

MỤC LỤC

| | |
|--|---|
| <i>Lời nói đầu</i> | 7 |
| <i>Mở đầu về cơ học kỹ thuật</i> | 9 |

Phần 1. TĨNH HỌC VẬT RẮN

| | |
|---|----|
| Mở đầu..... | 13 |
| Chương 1. Các khái niệm cơ bản và hệ tiên đề tĩnh học | 14 |
| 1. Các khái niệm cơ bản và một số định nghĩa..... | 14 |
| 2. Hệ tiên đề tĩnh học | 17 |
| 3. Liên kết và phản lực liên kết | 19 |
| Chương 2. Hệ lực phẳng và điều kiện cân bằng của vật rắn phẳng | 23 |
| 1. Hai đại lượng đặc trưng của hệ lực phẳng..... | 23 |
| 2. Thu gọn hệ lực phẳng | 25 |
| 3. Các điều kiện cân bằng của vật rắn phẳng | 32 |
| 4. Các bài toán cơ bản của tĩnh học vật rắn..... | 36 |
| 5. Cân bằng hệ vật rắn phẳng..... | 40 |
| 6. Bài toán xác định nội lực tại các mặt cắt ngang của dầm cứng..... | 44 |
| Chương 3. Hệ lực không gian và điều kiện cân bằng của vật rắn không gian | 49 |
| 1. Hai đại lượng đặc trưng của hệ lực không gian..... | 49 |
| 2. Thu gọn hệ lực không gian..... | 52 |
| 3. Điều kiện cân bằng của vật rắn không gian | 57 |
| Chương 4. Trọng tâm vật rắn | 63 |
| 1. Định nghĩa và công thức xác định trọng tâm vật rắn..... | 63 |
| 2. Các phương pháp xác định vị trí trọng tâm vật rắn..... | 66 |
| Chương 5. Ma sát giữa các vật rắn | 73 |
| 1. Định nghĩa và phân loại ma sát | 73 |
| 2. Ma sát trượt tĩnh và ma sát trượt động..... | 74 |
| 3. Ma sát lăn..... | 80 |
| 4. Một số bài toán áp dụng của ma sát trong máy..... | 81 |

Phần 2. ĐỘNG HỌC VẬT RẮN

| | |
|--|-----|
| Mở đầu..... | 86 |
| Chương 1. Động học điểm | 88 |
| 1. Hai đại lượng đặc trưng cơ bản của động học điểm | 88 |
| 2. Chuyển động thẳng của điểm..... | 90 |
| 3. Chuyển động cong của điểm..... | 94 |
| 4. Khảo sát động học một số chuyển động đặc biệt | 100 |
| Chương 2. Cơ sở động học vật rắn | 105 |
| 1. Hai đại lượng đặc trưng cơ bản của động học vật rắn..... | 105 |
| 2. Biểu thức xác định vận tốc, gia tốc của một điểm bất kỳ thuộc vật rắn..... | 108 |
| 3. Chuyển động tịnh tiến của vật rắn..... | 109 |
| 4. Chuyển động quay quanh một trục cố định của vật rắn..... | 110 |
| 5. Truyền động cơ khí đơn giản | 115 |
| Chương 3. Chuyển động tương đối của điểm và vật rắn | 119 |
| 1. Khái niệm chuyển động tuyệt đối, chuyển động tương đối và chuyển động theo | 119 |
| 2. Định lý cộng vận tốc và định lý cộng gia tốc của điểm..... | 121 |
| 3. Định lý cộng vận tốc góc và định lý cộng gia tốc góc của vật rắn | 122 |
| 4. Các thí dụ áp dụng..... | 125 |
| Chương 4. Động học vật rắn chuyển động song phẳng | 133 |
| 1. Định nghĩa chuyển động song phẳng và mô hình chuyển động phẳng của vật rắn..... | 133 |
| 2. Xác định phương trình chuyển động, vận tốc góc, gia tốc góc của vật rắn phẳng..... | 134 |
| 3. Xác định vị trí, vận tốc, gia tốc các điểm của vật rắn phẳng bằng phương pháp giải tích | 135 |
| 4. Xác định vận tốc, gia tốc các điểm của vật rắn phẳng bằng phương pháp hình học | 142 |
| 5. Xác định vận tốc góc, gia tốc góc của vật rắn phẳng bằng phương pháp Willis..... | 153 |
| Chương 5. Động học vật rắn không gian | 156 |
| 1. Ma trận cosin chỉ hướng | 156 |
| 2. Động học vật rắn quay quanh một điểm cố định..... | 161 |
| 3. Một số bài toán áp dụng của vật rắn quay quanh một điểm cố định | 169 |
| 4. Động học vật rắn chuyển động không gian tổng quát | 186 |
| 5. Động học rôbot công nghiệp..... | 193 |

