

TRẦN VĂN ĐẮC

THỦY LỰC ĐẠI CƯƠNG



NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC



GS. TSKH. TRẦN VĂN ĐẮC

THUYẾT LỰC ĐẠI CƯƠNG

*Dùng cho sinh viên ngành xây dựng dân dụng,
công nghiệp và công nghệ môi trường*

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC

LỜI GIỚI THIỆU

Nội dung giáo trình được trình bày trong 10 chương với các tên gọi : Nhập môn ; Thủy tĩnh ; Cơ sở Động học và Động lực học của chất lỏng chuyển động ; Chuyển động thế và chuyển động xoáy của chất lỏng dòng song phẳng ; Sức cản thủy lực ; Tính toán thủy lực đường ống ; Chuyển động của chất lỏng qua lỗ, vòi ; Chuyển động đều không áp của chất lỏng ; Chuyển động ổn định không đều trong kênh hở và chương cuối cùng có tên là Lý thuyết thứ nguyên và tương tự đồng dạng.

Nhìn chung giáo trình có nội dung chính xác, phong phú, phương pháp diễn giải mạch lạc, lô gích, có thể dùng làm tài liệu học tập cho sinh viên các ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp, ngành công nghệ môi trường và làm tài liệu tham khảo cho sinh viên các trường Đại học công nghệ.

Với những nội dung được trình bày, tác giả đã thể hiện sự am hiểu tường tận nội dung môn học và các môn có liên quan cùng với quá trình nhiều năm đã giảng dạy môn học trong trường Đại học Bách khoa Hà Nội nên việc cho xuất bản cuốn sách là một nhu cầu cần thiết.

Hà Nội, ngày 1 tháng 8 năm 2003

Người viết

GS. TS. NGUYỄN HỮU CHÍ
Nguyên chủ nhiệm Bộ môn Thủy Khí Động lực
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

LỜI NÓI ĐẦU

Thủy lực là môn cơ học chất lỏng ứng dụng, thuộc loại kinh điển, từ lâu đã là nội dung giảng dạy của các trường đại học kĩ thuật lâu đời nhất trên thế giới. Ở nước ta nhiều trường đại học kĩ thuật ra đời cách đây gần nửa thế kỉ cũng tổ chức giảng dạy bộ môn này ngay từ những ngày đầu thành lập. Vì vậy giáo trình Thủy lực đã được nhiều tác giả biên soạn tùy mục tiêu đào tạo của từng loại trường nên đối tượng phục vụ, phân bố liều lượng nội dung cũng như cách tiếp cận có sự khác nhau, song bổ sung cho nhau với tư cách là tài liệu tham khảo. Nhờ đó thoả mãn được nhu cầu của người học, người tham khảo khi nhu cầu phát triển làm nảy sinh những vùng kiến thức đan xen. Ngoài ra, sự khác biệt còn tìm thấy trong mục tiêu hỗ trợ quá trình nhận thức và làm chủ kiến thức cũng như quá trình tiếp thu kiến thức của người học bằng những phương pháp chủ quan khác nhau mà các tác giả với hi vọng người học có thể có điều kiện lựa chọn cho mình cái phù hợp nhất.

Giáo trình này biên soạn với mục đích cung cấp lượng kiến thức tối thiểu, nhưng đủ dùng về thủy lực cho các sinh viên ngành xây dựng dân dụng và công nghiệp, ngành công nghệ môi trường, đồng thời có thể dùng làm tài liệu tham khảo cho một số ngành kĩ thuật có những mảng kiến thức chung với hai ngành trên. Hướng đối tượng của nó là hỗ trợ cho các sinh viên coi trọng khâu tự học, ưa thích tư duy và chủ động trong việc tiếp nhận kiến thức mới đối với họ. Về quy mô kiến thức : giáo trình này hạn chế trong phạm vi 4 đến 5 học trình (tương đương 60 đến 75 tiết). Để đạt mục đích đề ra ở trên trong khâu biên soạn và các khâu tiếp theo chúng tôi cố gắng hạn chế tới mức tối đa sự thiếu triệt để trong khâu đề cập, những sai sót biên tập cũng như in ấn. Tất cả là chỉ để người đọc tin rằng những gì có trong tài liệu này là kết quả đúng, công thức đúng trên cơ sở phương pháp tư duy chấp nhận được và có thể dùng để kiểm tra kết quả hiểu biết của chính mình. Được như vậy thì mục đích hỗ trợ cho những nỗ lực tự học mới có cơ may đạt được. Giáo trình đã được đưa vào giảng dạy tại Trường Đại học Dân lập Đông Đô.

