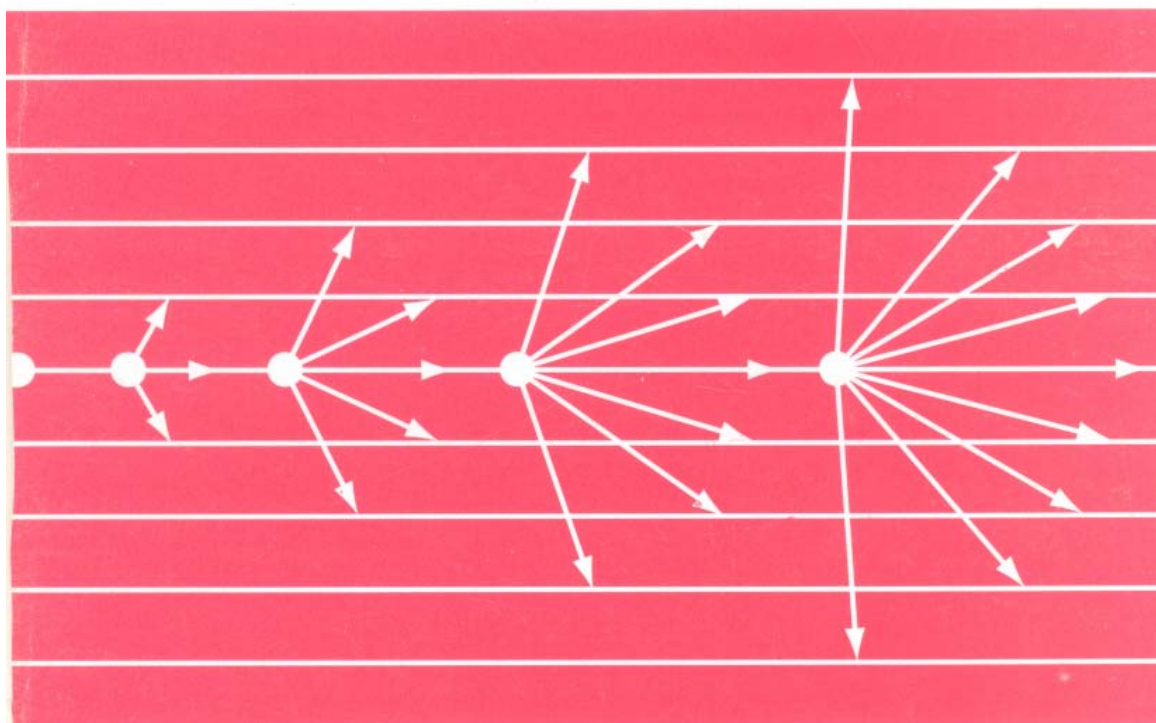


RONALD GAUTREAU - WILLIAM SAVIN

# VẬT LÝ HIỆN ĐẠI

(LÍ THUYẾT VÀ BÀI TẬP)



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

RONALD GAUTREAU

WILLIAM SAVIN

**VẬT LÝ HIỆN ĐẠI  
LÍ THUYẾT VÀ BÀI TẬP**

(486 bài tập có lời giải)

(Tái bản lần thứ tư)

Người dịch: Ngô Phú An, Lê Bằng Sương

**NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC**

*Nguyên bản :*  
**THEORY AND PROBLEMS  
OF MODERN PHYSICS**

*Tác giả :*  
**RÓNALD GAUTREAU  
WILLIAM SAVIN**

*Nhà xuất bản :*  
**MC GRAW - HILL,  
NEW YORK - 1983**

## LỜI NHÀ XUẤT BẢN

Cuốn sách "Vật lí hiện đại - Lí thuyết và bài tập" do các giáo sư Ronald Gautreau và William Savin thuộc Viện đại học công nghệ New Jersey biên soạn nhằm trình bày với độc giả các vấn đề của vật lí hiện đại, bao gồm : Thuyết tương đối hẹp, Thuyết lượng tử về bức xạ điện từ, Sóng vật chất, Vật lí nguyên tử, Vật lí hạt nhân và Vật lí thống kê để giúp cho độc giả, là các sinh viên đang học giai đoạn 1 và đầu giai đoạn 2, dễ dàng nắm được kiến thức cơ bản ; trong mỗi chương các tác giả đã trình bày ngắn gọn và xúc tích nội dung cơ bản của lí thuyết và sau đó đưa ra một loạt bài tập đa dạng phong phú có lời giải chi tiết ; cuối chương có các bài tập cho sinh viên tự giải (có ghi đáp số).

Bản dịch cuốn sách do các giáo sư Lê Bằng Sương và Ngô Phú An thuộc trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Đây là một tài liệu tham khảo cần thiết cho sinh viên học Đại học đại cương, cho giáo viên phổ thông cũng như cho mọi đối tượng muốn tìm hiểu các thành tựu của vật lí hiện đại.

