HOÀNG NAM NHẬT

CƠ HỌC ĐẠI CƯƠNG

TỪ ARISTOTLE ĐẾN NEWTON

DÙNG CHO CÁC TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHỐI TỰ NHIÊN

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn

HOÀNG NAM NHẬT

CƠ HỌC ĐẠI CƯƠNG

Từ Aristotle đến Newton

Giáo trình này tiếp cận cơ học đại cương từ khía cạnh lịch sử, với nhiều dẫn chứng từ các công trình gốc của Galileo và Newton, đồng thời phát triển nâng cao bằng đại số véctơ nhằm trang bị một vốn kiến thức vững vàng cho các chuyên ngành vật lý khác nhau

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn

INTRODUCTION TO MECHANICS
From Aristotle to Newton
Copyright © 2002–2006 by Hoàng Nam Nhat

Contact address:
Hoàng Nam Nhật
Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội
E-Mail: namnhat@hn.vnn.vn

No part of this book may be reproduced by any mechanical, photographic, or electronic process, or in the form of a phonographic recording, nor may it be stored in a retrieval system, transmitted, or otherwise copied for public or private use, without written permission from author.

Printed in VietNam

54–2006/CXB/12–32/GD

Mã số: 7K653M6

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn

MỤC LỤC

Trang

Lời nói đầu 9

Chương 1

HỆ MẶT TRỜI

1.1. Các giả thuyết về vũ trụ trong thời cổ đại 13
1.2. Học thuyết của Copernicus 16
1.3. Niên biểu các phát hiện trong hệ mặt trời 21
1.4. Tính chất vật lý của một số hành tinh 25
1.5. Một số vấn đề trong hệ mặt trời 27

Chương 2

CƠ HỌC CỦA NGƯỜI HY LẠP

2.1. Lược sử cơ học 33
2.2. Nền khoa học Hy Lạp 37
2.3. Aristotle và các quan niệm về cơ học 41
2.4. Một số phép đo trong lịch sử Hy Lạp 44

Chương 3

ĐỘNG HỌC CHẤT ĐIỂM

3.1. Các đại lượng vật lý của chuyển động 49
3.2. Cơ học của Galileo 55
3.3. Nguyên lý tương đương 58
3.4. Nguyên lý quán tính và hệ quy chiếu quán tính 62
3.5. Chuyển động trong trọng trường không đổi 67
3.6. Chuyển động tròn đều 72
3.7. Sự ra đời các định luật Kepler 82
3.8. Các định luật Kepler 87

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn

Chương 4

ĐỘNG LỰC HỌC NEWTON

4.1. Các vấn đề trước khi lý thuyết Newton ra đời 95
4.2. Mở đầu đại số véctơ 101
4.3. Sự ra đời của "Principia" 114
4.4. Các định luật của Newton 117
4.5. Mômen động lượng và lực hướng tâm 124
4.6. Trường lực hướng tâm không đổi 130
4.7. Trường lực hướng tâm $F \propto r$ 132
4.8. Dao động tuần hoàn 141
4.9. Chuyển động quay của vật rắn 146

Chương 5

TRƯỜNG HẤP DẪN CỔ ĐIỂN

5.1. Lược sử thuyết hấp dẫn 151
5.2. Định luật hấp dẫn Newton 157
5.3. Công, thế năng và năng lượng toàn phần 164
5.4. Tương tác 2 – chất điểm 173
5.5. Đối xứng và các đại lượng bảo toàn 180

Chương 6

LÝ THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP

6.1. Thí nghiệm Michelson–Morley 191
6.2. Hệ quả của vận tốc giới hạn 196
6.3. Lý thuyết tương đối Einstein 201
6.4. Động lực học tương đối 212

Tài liệu tham khảo 225

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn

Danh mục các hình vẽ

Trang

Hình 1.1 Mô hình vũ trụ hình trụ của Anaximander 14

Hình 1.2 Mô hình vũ trụ của Aristotle bao gồm 55 bán cầu thủy tinh: 1. Sao Thủy, 2. Sao Kim, 3. Mặt Trời, Vòng thứ 55. Các vì sao cố định 14

Hình 1.3 Mô hình Aristarchus 15

Hình 1.4 Mô hình các vòng đồng luân của Hipparchus 15

Hình 1.5 Đường cycloid đơn giản: $x = a(t - \sin t)$, $y = a(1 - \cos t)$, a là bán kính vòng tròn, t là độ lớn góc quay 16