Tác giả chân thành cảm ơn GS. TS Nguyễn Hữu Chí Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, đã dành thời gian đọc và cho ý kiến nhận xét quý báu. Tác giả hết sức cảm ơn GS. TS Đoàn Định Kiến, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội ; PGS. TS Nguyễn Văn Xuất, Học viện Kĩ thuật Quân sự ; và các bạn đồng nghiệp về sự động viên, khích lệ cho sự ra đời một giáo trình như thế này.

Cuối cùng, dù cố gắng đến đâu cũng chẳng thể tránh khỏi những sai sót, mong bạn đọc góp ý xây dựng mọi mặt để giáo trình này hoàn chỉnh hơn nữa. Chúng tôi chân thành cảm ơn.

Hà Nội, năm 2003

TÁC GIẢ

Chương I

NHẬP MÔN

1. Khái niệm chung

Thủy lực, còn có thể gọi là Cơ học chất lỏng ứng dụng, là một chương lớn trong cơ học các vật thể biến dạng, nghiên cứu các quy luật cân bằng và chuyển động cũng như biện pháp ứng dụng các quy luật này vào thực tiễn của chất lỏng và chất khí (Sau này gọi chung là chất lỏng, đồng thời thường dùng khái niệm chất lỏng chịu nén hay nén được để nói về các chất khí).

Thủy lực là một môn khoa học ứng dụng, rất gần gũi với hoạt động nghề nghiệp của các kĩ sư nói chung và kĩ sư xây dựng nói riêng.

Đối tượng nghiên cứu. Thủy lực nghiên cứu :

- + Các quy luật cân bằng và chuyển động của chất lỏng ;
- + Các biện pháp ứng dụng những quy luật đó vào thực tiễn.

2. Lược sử phát triển

Bộ môn Thủy lực có lịch sử phát triển rất lâu đời, bắt nguồn từ hàng mấy nghìn năm trước Công nguyên. Dấu tích của các công trình xây dựng quy mô lớn còn lưu lại đến ngày nay như các công trình dẫn thủy nhập điền (thủy lợi nông nghiệp), hệ thống cống tiêu thoát nước trong thành phố ; sự phát triển của ngành hàng hải, viễn dương chứng tỏ cư dân của nền văn minh trước đây đã nắm được những kiến thức ứng dụng rất sâu sắc về thủy lực. Thực vậy, trước Công nguyên người nông dân Ai Cập đã biết dùng một đoạn ống loe (ống dipphuzo) nối thêm vào miệng ống cũ để lấy được nhiều nước hơn vào ruộng của mình mà không phải trả thêm tiền bởi phí thủy lợi đã được ấn định theo kích thước ống dẫn từ sông máng.

Tuy nhiên, để trở thành một môn khoa học thực sự, có lí luận soi sáng, được chứng minh chặt chẽ, được thể nghiệm rõ ràng có lẽ phải sau khi Archimedes (Ac-si-met, năm 250 trước Công nguyên) phát kiến ra định luật vật nổi - lực đẩy Archimedes - bộ môn thủy lực mới ra đời với tư cách là một khoa học ứng dụng như cách hiểu ngày nay. Trước ông đã không ít các nhà khoa học, đồng thời là triết gia đã có những nhầm lẫn khi nghiên cứu, quan sát chuyển động của các vật thể trong đó có chất lỏng. Chẳng hạn như Aristoteles (ta thường gọi là A-ri-xtốt) cho rằng khi một vật chuyển động trong không khí (chuyển động do quán tính, không gắn máy động lực) phải có một lực thường xuyên tác động lên nó mà lực đó do không khí bao quanh sinh ra !

Leonardo da Vinci (Lê-ôn-na đờ Vành-xi, 1452 - 1519 sau CN), cả về cách đặt vấn đề cũng như phương pháp tiếp cận, là người mở ra một giai đoạn mới - đúng với khí thế của thời kì phục hưng ở Châu Âu - bằng tư duy uyên bác, khoa học, đoạn tuyệt với tư duy triết học của Aristoteles, thay đổi quan niệm, thành một trường phái độc lập, do đó đã đạt nhiều

thành tựu khoa học trong nghiên cứu thủy lực như : nghiên cứu sức cản của chất lỏng lên vật thể chuyển động trong nó ; trong nghiên cứu về kĩ thuật bay lướt (cánh cố định) và bay vỗ cánh. Ông cũng là người đầu tiên dùng mô hình (thu nhỏ) để nghiên cứu chuyển động của chất lỏng. Tiếc rằng tư duy của ông vượt xa trước thời đại nên cũng gặp không ít khó khăn, trở ngại, trước hết là không có các đối tác thích hợp cho những ý kiến phản biện có tính thúc đẩy, một tập thể "tri kỉ" để có thể tiến xa hơn.