Chúng tôi rất mong nhận được các ý kiến của độc giả góp ý cho bản dịch của cuốn sách này. Thư góp ý xin gửi về :  
NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC, 81 phố Trần Hưng Đạo Hà Nội.

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

# MỤC LỤC

Trang

## Phần thứ nhất

### THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP

Chương 1. Các phép biến đổi Galilée	7
Chương 2. Các tiên đề Einstein	18
Chương 3. Phép biến đổi Lorentz	25
Chương 4. Độ đo tương đối tính của các độ dài	34
Chương 5. Độ đo tương đối tính của thời gian	38
Chương 6. Độ đo tương đối tính của không - thời gian	44
Chương 7. Phép biến đổi tương đối tính các vận tốc	59
Chương 8. Khối lượng, năng lượng và động lượng tương đối tính	67
Chương 9. Hiệu ứng Doppler tương đối tính	84

## Phần thứ hai

### LÍ THUYẾT LƯỢNG TỬ CỦA BỨC XẠ ĐIỆN TỪ

Chương 10. Lí thuyết photon	89
Chương 11. Hiệu ứng quang điện	94
Chương 12. Hiệu ứng Compton	103
Chương 13. Sinh và huỷ cặp	111
Chương 14. Hấp thụ photon	120

## Phần thứ ba

### SÓNG VẬT CHẤT

Chương 15. Sóng de Broglie	124
Chương 16. Kiểm chứng thực nghiệm các giả thuyết de Broglie	131
Chương 17. Ý nghĩa xác suất của sóng de Broglie	139
Chương 18. Nguyên lí bất định Heisenberg	144

## Phần thứ tư

### CÁC NGUYÊN TỬ ĐỒNG DẠNG HIDRÔ

Chương 19. Nguyên tử Bohr	157
Chương 20. Chuyển động quỹ đạo của electron và hiệu ứng Zeeman	179
Chương 21. Thí nghiệm Stern và Gerlach và spin của electron	191

*Phần thứ năm*

**CÁC NGUYÊN TỬ NHIỀU ELECTRON**

Chương 23. Nguyên lý loại trừ Pauli	203
Chương 24. Các nguyên tử nhiều electron và bảng phân loại tuần hoàn	210
Chương 25. Các chuyển dời của các electron ở vỏ trong : tia X	233

*Phần thứ sáu*

**VẬT LÍ HẠT NHÂN**

Chương 26. Tính chất của các nuclôn và của đơtêrôn (hay đơtôn)	256
Chương 27. Các tính chất của hạt nhân	263
Chương 28. Các mẫu hạt nhân	270
Chương 29. Hiện tượng phân rã của các hạt nhân không bền	290
Chương 30. Các phản ứng hạt nhân	314
Chương 31. Phản ứng phân hạch và nhiệt hạch	331
Chương 32. Các hạt sơ cấp	342

*Phần thứ bảy*

**CÁC HỆ NGUYÊN TỬ**

Chương 33. Các liên kết phân tử	363
Chương 34. Các trạng thái kích thích của các phân tử lưỡng nguyên tử	371
Chương 35. Thuyết động học các chất khí	385
Chương 36. Các hàm phân bố	397
Chương 37. Thống kê cổ điển : thống kê Maxwell - Boltzmann	409
Chương 38. Thống kê lượng tử	424
Chương 39. Lý thuyết vùng trong chất rắn	460
Phụ lục	476

# PHẦN THỨ NHẤT

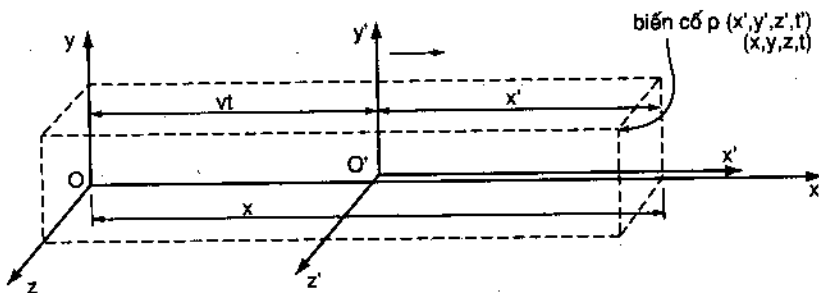
## THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP

### Chương 1

### CÁC PHÉP BIẾN ĐỔI GALILÉE

#### 1.1. CÁC BIẾN CỐ VÀ CÁC TOẠ ĐỘ

Trước hết chúng ta hãy trình bày khái niệm về biến cố : một biến cố có thể là một cú sét đánh vào cây cũng như là một quá trình va chạm giữa hai hạt. Một biến cố xảy ra tại một điểm trong không gian và tại một thời điểm đã cho. Một quan sát viên xác định một biến cố nào đó bằng cách gán cho nó bốn toạ độ : ba toạ độ không gian xác định khoảng cách từ nơi xảy ra biến cố đến gốc toạ độ gắn với quan sát viên



Hình 1.1

và một toạ độ thời gian được quan sát viên đo bằng một đồng hồ. Bây giờ hãy giả sử có hai quan sát viên  $O$  và  $O'$ .  $O'$  chuyển động với vận tốc không đổi  $v$  đối với  $O$  dọc theo trục chung  $x$  (H.1.1). Hai quan sát viên đều có các dụng cụ đo độ dài và các đồng hồ đo thời gian và do đó có thể đo được các toạ độ của các biến cố.