Hình 1.6 Mô hình hệ mặt trời nguyên bản của Copernicus. Chỉ có Trái Đất mới có Mặt Trăng. 18

Hình 1.7 Bức họa sao Thổ dưới ống kính của Lassell vào ngày 10–11/9/1851. 24

Hình 1.8 Mặt Trăng quay đồng bộ: nó luôn hướng một mặt về phía Trái Đất. 28

Hình 1.9 Quan sát chuyển động vệ tinh sao Mộc của Roemer 30

Hình 1.10 Một mẫu khoáng vật được tìm thấy 32

Hình 2.1 Sự tồn tại của các số vô tỉ phá vỡ định lý tỷ lệ 39

Hình 2.2 Phép chứng minh định lý Pythagoras của các môn đồ Pythagoras 39

Hình 2.3 Các hình khối Plato, trong ngoặc là số đỉnh, cạnh, mặt. Công thức Euler xác định: $s = đỉnh + mặt - cạnh = 2$ 40

Hình 2.4 Phép đo chu vi Trái Đất của Eratosthenes (276–194 tr. CN) .. 45

Hình 2.5 Phép đo khoảng cách Trái Đất – Mặt Trăng của Aristarchus (310–230 tr.CN) 46

Hình 2.6 Phép đo khoảng cách Trái Đất – Mặt Trời của người Hy Lạp 46

Hình 2.7 Đo khoảng cách xa dựa trên bán kính quỹ đạo trái đất 47

Hình 3.1 Tờ bìa cuốn "Bàn về hai ngành khoa học mới" của Galileo 57

Hình 3.2 Hình vẽ của Galileo để chứng minh Định lý 1, sách đã dẫn 69

Hình 3.3 Hình vẽ của Galileo chứng minh Định lý 6,7, sách đã dẫn 70

Hình 3.4 Hình vẽ parabol của Galileo 72

Hình 3.5 Liên hệ giữa vận tốc góc và vận tốc dài trong chuyển động tròn đều 75

www.lib.hau.edu.vn - www.lib.hau.edu.vn - www.lib.hau.edu.vn

Hình 3.6 Phép chứng minh định lý $a_n = v^2/r$ 76
Hình 3.7 Bụi tàn dư của siêu sao SN 1572. 83
Hình 3.8 Hình vẽ ngôi sao mới (số I) giữa chòm sao Cassiopeia của Tycho Brahe (Stella Nova)..... 84
Hình 3.9 Một kính quan sát bằng gỗ của Tycho Brahe với bán kính 5,79m và phân vạch 0,16°..... 84
Hình 3.10 Mô hình hệ mặt trời của Kepler..... 86
Hình 3.11 Bảo toàn mômen động lượng đối với chuyển động thẳng đều, chuyển động tròn đều và liên hệ của nó với phép nhân có hướng giữa hai véctơ..... 88
Hình 3.12 Các tham số của elips trong hệ tọa độ cực và hệ tọa độ vuông góc..... 91
Hình 3.13 Xác định các vị trí có vận tốc cực đại và cực tiểu theo định luật 2 Kepler..... 92
Hình 4.1 "A body by two forces conjoined will describe the diagonal of a parallelo–gram, in the same time that it would describe the sides, by those forces apart." [Corollary I, Axioms, Principia]..... 98
Hình 4.2 Liên hệ giữa công của lực và phép nhân vô hướng giữa hai véctơ..... 101
Hình 4.3 Phép hoán vị các chỉ số trong tích có hướng giữa hai véctơ.. 104
Hình 4.4 Phương của véctơ $\vec{\theta}$ trên trục θ..... 109
Hình 4.5 Chiều của ba véctơ: $\vec{\omega} \times \vec{r} = \vec{v}$ 109
Hình 4.6 Liên hệ giữa tọa độ cực và tọa độ vuông góc..... 112
Hình 4.7 Quỹ đạo một chuyển động đồng thời tuân theo định luật quán tính và định luật 2 Newton phải có quỹ đạo nằm trong một mặt phẳng..... 119
Hình 4.8 Hình vẽ Trái Đất bị cắt làm ba phần trong "*Principia*" để minh họa định luật 3..... 121
Hình 4.9 Vật đứng yên mặc dù có lực tác dụng 123
Hình 4.10 Hình vẽ minh họa của Newton trong "*Principia*" 125
Hình 4.11 Mô tả phân tích chuyển động của Newton bằng các véctơ $\vec{r}$, $\vec{v} = d\vec{r}/dt$ và $\vec{a} = d^2\vec{r}/dt^2$ 127
Hình 4.12 Phân tích lực trên quỹ đạo parabol trong trường lực không đổi..... 130