Phần 3. ĐỘNG LỰC HỌC VẬT RẮN

| | |
|---|-----|
| Mở đầu..... | 201 |
| Chương 1. Các định luật cơ bản của động lực học chất điểm | 203 |
| 1. Hệ tiên đề Newton..... | 203 |
| 2. Các phương trình vi phân chuyển động của chất điểm | 204 |
| 3. Các thí dụ áp dụng..... | 206 |
| Chương 2. Cơ sở phương pháp động lượng | 214 |
| 1. Mở đầu về các hệ cơ học..... | 214 |
| 2. Định lý biến thiên động lượng..... | 219 |
| 3. Mômen quán tính khối của vật rắn..... | 224 |
| 4. Định lý biến thiên mômen động lượng | 242 |
| 5. Phương trình vi phân chuyển động của vật rắn phẳng | 250 |
| Chương 3. Cơ sở phương pháp năng lượng | 257 |
| 1. Các khái niệm cơ bản | 257 |
| 2. Định lý biến thiên động năng..... | 263 |
| 3. Định lý bảo toàn cơ năng | 271 |
| Chương 4. Một số nguyên lý cơ học | 276 |
| 1. Các khái niệm cơ bản | 276 |
| 2. Nguyên lý công ảo (nguyên lý di chuyển ảo) | 284 |
| 3. Nguyên lý d'Alembert..... | 289 |
| 4. Nguyên lý d'Alembert–Lagrange | 294 |
| 5. Phương trình Lagrange loại 2..... | 296 |
| Chương 5. Động lực học vật rắn không gian | 308 |
| 1. Phản lực động tại các ổ đỡ của vật rắn quay quanh một trục cố định..... | 308 |
| 2. Mômen động lượng và động năng của vật rắn chuyển động không gian..... | 316 |
| 3. Phương trình vi phân chuyển động của vật rắn quay quanh một điểm cố định..... | 322 |
| 4. Chuyển động Gyrôscôp | 327 |
| 5. Các phương trình vi phân chuyển động của vật rắn trong không gian..... | 333 |
| Chương 6. Va chạm của các vật rắn | 336 |
| 1. Các giả thiết gán đúng, các định luật Newton và Poisson về va chạm | 336 |
| 2. Định lý biến thiên động lượng và định lý biến thiên mômen động lượng trong quá trình va chạm | 341 |
| 3. Va chạm thẳng xuyên tâm của hai vật rắn chuyển động tịnh tiến..... | 343 |
| 4. Va chạm xiên của hai vật rắn phẳng và va chạm của vật rắn quay..... | 348 |

| | |
|---|-----|
| Chương 7. Động lực học chuyển động tương đối | 360 |
| 1. Phương trình vi phân chuyển động tương đối của chất điểm | 360 |
| 2. Áp dụng phương pháp động lượng và phương pháp năng lượng trong hệ quy chiếu động | 368 |
| 3. Phương trình Lagrange loại hai trong hệ quy chiếu động | 371 |
| Chương 8. Dao động tuyến tính và ổn định chuyển động | 375 |
| 1. Các khái niệm cơ bản của lý thuyết dao động | 375 |
| 2. Dao động tuyến tính tự do của hệ một bậc tự do | 377 |
| 3. Dao động tuyến tính cưỡng bức của hệ một bậc tự do | 385 |
| 4. Dao động tuyến tính không cản của hệ hai bậc tự do | 395 |
| 5. Mở đầu về ổn định chuyển động | 403 |
| Tài liệu tham khảo | 423 |