Hơn nữa, hãy giả sử hai quan sát viên đó đã chỉnh lại cho đồng bộ các đồng hồ của họ sao cho tại điểm  $x = x' = 0$  thì các thời gian  $t = t' = 0$ . Như vậy với bất kể biến cố nào đã cho đều được gán tám số : bốn toạ độ  $x, y, z, t$  đối với quan sát viên  $O$  và bốn toạ độ  $x', y', z', t'$  đối với quan sát viên  $O'$ .

## 1.2. PHÉP BIẾN ĐỔI GALILÉE CÁC TOẠ ĐỘ

Hệ thức giữa các số đo  $(x, y, z, t)$  của  $O$  và các số đo  $(x', y', z', t')$  của  $O'$  liên quan đến một biến cố nào đó dựa vào hình 1.1 có dạng :

$$x' = x - vt ; \quad y' = y ; \quad z' = z.$$

Và lại trong vật lí cổ điển người ta ngầm giả thiết là

$$t' = t.$$

Bốn phương trình đó biểu diễn phép biến đổi Galilée các toạ độ.

## 1.3. PHÉP BIẾN ĐỔI GALILÉE CÁC VẬN TỐC

Khi nghiên cứu chuyển động của một hạt, việc xác định các toạ độ của nó là quan trọng nhưng đồng thời việc tìm hiểu vận tốc của hạt cũng rất cần thiết. Các quan sát viên  $O$  và  $O'$  mô tả các vận tốc của một hạt bằng cách gán cho nó ba thành phần  $(u_x, u_y, u_z)$  đo được bởi  $O$  và  $(u'_x, u'_y, u'_z)$  đo được bởi  $O'$ . Ta có thể có được hệ thức giữa hai nhóm thành phần vận tốc đó bằng cách lấy đạo hàm theo thời gian hệ thức biến đổi các toạ độ. Từ  $x' = x - vt$ , ta rút ra :

$$u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{d}{dt}(x - vt) \frac{dt}{dt'} = \left( \frac{dx}{dt} - v \right) (1) = u_x - v.$$



Một cách tổng quát biểu thức của phép biến đổi Galilée các vận tốc là :

$$u'_x = u_x - v ; \quad u'_y = u_y ; \quad u'_z = u_z$$

#### 1.4. PHÉP BIẾN ĐỔI GALILÉE CÁC GIA TỐC

Gia tốc của một hạt là đạo hàm theo thời gian của vận tốc của nó nghĩa là  $a_x = du_x/dt, \dots$

Muốn tìm biểu thức của phép biến đổi Galilée các gia tốc ta lấy đạo hàm theo thời gian biểu thức biến đổi các vận tốc với chú ý rằng  $t = t'$  và  $v$  là hằng số, do đó suy ra :

$$a'_x = a_x ; a'_y = a_y ; a'_z = a_z$$

#### 1.5. TÍNH BẤT BIẾN CỦA MỘT PHƯƠNG TRÌNH

Khi nói đến *tính bất biến của một phương trình* chúng ta hiểu là phương trình đó sẽ có cùng một dạng đối với hai quan sát viên khác nhau. Trong lí thuyết cổ điển người ta đã phát biểu thành tiên đề là các số đo không gian và thời gian được liên hệ với nhau bằng các biểu thức Galilée. Thành thử nếu quan sát viên này thiết lập được một dạng phương trình nào đó thì khi áp dụng các phép biến đổi Galilée cho dạng này sẽ cho phép tìm được dạng mà quan sát viên kia sẽ thu được.

Nếu hai dạng đó đều như nhau thì ta nói rằng phương trình đó là bất biến trong các phép biến đổi Galilée. Hãy tham khảo các bài toán 1.11 và 1.12.

### BÀI TOÁN CÓ LỜI GIẢI

1.1. Tại thời điểm  $t = t' = 0$  một hành khách ngồi trên tàu hoả đang lăn bánh với vận tốc không đổi 30m/s đi ngang qua trước mắt một người đứng yên trên sân ga. Hai mươi giây

sau, quan sát viên đứng yên nhận thấy rằng một con chim bay theo cùng phương và cùng chiều với tàu hoả đã ở cách nhà ga 800m. Xác định các toạ độ của con chim đối với hành khách trên tàu.