Sang thế kỉ thứ 17 Galilei (Ga-li-lê, 1564 - 1642) người có công đầu đưa định lí Archimedes vào khuôn khổ của môn cơ học tổng quát, nghiên cứu lực cản lên vật chuyển động trong không khí thông qua con lắc cơ học. Tiếp đó các học trò của ông như Torricelli (Tô-ri-xen-li, 1608 - 1647) và Castelli (Ca-xten-li, 1577 - 1642) đã đi sâu vào nghiên cứu và đã đạt được nhiều kết quả về quy luật phân bố áp suất khí quyển, dòng chảy qua lỗ và vòi, dòng chảy trong ống dẫn và lòng kênh, máng dẫn.

Isac Newton (I-zác Niu--ton, 1642 - 1727) cũng là nhà bác học lớn trong ngành cơ học chất lỏng, có nhiều thành tựu trong nghiên cứu về lực cản của chất lỏng lên các vật, chỉ ra mối liên quan của nó đến bình phương của vận tốc chảy, đến các yếu tố hình dạng của vật thể, ma sát giữa chất lỏng và vật, đặc biệt là mô hình tuyến tính xác định ứng suất tiếp từ gradien vận tốc dòng chảy. Đây quả là những đóng góp to lớn, có giá trị thực tiễn đến tận ngày nay. Là bác học của mọi thời đại song ông cũng không tránh khỏi những chỗ chưa thấu đáo khi bỏ qua tác động của dòng quán sau vật, nên tính toán của ông thiên về giá trị cản lớn hơn. Daniel Bernoulli (Đa-ni-en Bec-nu-li, 1700 - 1783) và Leonhard Euler (Lê-ôn-na O-le 1707 - 1783) là những người đặt nền móng quan trọng cho thủy động lực học, một mảng quan trọng của bộ môn thủy lực, bằng các phương trình cơ bản trong thủy tĩnh học, thủy động học gắn liền với tên tuổi của các ông. D'Alambert cũng là một tên tuổi lớn, cùng thời và ngang tầm với Euler và Bernoulli, trong thủy lực D'Alambert quan tâm chủ yếu đến sức cản lên vật thể.

Còn có những tên tuổi khác có những đóng góp to lớn cho sự phát triển ngành khoa học này như Laplace (La pla'x, 1749 - 1827), Cauchy (Cô-si, 1789 - 1857), Lagrange (La-g' -răng-giơ, 1736 - 1813), Poisson (Poa-sông, 1781 - 1846), Navier (Na-vi-ê, 1785 - 1836), Stokes (X'Tốc, 1819 - 1903), De Saint Venant (Đơ Xanh Vơ-năng, 1797 - 1886). Họ là các nhà toán học xuất sắc, tiếp cận bộ môn thủy lực bằng sắc thái riêng của mình. Đó là các giải pháp toán học, các mô hình toán học mô tả các quy luật trong thủy lực mà ngày nay vẫn còn nguyên giá trị.

Cuối thế kỉ 18 còn có Darcy (Đác-xi), Chézy (Sê-zi), Basin (Ba-zanh), Weissbach (Vây's-bác) đi sâu vào các nghiên cứu lí thuyết nửa thực nghiệm và tiến hành nhiều thí nghiệm để kiểm chứng các kết quả nhằm đưa ra các công thức tính toán giúp cho việc ứng dụng thủy lực vào thực tiễn cuộc sống, mở đầu cho một hướng khoa học thực nghiệm trong lĩnh vực cơ chất lỏng, thủy lực.