LỜI NÓI ĐẦU

Cơ học kỹ thuật là một môn học cơ sở trong chương trình đào tạo sinh viên ở các trường đại học kỹ thuật. Môn học này ở nước ta trong những năm vừa qua có nhiều tên gọi khác nhau. Trước đây, tên môn học này được gọi theo cách gọi như ở Liên Xô cũ là *Cơ học lý thuyết*. Từ những năm 90 của thế kỷ 20 tên môn học này ở trường Đại học Bách khoa Hà Nội gọi là *Cơ học*, *Cơ học lý thuyết* hoặc *Cơ học kỹ thuật*, ở trường Đại học Xây dựng gọi là *Cơ học cơ sở*, ở trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh gọi là *Cơ học lý thuyết*. Ở Mỹ, Canada, Nhật bản, Singapore, Thái Lan,... môn học này được gọi là *Cơ học kỹ thuật* (Engineering Mechanics). Ở CHLB Đức, CH Áo,..., môn học này cùng với phần cơ sở của Sức bền vật liệu được giảng dạy trong cùng một giáo trình và được gọi là *Cơ học kỹ thuật*. Vì lý do đa số các trường đại học trên thế giới đều gọi tên môn học này là *Cơ học kỹ thuật*, và để thực hiện "chủ trương đổi mới cơ bản, toàn diện và mạnh mẽ về giáo dục, phấn đấu đến năm 2020 có một nền giáo dục tiên tiến, đáp ứng yêu cầu của sự nghiệp công nghiệp hoá, hiện đại hoá đất nước trong bối cảnh hội nhập quốc tế" của Chính phủ, Hội chuyên ngành Động lực học và Điều khiển Việt Nam đã đề nghị gọi tên môn học này là *Cơ học kỹ thuật*. Hiện nay ở trường Đại học Bách khoa Hà Nội và một vài trường Đại học khác đã sử dụng thuật ngữ *Cơ học kỹ thuật* (Engineering Mechanics) để gọi tên môn học quan trọng này.

Nội dung của môn học *Cơ học kỹ thuật* gồm ba phần: Tĩnh học vật rắn, Động học vật rắn, Động lực học vật rắn. Cuốn giáo trình này được biên soạn cho sinh viên các ngành Cơ khí, Cơ tin điện tử, Cơ học kỹ thuật, Kỹ thuật giao thông,... với thời lượng 10 đơn vị học trình. Khi giảng dạy cho sinh viên các khoa Điện, Điện tử, Tin học, Luyện kim, Hóa học,... với thời lượng 4 đến 6 đơn vị học trình, ta có thể bỏ chương 5 phần Động học và các chương 5, 6, 7, 8 phần Động lực học. Các chương này là nội dung của phần giảng dạy bổ sung cho sinh viên khối Cơ khí và Cơ tin điện tử.

Cuốn sách này được viết trên cơ sở bài giảng *Cơ học kỹ thuật* của tác giả cho sinh viên trường Đại học Bách khoa Hà Nội trong nhiều năm và cho nhiều ngành kỹ thuật khác nhau. Tác giả cố gắng trình bày những vấn đề cơ bản của Cơ học kỹ thuật theo quan điểm hiện đại, cố gắng đảm bảo tính sư phạm và yêu cầu chất lượng của một giáo trình bậc đại học, cố gắng để giáo trình Cơ học kỹ thuật ở Việt Nam

có chất lượng ngang bằng với chất lượng của giáo trình tương ứng ở các nước khác . Những kiến thức trình bày trong giáo trình này là những kiến thức tối thiểu, cần thiết để sinh viên có thể học các môn học tiếp theo của các ngành Cơ khí, Cơ tin điện tử, Giao thông vận tải, Xây dựng, Hàng không và Vũ trụ, Tự động hoá,... Các thí dụ trong cuốn sách này gồm hai loại: Các thí dụ nhằm củng cố kiến thức và các thí dụ áp dụng giải một số mô hình cơ học trong kỹ thuật. Nếu chưa cần thiết, bạn đọc có thể bỏ qua các thí dụ khó.