**Giải.** Các toạ độ của con chim đối với quan sát viên trên sân ga là :

$$(x, y, z, t) = (800\text{m}, 0, 0, 20\text{s}).$$

Khoảng cách  $x'$  từ tàu hoả đến con chim, do hành khách trên tàu đo là :

$$x' = x - vt = 800\text{m} - (30\text{m/s})(20\text{s}) = 200\text{m}.$$

Do đó, các toạ độ của con chim trong hệ quy chiếu gắn với hành khách trên tàu là :

$$(x', y', z', t') = (200\text{m}, 0, 0, 20\text{s}).$$

**1.2.** Vấn đề các dữ kiện của bài toán 1.1. Quan sát viên đứng yên trên sân ga nhận thấy 5 giây sau lần đo thứ nhất con chim đã ở cách nhà ga 850m. Tìm vận tốc của con chim (giả thiết là không đổi) đối với người đứng trên sân ga và người ngồi trên tàu hoả.

**Giải.** Vị trí thứ hai của con chim đối với quan sát viên trên sân ga có các toạ độ

$$(x_2, y_2, z_2, t_2) = (850\text{m} ; 0 ; 0 ; 25\text{s})$$

và vận tốc đo được bởi người đứng trên sân ga là :

$$u_x = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{850\text{m} - 800\text{m}}{25\text{s} - 20\text{s}} = +10\text{m/s}.$$

Dấu dương chứng tỏ con chim bay theo chiều dương của trục  $x$ . Đối với quan sát viên ngồi trên tàu các toạ độ của vị trí thứ hai của con chim là :

$$x'_2 = x_2 - vt_2 = 850\text{m} - (30\text{m/s})(25\text{s}) = 100\text{m}.$$

Lúc đó,  $(x'_2, y'_2, z'_2, t'_2) = (100\text{m}, 0, 0, 25\text{s})$  và vận tốc  $u'_x$  của con chim đối với hành khách trên tàu là

$$u'_x = \frac{x'_2 - x'_1}{t'_2 - t'_1} = \frac{100\text{m} - 200\text{m}}{25\text{s} - 20\text{s}} = -20\text{m/s}.$$

Như vậy đối với hành khách ngồi trên tàu thì con chim chuyển động theo chiều âm của trục  $x$ . Chú ý là kết quả đó cũng phù hợp với kết quả thu được bằng phép biến đổi Galilée các vận tốc

$$u'_x = u_x - v = 10\text{m/s} - 30\text{m/s} = -20\text{m/s}.$$

1.3. Một mẫu chất phóng xạ ở trạng thái nghỉ trong phòng thí nghiệm phát ra hai êlectron theo hai chiều ngược nhau. Một quan sát viên trong phòng thí nghiệm đo được vận tốc của chúng lần lượt là  $0,6c$  và  $0,7c$ . Tính vận tốc cổ điển của êlectron này so với êlectron kia.

**Giải.** Gọi  $O$  là quan sát viên đứng yên trong hệ quy chiếu phòng thí nghiệm và  $O'$  là quan sát viên đứng yên so với hệ quy chiếu gắn với hạt có vận tốc là  $0,6c$  (giả sử vận tốc đó hướng theo chiều dương). Theo phép biến đổi Galilée các vận tốc ta có :

$$u'_x = u_x - v = -0,7c - 0,6c = -1,3c.$$

Bài toán này chứng tỏ theo phép biến đổi Galilée ta có thể gặp những vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng, nhưng như sau này chúng ta sẽ thấy kết quả đó không phù hợp với thuyết tương đối hẹp.

1.4. Một tàu hoả có vận tốc  $60\text{km/h}$  đi ngang qua trước ga lúc 12 giờ 00. Hai mươi giây sau, một chớp sáng loé trên đường ray cách ga  $1\text{km}$  về phía tàu đang chạy. Tìm các toạ độ của chớp sáng trong các hệ quy chiếu gắn với nhà ga và gắn với tàu hoả.

**Giải.** Đối với cả hai hệ quy chiếu, toạ độ thời gian có giá trị :

$$t = t' = (20\text{s}) \left( \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \right) = \frac{1}{180} \text{h}.$$

Trong hệ quy chiếu gắn với nhà ga,  $x = 1\text{km}$ . Trong hệ quy chiếu gắn với tàu hoả

$$x' = x - vt = 1\text{km} - (60\text{km/h})\left(\frac{1}{180}\text{h}\right) = \frac{2}{3}\text{km}.$$

1.5. Một thợ săn trên mặt đất bắn một con hươu ở hướng Tây - Bắc. Viên đạn bắn trúng con hươu ở cách xa người đi săn 0,25km. Vận tốc viên đạn là 1800km/h. Ở thời điểm viên đạn ra khỏi nòng súng ngay trên đầu người thợ săn ở độ cao 1km có một máy bay đang bay về hướng Đông với vận tốc 600km/h. Hỏi các tọa độ của viên đạn trong hệ quy chiếu gắn với máy bay ở thời điểm viên đạn xuyên trúng con hươu ?