www.lib.hau.edu.vn - www.lib.hau.edu.vn - www.lib.hau.edu.vn

Hình 4.13 Phép chứng minh Bổ đề XIII, Phần III của Newton: lực tỷ lệ với nghịch đảo bình phương khoảng cách 131
Hình 4.14 Hình vẽ của Newton chứng minh Bổ đề XL, Phần VIII 132
Hình 4.15 Bổ đề X, Bài toán V, Phần II: "Nếu một vật chuyển động trên quỹ đạo elips thì hãy xác định quy luật phụ thuộc khoảng cách của lực hướng tâm phát ra từ tâm elips đó" 133
Hình 4.16 Vẽ lại theo bản XVIII, hình 4, tr.198, "*Principia*" 135
Hình 4.17 Định dạng elips với các tham số khác nhau 137
Hình 4.18 Biểu diễn elip theo tham số 137
Hình 4.19 Biểu diễn đường tròn theo tham số 141
Hình 4.20 Con lắc lò xo $\vec{F} = -k\vec{x}$ 141
Hình 4.21 Phân tích lực trong con lắc thông thường 144
Hình 4.22 Các dạng con lắc tròn và con lắc hình thoi 144
Hình 4.23 Hình vẽ con lắc trong Bổ đề LIII, Phần X, "*Principia*" 145
Hình 4.24 Định nghĩa khối tâm của vật rắn 146
Hình 4.25 Mômen quán tính của thanh kim loại 147
Hình 4.26 Trục quay nằm ngoài vật rắn 148
Hình 5.1 Bổ đề LXX, Định lý XXX, Phần XII: Lực hấp dẫn không thể tồn tại bên trong mặt cầu 158
Hình 5.2 Bổ đề LXXIII, Phần XII: Lực hấp dẫn chỉ phụ thuộc vào khối lượng vật chất bên trong lớp vỏ cầu 159
Hình 5.3 Bổ đề LXXXVIII, Định lý XLV, Phần XIII cho phép tối giản mọi vật thể thành một chất điểm nằm tại trọng tâm của vật đối với trường lực $F \propto r$ 160
Hình 5.4 Thí nghiệm của Cavendish 164
Hình 5.5 Công trên đường khép kín luôn luôn bằng không trong trường lực thế 167
Hình 5.6 Thế năng hiệu dụng U_{eff} có cực tiểu tại r_c và cắt trục hoành tại $r_c/2$ 171
Hình 5.7 Hệ tọa độ cực với gốc tại tâm của m_2 173
Hình 5.8 Hệ tọa độ cực với gốc tại trọng tâm cơ hệ 174
Hình 5.9 Bổ đề XI, Bài toán VI, Phần III: Nếu chất điểm chuyển động trên quỹ đạo elips thì lực hướng tâm phát ra từ tiêu cự của elips sẽ tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách 174
Hình 5.10 Liên hệ giữa các tọa độ trong phép quay trục tọa độ 188