Cuốn sách này không chỉ là tài liệu học tập cần thiết cho sinh viên trường Đại học Bách khoa Hà Nội, mà còn là tài liệu học tập bổ ích cho sinh viên tất cả các trường đại học kỹ thuật trong toàn quốc. Cuốn sách này tác giả viết để tặng các em sinh viên cần cù học tập và có hoài bão nghiên cứu và ứng dụng khoa học.

Cuốn sách này được xuất bản lần thứ nhất năm 2003, lần thứ hai năm 2005 ở Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội và lần này được xuất bản ở Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam. Chúng tôi trình bày ngắn gọn và sáng sủa hơn, đồng thời bổ sung thêm nhiều thí dụ trong các chương khó để cho sinh viên dễ tiếp thu bài giảng.

Trong quá trình biên soạn chúng tôi đã nhận được sự trợ giúp quý báu của nhiều bạn đồng nghiệp. Chúng tôi xin cảm ơn PGS. Nguyễn Nhật Lệ, PGS. Lê Doãn Hồng, GS. Phan Nguyên Di, PGS. Đinh Văn Phong, PGS. Vũ Văn Khiêm, TS. Thái Mạnh Cầu, PGS. Nguyễn Phong Điền, TS. Nguyễn Quang Hoàng, TS. Nguyễn Minh Phương đã giúp đọc bản thảo và có nhiều đề nghị cải tiến quý báu. Chúng tôi cũng xin chân thành cảm ơn Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam tạo điều kiện thuận lợi cho cuốn sách được xuất bản.

Trong quá trình biên soạn không tránh khỏi thiếu sót, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, tác giả mong muốn nhận được sự góp ý của các bạn đồng nghiệp và của các em sinh viên để có điều kiện sửa chữa, hoàn thiện hơn trong các lần tái bản sau. Các ý kiến đóng góp xin gửi về: Công ty cổ phần Sách Đại học – Day nghệ, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, 25 Hàn Thuyên, Hà Nội hoặc tác giả theo địa chỉ: Bộ môn Cơ học ứng dụng, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội.

Hà Nội, ngày 15 tháng 2 năm 2009

GS. NGUYỄN VĂN KHANG

MỞ ĐẦU VỀ CƠ HỌC KỸ THUẬT

1. ĐỐI TƯỢNG NGHIÊN CỨU

Cơ học là một khoa học nghiên cứu chuyển động và cân bằng của các vật thể. Trong đó Cơ học Newton nghiên cứu chuyển động và cân bằng của các vật thể có kích thước đủ lớn so với kích thước nguyên tử và có vận tốc đủ nhỏ so với vận tốc ánh sáng.

Tùy theo từng quan điểm, người ta có thể phân loại cơ học thành: Cơ học lý thuyết và Cơ học ứng dụng, Cơ học vật lý và Cơ học kỹ thuật v.v... Cơ học vật lý là lĩnh vực cổ nhất và phát triển hoàn thiện nhất của Vật lý. Trong đó chủ yếu nghiên cứu chuyển động cơ học và cân bằng của chất điểm và hệ các chất điểm và của một vài mô hình vật rắn đơn giản. Cơ học kỹ thuật là một lĩnh vực khoa học nghiên cứu chuyển động và cân bằng của các hệ kỹ thuật. Đó là các máy, các công trình xây dựng, các phương tiện giao thông vận tải, v.v... Các mô hình cơ học của các hệ kỹ thuật cho đến giữa thế kỷ 20 thường là mô hình hệ các chất điểm và các mô hình đàn hồi đơn giản. Từ giữa thế kỷ 20 đến nay, các mô hình cơ học của các hệ kỹ thuật thường được sử dụng là mô hình hệ các vật rắn, hệ các phần tử hữu hạn, hệ các vật thể đàn hồi, hệ các môi trường liên tục, v.v... Trong giáo trình này giới hạn chủ yếu xét mô hình vật rắn và hệ các vật rắn phẳng.