Giải. Dùng các biểu thức của các phép biến đổi Galilée :

$$t' = t = \frac{0,25\text{km}}{1800\text{km/h}} = 1,39 \cdot 10^{-4}\text{h},$$

$$x' = x - vt = (0,25\text{km})\cos 45^\circ - (600\text{km/h})(1,39 \times 10^{-4}\text{h}) = 0,094\text{km};$$

$$y' = y = (0,25\text{km})\sin 45^\circ = 0,177\text{km},$$

$$z' = z - h = 0 - 1\text{km} = -1\text{km}.$$

1.6. Một quan sát viên đứng yên trong hệ quy chiếu gắn với mặt đất, quan sát va chạm sau đây : một khối lượng  $m_1 = 3\text{kg}$  chuyển động với vận tốc  $u_1 = 4\text{m/s}$  dọc theo trục x và chạm với một khối lượng  $m_2 = 1\text{kg}$  chuyển động với vận tốc  $u_2 = -3\text{m/s}$  cũng dọc theo trục x. Sau va chạm  $m_2$  có vận tốc  $u_2^* = 3\text{m/s}$ .

Tìm vận tốc  $u_1^*$  của  $m_1$  sau va chạm.

Giải. Động lượng trước va chạm = động lượng sau va chạm

$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 u_1^* + m_2 u_2^*,$$

$$(3\text{kg})(4\text{m/s}) + (1\text{kg})(-3\text{m/s}) = (3\text{kg})u_1^* + (1\text{kg})(3\text{m/s});$$

$$9\text{kg}\cdot\text{m/s} = (3\text{kg})u_1^* + 3\text{kg}\cdot\text{m/s}.$$

Cuối cùng ta có :  $u_1^* = 2\text{m/s}.$

1.7. Một quan sát viên thứ hai  $O'$ , chuyển động dọc theo trục x với vận tốc  $2\text{m/s}$  trong hệ quy chiếu gắn với Trái Đất, quan sát va chạm trong bài tập 1.6. Tính các động lượng của hệ trước và sau va chạm quan sát bởi  $O'$ .

**Giải.** Theo các biểu thức Galilée :

$$u'_1 = u_1 - v = 4\text{m/s} - 2\text{m/s} = 2\text{m/s},$$

$$u'_2 = u_2 - v = -3\text{m/s} - 2\text{m/s} = -5\text{m/s},$$

$$u_1^* = u_1^* - v = 2\text{m/s} - 2\text{m/s} = 0,$$

$$u_2^* = u_2^* - v = 3\text{m/s} - 2\text{m/s} = 1\text{m/s}.$$

$$(\text{động lượng trước va chạm})' = m_1 u'_1 + m_2 u'_2 =$$

$$= (3\text{kg})(2\text{m/s}) + (1\text{kg})(-5\text{m/s}) = 1\text{kg.m/s},$$

$$(\text{động lượng sau va chạm})' = m_1 u_1^* + m_2 u_2^* =$$

$$= (3\text{kg})(0) + (1\text{kg})(1\text{m/s}) = 1\text{kg.m/s}.$$

Như vậy đối với quan sát viên  $O'$  động lượng của hệ vẫn bảo toàn (nhưng giá trị của động lượng khác với giá trị quan sát bởi  $O$  ; đó là kết quả của việc áp dụng các phương trình biến đổi Galilée).

**1.8.** Một cậu bé ngồi trên một chiếc xe hơi không mui chuyển động với vận tốc  $30\text{m/s}$  tung lên cao một hòn bi với vận tốc ban đầu  $6\text{m/s}$ . Viết phương trình chuyển động của hòn bi đối với cậu bé (a) và đối với một quan sát viên đứng bên đường (b).

**Giải.** (a) Đối với cậu bé : hòn bi chuyển động thẳng đứng lên cao rồi rơi xuống

$$y' = v_0 t' + \frac{1}{2} a t'^2 = (6\text{m/s})t' + \frac{1}{2} (-10\text{m/s}^2)t'^2 = 6t' - 5t'^2,$$

$$x' = z' = 0.$$

(b) Đối với quan sát viên đứng bên đường : áp dụng các phép biến đổi Galilée :

$$t = t',$$

$$x = x' + vt = 0 + 30t, \quad y = y' = 6t - 5t^2, \quad z = z' = 0.$$

**1.9.** Cho một khối lượng gắn vào đầu một lò xo và chuyển động không ma sát trên một mặt nằm ngang. Bằng cách áp

dụng các phép biến đổi Galilée chứng tỏ rằng đối với hai quan sát viên (một đứng yên đối với mặt nằm ngang và một chuyển động với vận tốc không đổi theo phương của lò xo) các phương trình chuyển động của khối lượng trên có cùng dạng như nhau.