Sự xích lại gần nhau giữa lí thuyết và thực nghiệm diễn ra hết sức mạnh mẽ vào cuối thế kỉ 19 khi sự hình thành các quan niệm mới về chuyển động của chất lỏng dựa trên những kết quả nghiên cứu cấu trúc vi mô của dòng chảy và thực sự phát triển trong thế kỉ 20 khi xuất hiện các thiết bị đo lường cao cấp giúp khẳng định đúng - sai của lí thuyết thông qua các mô hình thí nghiệm xuất phát từ phân tích thứ nguyên và lí thuyết tương tự - đồng dạng. Đó là điều dễ hiểu của quy luật phát triển, bởi lẽ lúc này nền công nghiệp chế tạo đã làm chủ được những công nghệ chính xác, cho phép chế tạo được các công cụ rất tinh vi.

Cuối thế kỉ 19, đầu thế kỉ 20 xuất hiện một loạt các nhà bác học Nga, các nhà bác học Xô viết. Họ đã có những đóng góp to lớn vào sự phát triển chung của nhân loại trong lĩnh vực cơ chất lỏng mà các đại diện tiêu biểu là Xiônôpki (lí thuyết bay, du hành vũ trụ), Petrôp (1836 - 1920 - nghiên cứu ma sát trong chảy tầng), Traplighin và Giukôpxki (chảy bao, lí thuyết cánh). Tiêu biểu cho các quốc gia châu Âu khác có Prandtl (1875 - 1953 - có nhiều đóng góp lớn trong nghiên cứu dòng rối, lớp biên, lực cản).

Trong nửa cuối của thế kỉ 20, sự phát triển của bộ môn thuỷ lực, mặc dù là một ngành khoa học truyền thống, có tính cổ điển, đã chuyển sang thời kì phát triển theo chiều sâu nhờ có các nghiên cứu hướng chuyên biệt sâu, các công cụ thí nghiệm, các phương tiện và công cụ toán học, đặc biệt là máy tính điện tử cùng các thiết bị ngoại vi hết sức tinh xảo nên - như ở các lĩnh vực khác - số các nhà bác học, khoa học của ngành tăng lên gấp bội.

Tại Việt Nam, ông cha ta cũng phải có những kiến thức thuỷ lợi sâu sắc thì mới có thể chế ngự phân nào những dòng sông hung dữ chằng chịt khắp đất nước, mới có khả năng khai khẩn, cải tạo các dải đất ven biển, thau chua rửa mặn, biến nó thành tài sản quý giá cho đất nước. Các nhà khoa học ở nước ta ngày nay về lĩnh vực này chắc cũng không hiếm. Ngặt vì thiếu số liệu chính xác cả về con người cụ thể lẫn trường phái của họ, nên nói gì ở đây cũng khó đảm bảo sự nghiêm túc về khoa học. Hi vọng rằng đến một lúc nào đó chúng ta sẽ có đủ điều kiện để làm việc này.

3. Các tính chất vật lí chủ yếu của chất lỏng

3.1. Hệ đo lường

Khi khảo sát các tính chất vật lí của chất lỏng ta không thể không dùng các công cụ đo lường. Bởi vậy trước hết phải nói về các hệ đo lường sẽ dùng trong quá trình nghiên cứu sau này. Trong thực tiễn Việt Nam các kĩ sư của chúng ta thường sử dụng 2 hệ đo lường : *Hệ kĩ thuật MKGS, quy định*

- Độ dài đo bằng mét (m),
- Lực đo bằng kilôgam lực (kG),
- Thời gian đo bằng giây (s - secundum).

Như vậy, khối lượng sẽ có thứ nguyên quy dẫn từ quan hệ :

$$\text{Khối lượng} = \frac{\text{Lực}}{\text{Gia tốc}}$$

để dẫn đến "đơn vị đo lường" là $\text{kG}\cdot\text{s}^2/\text{m}$.

Hệ đo lường quốc tế SI, quy định :

- Độ dài đo bằng mét (m),
- Thời gian đo bằng giây (s),
- Lực sẽ đo bằng "đơn vị đo lường quy dẫn" là newton : $1\text{N} = 1\text{kg m/s}^2$.

Từ đây có thể suy ra :

$$1\text{kG} = 9,81\text{kg m/s}^2 = 9,81\text{N}, \text{ nếu gia tốc trọng trường } g = 9,81\text{m/s}^2,$$

$$1\text{N} = 0,102\text{kG},$$

$$1\text{dyn} = 10^{-5}\text{N} = 1,02 \cdot 10^{-6}\text{kG}$$

Trong thực tiễn, để tiện người ta lấy $1\text{kG} = 10\text{N}$ và $1\text{N} = 0,1\text{kG}$.