Giáo trình Cơ học kỹ thuật được chia thành ba phần: *Tĩnh học vật rắn*, *Động học vật rắn* và *Động lực học vật rắn*.

2. CƠ HỌC VẬT LÝ VÀ CƠ HỌC KỸ THUẬT

Dựa trên sự phân loại Cơ học thành Cơ học vật lý và Cơ học kỹ thuật, ở đây trình bày về sự giống nhau và khác nhau giữa hai lĩnh vực khoa học này.

Sự giống nhau giữa Cơ học vật lý và Cơ học kỹ thuật. Cả hai lĩnh vực khoa học này đều nghiên cứu những quy luật chuyển động và cân bằng của các vật thể, đều dựa vào hệ ba tiên đề Newton. Năm 1687 Newton đã công bố tác phẩm nổi tiếng "Các nguyên lý toán học của khoa học tự nhiên". Trong đó có nêu ra ba tiên đề làm cơ sở cho các nghiên cứu Cơ học cổ điển. Tiên đề 1 nói rằng: Khi không có lực tác dụng một chất điểm sẽ đứng yên

hoặc chuyển động thẳng đều. Tiên đề 2 nói rằng: Đạo hàm theo thời gian động lượng của chất điểm bằng lực tác dụng lên nó. Tiên đề 3 nói rằng: Khi hai chất điểm tác dụng tương hỗ với nhau thì các lực tương tác giữa chúng là trực đối nhau và nằm trên đường thẳng nối hai chất điểm.

Sự khác nhau giữa Cơ học vật lý và Cơ học kỹ thuật: Giữa chúng có những điểm khác nhau hết sức cơ bản.

Thứ nhất, *khác nhau về phương pháp nghiên cứu.* Phương pháp nghiên cứu của Cơ học vật lý là *phương pháp quy nạp*. Phương pháp nghiên cứu của Cơ học kỹ thuật là *phương pháp suy diễn*. Phương pháp nghiên cứu của Cơ học vật lý chủ yếu là phương pháp thực nghiệm (quan sát, thí nghiệm), từ đó rút ra định luật vật lý, các giả thiết và cuối cùng là áp dụng vào giải thích các hiện tượng vật lý. Phương pháp nghiên cứu của Cơ học kỹ thuật là *phương pháp tiên đề và phương pháp mô hình*. Phương pháp tiên đề là phương pháp nghiên cứu của Cơ học kỹ thuật và của cả Vật lý lý thuyết. Còn phương pháp mô hình là phương pháp đặc trưng cho Cơ học kỹ thuật. Các mô hình cơ học của các mô hình thực (các máy, các công trình,...) được xây dựng phải thoả mãn ba điều kiện: *tương thích, đơn giản và tối ưu*.

Thứ hai, *khác nhau về đối tượng nghiên cứu.* Đối tượng nghiên cứu của Cơ học vật lý là các hệ vật lý đơn giản (hệ các chất điểm, các vật rắn đơn giản). Nhiệm vụ của Cơ học vật lý là giải thích các hiện tượng cơ học trong tự nhiên. Đối tượng nghiên cứu của Cơ học kỹ thuật là các hệ kỹ thuật (các máy, công trình v.v...). Nhiệm vụ của Cơ học kỹ thuật là tính toán các hệ kỹ thuật về phương diện cơ học. Muốn nghiên cứu, tính toán chuyển động của các máy, các công trình xây dựng, trước hết người ta phải xây dựng các mô hình cơ học cho các đối tượng khảo sát. Các mô hình cơ học ngày nay đang được sử dụng là: hệ các chất điểm, hệ các vật rắn, hệ các phần tử hữu hạn, hệ các vật thể biến dạng, hệ các môi trường liên tục, các hệ hỗn hợp. Trong Cơ học vật lý do các đối tượng nghiên cứu là các hệ vật lý đơn giản, nên người ta hầu như không quan tâm đến bài toán xây dựng mô hình. Trái lại trong Cơ học kỹ thuật do đối tượng nghiên cứu là các hệ kỹ thuật (các ô tô, tàu thủy, máy bay, các cầu treo, các toà nhà cao tầng,...) nên người ta rất quan tâm đến bài toán xây dựng mô hình. Đây là bài toán khó và các mô hình cơ học được xây dựng thường là các mô hình gần đúng.