**Giải.** Đối với quan sát viên đứng yên so với mặt nằm ngang phương trình chuyển động của khối lượng có dạng :

$$F = ma,$$

$$\text{hay là} \quad -k(x - x_0) = m \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (1)$$

Để xác định phương trình chuyển động của khối lượng đó đối với quan sát viên thứ hai, ta lại áp dụng các phép biến đổi Galilée :

$$x = x' + vt', \quad x_0 = x'_0 + vt', \quad \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d^2x'}{dt'^2}.$$

Thay các giá trị này vào (1) ta có :

$$-k(x' - x'_0) = m \frac{d^2x'}{dt'^2}. \quad (2)$$

Vì phương trình (1) và (2) có cùng dạng, nên phương trình chuyển động là bất biến đối với các phép biến đổi Galilée.

**1.10. Chứng tỏ rằng phương trình truyền sóng điện từ**

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 0$$

là không bất biến đối với các phép biến đổi Galilée.

**Giải.** Để cho phương trình trên là bất biến thì dạng sẽ không thay đổi khi phương trình được biểu diễn qua các biến số mới  $x', y', z', t'$ . Áp dụng các kết quả của các phép biến đổi Galilée

$$\begin{aligned} \frac{\partial x'}{\partial x} &= 1, \quad \frac{\partial x'}{\partial t} = -v, \quad \frac{\partial t'}{\partial t} = \frac{\partial y'}{\partial y} = \frac{\partial z'}{\partial z} = 1, \\ \frac{\partial x'}{\partial y} &= \frac{\partial x'}{\partial z} = \frac{\partial y'}{\partial x} = \frac{\partial t'}{\partial x} = \dots = 0, \end{aligned}$$

và quy tắc đạo hàm các hàm số kép, ta có :

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial x'} \frac{\partial x'}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y'} \frac{\partial y'}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial z'} \frac{\partial z'}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial t'} \frac{\partial t'}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial x'}$$

và

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2}$$

Tương tự :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y'^2}, \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial z'^2}$$

Ngoài ra

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -v \frac{\partial \phi}{\partial x'} + \frac{\partial \phi}{\partial t'}, \quad \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial t'^2} - 2v \frac{\partial^2 \phi}{\partial x' \partial t'} + v^2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2}$$

Thay các biểu thức của  $\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$ ,  $\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}$ ,  $\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}$  và  $\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$  vào phương trình sóng ta có :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z'^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t'^2} + \frac{1}{c^2} \left( 2v \frac{\partial^2 \phi}{\partial x' \partial t'} - v^2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x'^2} \right) = 0.$$

Ta thấy dạng của phương trình đã thay đổi, như vậy phương trình truyền sóng điện từ là không bất biến đối với các phép biến đổi Galilée

Phương trình truyền sóng điện từ được suy ra từ các phương trình Maxwell. Áp dụng các phép tính vừa trình bày cho các phương trình Maxwell, chúng ta thấy rằng các phương trình Maxwell cũng không bất biến đối với các phép biến đổi Galilée (xem bài tập 6.23).

## BÀI TOÁN BỔ SUNG

1.11. Một hành khách O' ngồi phía sau một ô tô dài 6m chuyển động với vận tốc 18m/s. Hai giây sau khi O' đi ngang

qua một quan sát viên O đứng yên trên hè đường, đèn pha trước ôtô bật sáng. Xác định các tọa độ của biến cố đó đối với từng quan sát viên O và O'.

*Đáp số :*  $(x', t') = (6m, 2s)$  ;  $(x, t) = (42m, 2s)$ .

1.12. Một cậu bé phát hiện một con hươu chạy ra xa ở phía trước. Vận tốc của con hươu là 40km/h. Cậu bé đuổi theo con hươu với vận tốc 16km/h. Tìm vận tốc của hươu đối với cậu bé.

*Đáp số.* 24 km/h.

1.13. Một cậu bé trên một đoàn tàu chuyển động với vận tốc 160km/h ném một quả bóng dọc theo hành lang toa tàu theo hướng tàu chạy. Biết rằng vận tốc quả bóng là 40km/h, tìm vận tốc của quả bóng đối với quan sát viên mặt đất.

*Đáp số :* 200km/h.

1.14. Một hành khách đi dọc theo hành lang một toa tàu với vận tốc 4km/h ngược hướng tàu chạy. Đoàn tàu chuyển động với vận tốc 120km/h. Tìm vận tốc của hành khách đối với một quan sát viên mặt đất.

*Đáp số.* 116km/h.