Các đơn vị dẫn xuất khác cũng có thể suy ra từ các hệ đo lường như :

Áp suất đo bằng kG/cm^2 , kG/m^2 , dyn/cm^2 , atm (át-mốt-phe) ;

$$1\text{ Pa (pa-xcan)} = 1\text{N/m}^2 = 0,102\text{kG/m}^2$$

$$= 10\text{dyn/cm}^2 = 1,02 \cdot 10^{-5}\text{kG/cm}^2$$

$$= 9,87 \cdot 10^{-6}\text{ atm tuyệt đối}$$

$$= 7,5 \cdot 10^{-2}\text{mmHg}.$$

Đương nhiên, trong mỗi hệ đo lường người ta có thể dùng các đơn vị đo lường nhỏ hơn (hoặc lớn hơn) sao cho thuận tiện, song cần lưu ý, đừng để nhầm lẫn khi tính toán). Ví dụ : mm, cm ; g (gam trọng lượng), g (gam khối lượng), v.v...

Ta cũng thường gặp 1kN (kilô niuton) = 1000N , 1MN (mêga niuton) = 10^6N ; 1kPa (kilô pa-xcan) = 1000Pa , 1MPa (mêga pa-xcan) = 10^6Pa .

3.2. Định nghĩa chất lỏng (nghĩa rộng, kể cả khí) :

Chất lỏng, khác với vật rắn, là loại vật chất có tính dễ chảy, chỉ dùng một lực rất bé có thể làm biến dạng/thay đổi hình dạng ; chất lỏng tự chảy dưới tác động của trọng lượng bản thân.

Ta phân biệt chất lỏng ra làm 2 loại : nén được (chịu nén) và không nén được (không chịu nén). Vậy các loại khí là chất lỏng nén được, còn vật chất ở thể lỏng đều được coi là chất lỏng không nén được. Trong một số trường hợp đặc thù người ta mới xem xét đến tính nén được của chúng, dù ở mức độ rất nhỏ so với thể khí.

3.3. Sự thay đổi thể tích của chất lỏng (nghĩa rộng) - Phương trình và biểu đồ trạng thái

Để hiểu sâu sắc tính chất của chất lỏng, hãy tìm hiểu hai trạng thái lỏng và khí của vật chất và trạng thái trung gian của nó là thể hơi (theo mạch của thuật ngữ "khí ướt", "khí khô" - hơi, hơi quá nhiệt trong kĩ thuật) thông qua phương trình trạng thái Van der Waalls :

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right) \cdot (V - b) = RT \quad (1-1)$$

trong đó : p - áp suất, V - thể tích khối khí đo bằng m^3 ; T - nhiệt độ tuyệt đối đo bằng K (độ Kenvanh);
 a và b là các hằng số ứng cho từng loại chất khí,
 R - hằng số chung của chất khí. Ví dụ đối với ôxi :
 $a = 273.10^{-5}atm$, $b = 143.10^{-5}cm^3$. Còn ở điều kiện
 $T = 273K$, $p = 1atm$, lấy $V = 22,4 m^3$ (mol thể tích)
 thì $R = 847,83kgm/^\circ C$. Bây giờ ta hãy giải thích
 biểu đồ của biểu thức (1-1) trên hình 1.1.

Đường cong $d-c-e$ là đường nhiệt độ tới hạn. Các
 giá trị thể tích riêng, áp suất, nhiệt độ của đường
 này là các giá trị tới hạn. Trên đồ thị có 4 vùng đặc
 trưng khác nhau. Ở vùng thứ nhất, vùng nằm ở
 phía trên bên phải đường T_{kr} (hay đường $T^* = 1$)
 đặc trưng cho trạng thái khí (kể cả hơi quá nhiệt).

Ứng với miền này, khí dù có được tăng áp suất lên bao nhiêu để nén cũng không thể hoá
 lỏng được. Vùng thứ 2 giới hạn bởi biên $e-c-b$ -phần tiếp của trục V đặc trưng cho thể hơi
 ("khí ẩm") có thể hoá lỏng bằng phương pháp nén, ép. Vùng thứ 3 có biên $b-n-c-m-a$ là
 vùng hỗn hợp, có cả hơi bão hoà lẫn chất lỏng với tỉ lệ bất định. Vùng thứ 4 biên $d-c-a-o$ -
 trục p đặc trưng cho vùng thuần chất lỏng. Các đường cong nằm trong vùng này rất dốc, thể
 hiện tính không chịu nén của chất lỏng.