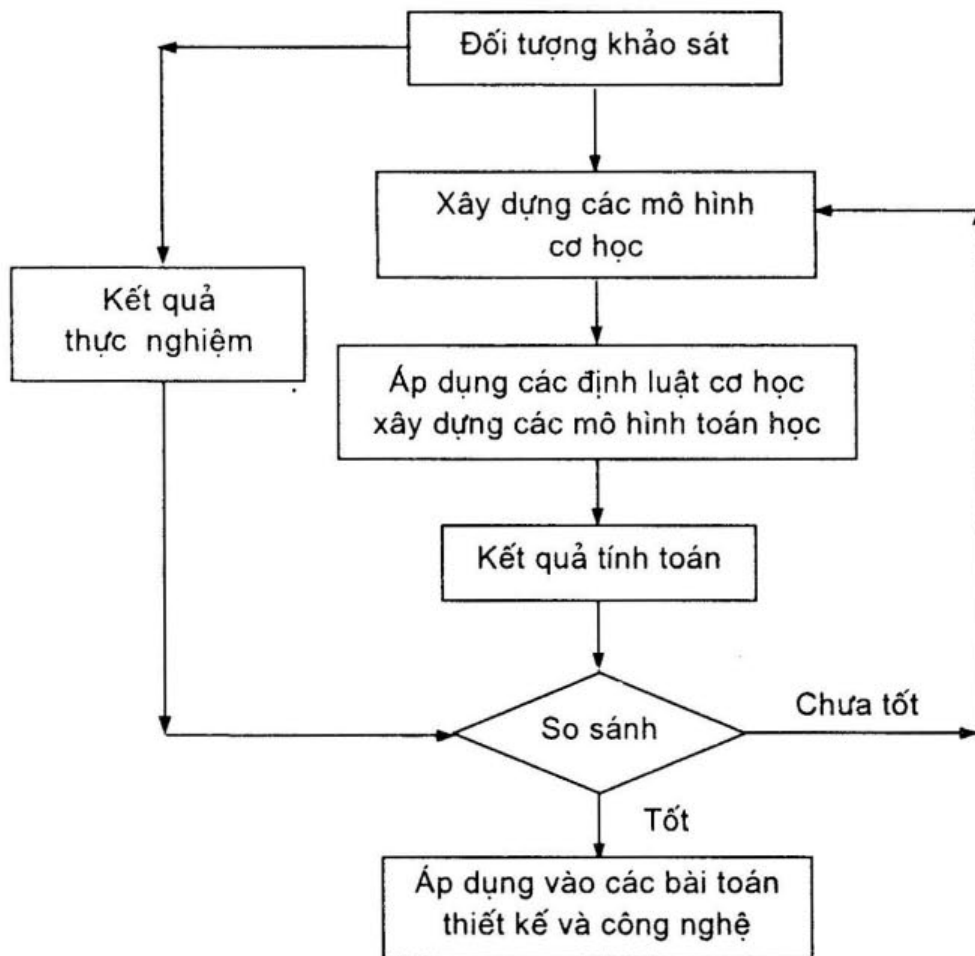
3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

a) Phương pháp suy diễn (Phương pháp tiên đề). Nội dung của phương pháp tiên đề có thể trình bày như sơ đồ dưới đây (hình 0.1).



Hình 0.1

b) Phương pháp mô hình. Nội dung của phương pháp mô hình có thể trình bày như trên hình 0.2.



Hình 0.2