1.15. Một tàu hoả chuyển động với vận tốc 60km/h. Lúc tàu đi qua trước mặt, người trưởng ga chỉnh đồng hồ của mình đồng bộ với đồng hồ của người lái tàu. Tàu hoả dài 0,25km. Sau khi tàu hoả đi qua được hai phút người trực phan ngồi ở buồng cuối tàu châm một điếu thuốc lá. Xác định các tọa độ của biến cố châm thuốc lá đối với người lái tàu và trưởng ga.

*Đáp số.*  $(x', t') = \left(-\frac{1}{4} \text{ km}, 2\text{ph}\right)$  ;  $(x, t) = \left(1\frac{3}{4} \text{ km}, 2\text{ph}\right)$ .

1.16. Một người ngồi trên tàu châm hai điếu thuốc lá cách nhau 10 phút. Tính quãng đường tàu hoả vượt qua trong thời gian đó đối với một quan sát viên đứng bên đường, biết rằng vận tốc tàu hoả là 20m/s.

*Đáp số.* 12000m.



1.17. Một khối lượng hình cầu 1 kg chuyển động dọc theo trục  $x$  với vận tốc 3m/s đến va chạm đàn hồi với một khối lượng  $y$  hết đứng yên. Sau va chạm cả hai khối lượng tiếp tục chuyển động dọc theo trục  $x$ . Tính động lượng toàn phần trước và sau va chạm trong hệ quy chiếu gắn với phòng thí nghiệm.

*Đáp số.* 3 kg.m/s.

1.18. Tính năng lượng toàn phần trước và sau va chạm của hai vật trong bài toán 1.17.

*Đáp số.* 4,5J.

1.19. Cùng các dữ kiện của bài tập 1.17. Tính động lượng và năng lượng toàn phần trước và sau va chạm đo được bởi một quan sát viên đang chuyển động dọc theo chiều dương của trục  $x$  với vận tốc 1,5m/s.

*Đáp số.* 0 ; 2,25J.

1.20. Giải bài tập 1.19 đối với một quan sát viên chuyển động theo chiều âm của trục  $y$ .

*Đáp số.* 5 kg.m/s, hướng theo chiều tạo với chiều âm của trục  $y$  một góc  $127^\circ$  ; 8,5J.

1.21. Một tàu thủy chạy về phía Đông với vận tốc 5m/s. Khi đi ngang qua bến tàu một hành khách ném một hòn sỏi về phía Bắc. Sau 6 giây hòn sỏi chạm mặt nước ở chỗ cách bến tàu 50m. Tìm các toạ độ của điểm chạm mặt nước trong hệ quy chiếu gắn với tàu thủy.

*Đáp số.*  $(x', y', t') = (-30m, 50m, 6s)$ .

1.22. Giả sử đối với quan sát viên  $O$  có một va chạm đàn hồi xảy ra dọc theo trục  $x$ . Bằng các phép biến đổi cổ điển hãy chứng tỏ rằng động năng đo được trong hệ quy chiếu gắn với một quan sát viên chuyển động dọc theo trục  $x$  với vận tốc không đổi  $u$  đối với  $O$  cũng bảo toàn.

## Chương 2

# CÁC TIÊN ĐỀ EINSTEIN

### 2.1. KHÔNG GIAN TUYỆT ĐỐI VÀ ÊTE

Từ phép biến đổi Galilée các vận tốc ta suy ra rằng nếu một quan sát viên O thấy một tín hiệu sáng truyền với vận tốc  $c = 3.10^8$  m/s thì mọi quan sát viên khác chuyển động đối với O sẽ thấy tín hiệu sáng đó truyền với vận tốc khác c. Như vậy vấn đề đặt ra là phải biết dùng vật gì làm mốc để xác định một hệ quy chiếu đặc biệt mà một quan sát viên đứng yên đối với hệ đó sẽ được ưu đãi là thấy mọi tín hiệu sáng lan truyền với vận tốc c ?

Trước Einstein người ta thường thừa nhận rằng quan sát viên đó cũng chính là quan sát viên mà đối với anh ta các phương trình Maxwell có hiệu lực. Thật vậy các phương trình Maxwell mô tả thuyết điện từ và tiên đoán rằng các sóng điện từ lan truyền với vận tốc  $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3.10^8$  m/s. Không gian

đứng yên so với quan sát viên được ưu đãi trên được gọi là "không gian tuyệt đối". Mọi quan sát viên khác chuyển động đối với không gian tuyệt đối đó phải thấy ánh sáng có vận tốc khác c. Trong chùng mục ánh sáng là sóng điện từ, các nhà vật lí của thế kỉ XIX cảm thấy cần thiết phải tồn tại một môi trường để ánh sáng lan truyền trong đó. Vì vậy họ đã nêu thành tiên đề là ête choán đầy không gian tuyệt đối.