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn

Hình 6.1 Hệ quy chiếu gắn liền với một vật đang rơi tự do chỉ là một hệ quy chiếu quán tính trong phạm vi hẹp khi các lực tác dụng theo hai chiều ngang và dọc có thể bỏ qua được.... 192
Hình 6.2 Sơ đồ thí nghiệm của Michelson và Morley năm 1887..... 193
Hình 6.3 Hiện tượng quang sai..... 196
Hình 6.4 Với nguyên lý tương đối Galileo cả hai người quan sát đều ghi nhận là hai quả bóng sẽ tới đích cùng một lúc..... 197
Hình 6.5 Người quan sát trên mặt đất nhận thấy hai tia sáng đến trung điểm tại hai thời điểm khác nhau..... 198
Hình 6.6 Không thể đo độ dài đoàn tàu khi nó đang đi vào một đường hầm..... 200
Hình 6.7 Phân tích nghịch lý đoàn tàu – nhà ga..... 205
Hình 6.8 Người trên tàu đo được một độ cao h như người đứng dưới đất nhưng đồng hồ của anh ta chạy chậm hơn..... 207
Hình 6.9 Cả hai người quan sát đều thấy các tia chớp của người kia phát ra chậm nhịp hơn so với của bản thân họ bởi một hệ số là γ. Các tia chớp ở đây đánh dấu các mốc thời gian trong từng hệ quy chiếu, chúng chính là các tích–tắc "thời gian riêng" của từng người nhìn dưới góc độ của người kia..... 208
Hình 6.10 Người quan sát trên mặt đất nhận thấy rằng khoảng thời gian giữa hai lần phát sáng thay đổi tùy thuộc vào vận tốc chuyển động tương đối của nguồn sáng..... 210
Hình 6.11 Liên hệ các tọa độ của chất điểm trong hai hệ quy chiếu dịch chuyển đều so với nhau với vận tốc V theo phương x.... 212
Hình 6.12 Liên hệ thời gian trong hai hệ quy chiếu dịch chuyển đều so với nhau với vận tốc V..... 212
Hình 6.13 Hai đầu của một đoạn AB đứng yên vẽ nên các đường song song với trục tung, vận tốc của chúng $V=dx/dt=0$. Các đường song song với trục hoành mô tả các sự kiện đồng thời..... 214
Hình 6.14 Đường đồng thời nhìn trong hệ đứng yên sẽ là một đường có độ dốc β..... 215
Hình 6.15 Hệ quy chiếu chuyển động như thể đang bị dẹt đi dưới góc nhìn của hệ đứng yên..... 215

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn

Lời nói đầu

Cuốn sách này giới thiệu một cách trình tự các khái niệm cơ bản của cơ học Newton, thông qua việc khảo luận các công trình nguyên bản của Galileo và Newton, kèm theo các trích dẫn từ lịch sử môn học. Nó cũng có thể được dùng như một tài liệu tham khảo về lịch sử cơ học. Sách được viết dựa trên các bài giảng của tác giả trong vài năm gần đây tại Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Chúng tôi đã chủ động bỏ qua những chi tiết mà bạn đọc có thể tìm thấy ở các giáo trình khác, trong khi mạnh dạn đưa thêm dữ kiện lịch sử, đi xa hơn trong việc ứng dụng phép tính véctơ và giới thiệu cặn kẽ hơn về lý thuyết tương đối hẹp. Thực tế giảng dạy cho thấy sinh viên tỏ ra có hứng thú với môn học và tiếp thu được nội dung giáo trình.

Môn cơ học Newton, hay còn gọi là cơ học cổ điển, có một vị trí đặc biệt trong toàn bộ ngành Vật lý. Là lý thuyết hoàn thiện đầu tiên, nó có ảnh hưởng sâu sắc đến nhiều lĩnh vực khác. Cho đến ngày nay, ít nhất có bốn giai đoạn chính mà cơ học đã trải qua. Giai đoạn thứ nhất bắt đầu từ thời văn minh Hy Lạp cho đến thời Copernicus (thế kỷ thứ 16) khi chỉ có các mô hình định tính về sự vận động của vũ trụ. Tư tưởng thịnh hành thời bấy giờ chủ yếu dựa trên các định đề về vũ trụ của nhà triết học cổ đại Hy Lạp Aristotle. Giai đoạn thứ hai tiếp tục từ thời kỳ của Copernicus, Tycho de Brahe và Johannes Kepler, với bước ngoặt lịch sử vào năm 1638, khi Galileo xuất bản cuốn "Bàn về hai ngành khoa học mới"[1], *đánh dấu sự chuyển biến lớn trong toàn bộ ngành Vật lý: quá trình đi từ những nguyên lý triết học đến việc thiết lập những mối quan hệ toán học cụ thể. Đỉnh cao của giai đoạn này là những năm 1686–1726, khi Newton cho in và lần lượt tái bản ba lần cuốn* "Các nguyên lý toán học của khoa học tự nhiên" *(Principia)*[2]. *Lý thuyết định lượng về sự vận động cơ học của vật chất xuất hiện, đi kèm theo đó là phép tính vi phân như một công cụ toán học mới (trước đó, công cụ chủ yếu là hình học Euclid). Khoảng thời gian từ sau Newton đến đầu thế kỷ 20, với những đóng góp đáng kể của Laplace, Lagrange, Hamilton,*

www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn - www.lib.haui.edu.vn