ (mét vuông)	$A$
thể tích	$\text{m}^3$ (mét khối)	$V$
vận tốc	$\text{m}/\text{s}$	$v$
gia tốc	$\text{m}/\text{s}^2$	$a$
trường hấp dẫn	$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{m}$ hay $\text{m}/\text{s}^2$	$g$
lực	newton, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$	$F$
áp suất	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$	$P$
năng lượng	joule, J	$E$
công suất	watt, $1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s}$	$P$
động lượng	$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}$	$p$
xung lượng góc	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ hay $\text{J} \cdot \text{s}$	$L$
mômen quay	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\tau$
chu kì	s	$T$

### Hệ số chuyển đổi đơn vị

1 inch	= 25,4 mm
1 pound-lực	= 4,5 newton lực
(1 kg).g	= 2,2 pound-lực
1 calo khoa học	= 4,18 J
1 kcal	= $4,18 \times 10^3 \text{ J}$
1 gallon	= $3,78 \times 10^3 \text{ cm}^3$
1 mã lực	= 476 W
1 foot (ft)	= 12 inch
1 yard (yd)	= 3 feet
1 dặm (mi)	= 5280 feet

Trần Nghiêm (hiepkhachquay) dịch từ nguyên bản tiếng Anh: Newtonian Physics  
Hoàn thành tại An Minh, lúc 14:45, ngày 22/06/2008

Hãy cho đi tất cả những gì bạn có  
Bạn sẽ còn lại... hai bàn tay không !!