### 2.2. THÍ NGHIỆM MICHELSON VÀ MORLEY

Nếu môi trường ête tồn tại thì lúc đó mọi quan sát viên trên mặt đất chuyển động trong ête sẽ phải chịu tác động của một loại gió ête. Năm 1881, Michelson rồi năm 1887 cùng với Morley đã hiệu chỉnh một thiết bị có độ nhạy cao cho phép đo được chuyển động của Trái Đất so với ête được giả thiết ở trên.

Tuy nhiên kết quả của các phép đo đã không phát hiện được bất kì một chuyển động nào đối với môi trường ête. Xem các bài toán 2.4, 2.5 và 2.6.

### 2.3. CÁC PHÉP ĐO THỜI GIAN VÀ ĐỘ DÀI - MỘT VẤN ĐỀ NGUYÊN LÝ

Điểm chung duy nhất giữa kết quả phủ định của thí nghiệm Michelson và Morley và việc các phương trình Maxwell chỉ có hiệu lực đối với quan sát viên được ưu đãi - đó là việc tồn tại phép biến đổi Galilée. Phép biến đổi hiển nhiên này đã được Einstein xem xét lại theo một quan điểm được ông gọi là quan điểm sử dụng. Einstein xuất phát từ nguyên lý là mọi đại lượng thuộc một lý thuyết vật lý đều phải đo đạc được (ít ra là trên lý thuyết) theo một phương pháp hoàn toàn xác định. Nếu một phương pháp như vậy không được thiết lập thì đại lượng đang xét không thể được sử dụng trong vật lý.

Einstein đã không thể tìm được một chứng minh thoả đáng nào cho phép biến đổi Galilée  $t = t'$ , nghĩa là cho việc khẳng định rằng hai quan sát viên có thể đảm bảo là một biến cố xảy ra tại cùng một thời điểm. Trong những điều kiện đó Einstein đã loại bỏ phép biến đổi  $t = t'$ , và tất cả các phép biến đổi Galilée nói chung.

### 2.4. CÁC TIÊN ĐỀ EINSTEIN

Ý tưởng chủ đạo của Einstein, mà ông gọi là nguyên lý tương đối, là việc mọi quan sát viên chuyển động không có gia tốc đều phải được đối xử bình đẳng ngay cả khi chúng chuyển động thẳng đều đối với nhau. Nguyên lý đó được phát biểu như sau :

*Tiên đề 1 : Các định luật vật lý là bất biến (có cùng dạng) đối với tất cả các quan sát viên chuyển động theo quán tính.*

Các định luật Newton về chuyển động là phù hợp với nguyên lý tương đối, nhưng các phương trình Maxwell cũng như các phép biến đổi Galilée lại mâu thuẫn với nguyên lý đó. Do không thể tìm được lý do cho một sự khác nhau căn bản như vậy giữa

các định luật của động lực học và của điện từ học, Einstein đã suy ra :

**Tiên đề 2 :** Đối với mọi quan sát viên chuyển động theo quán tính, vận tốc ánh sáng trong chân không bằng

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3.10^8 \text{ m/s,}$$

không phụ thuộc vào chuyển động của nguồn sáng.

## BÀI TOÁN CÓ LỜI GIẢI

**2.1.** Cho một đồng hồ B ở cách một quan sát viên một khoảng L. Hãy chỉ rõ phương pháp chính cho đồng bộ đồng hồ đó với một đồng hồ A của quan sát viên.

**Giải.** Cho đồng hồ B dừng vào lúc  $t_B = L/c$ .

Lúc  $t_A = 0$  (trên đồng hồ A) người ta phát một tín hiệu sáng về phía đồng hồ B ; khi tín hiệu đó đến B, cho đồng hồ B hoạt động trở lại.

**2.2.** Một đèn chớp điện tử ở cách một quan sát viên 30km. Đèn phát ra một chớp sáng và được quan sát viên nhìn thấy vào lúc 13 giờ. Xác định thời điểm thực của biến cố đó.

**Giải.** 
$$\Delta t = \frac{\Delta s}{c} = \frac{30 \times 10^3 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 1 \times 10^{-4} \text{ s.}$$

Do đó đèn đã phát sáng vào lúc 13 giờ kém  $1.10^{-4}$ s.

**2.3.** Một thanh nhỏ chuyển động từ trái sang phải. Khi đầu trái của thanh đi qua trước một máy ảnh, một bức ảnh của thanh được chụp đồng thời với ảnh của một thước mét mẫu đứng yên. Sau khi rửa ảnh người ta thấy đầu trái của thanh trùng với vạch O của thước mẫu, còn đầu phải trùng với vạch 0,9m. Biết rằng thanh chuyển động với vận tốc  $0,8c$  đối với máy ảnh, tính độ dài thực của thanh.

**Giải.** Để tín hiệu sáng phát từ đầu phải của thanh đến được máy ảnh nó cần phải rời khỏi vạch 0,9m trước đó một khoảng thời gian