Lưu ý rằng, có thể xác định các điểm cực đại, cực tiểu cục bộ và điểm uốn của các
 đường đẳng nhiệt trên đồ thị bằng cách giải các phương trình :

$$\frac{dp}{dV} = 0 \text{ và } \frac{d^2p}{dV^2} = 0 \quad (1-2)$$

Từ phương trình trạng thái trên có thể rút ra phương trình Gay-Lussac/Boyle-Mariotte
 quen thuộc

$$pV = RT \quad (1-3)$$

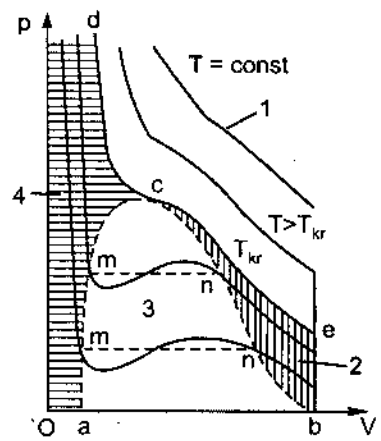
Nếu viết dưới dạng vạn năng (không thứ nguyên), bằng cách chia các biến số cho các trị
 số tới hạn tương ứng của nó :

$$p^* = p/p_{kr}, \quad V^* = V/V_{kr}, \quad T^* = T/T_{kr},$$

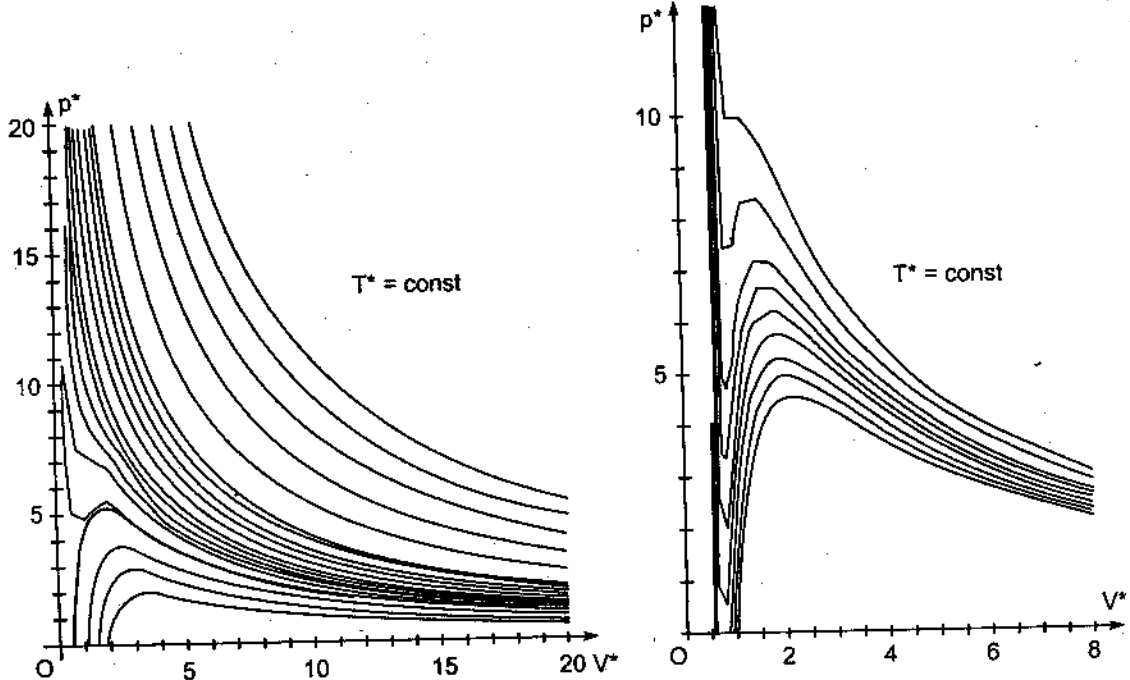
ta được :

$$\left(p^* \frac{3}{V^{*2}} \right) (3V^* - 1) = 8T^* \quad (1-4)$$

Hình 1.2 cho biểu đồ của phương trình Van der Waals (1-4) trong hệ tọa độ p^*OV^* với
 thông số là nhiệt độ T^* , nghĩa là các đường cong là những đường đẳng nhiệt. Ta thấy ở
 vùng khí (vùng thứ nhất) càng xa gốc tọa độ đường cong càng sát với đường hypebôn cho
 chất khí lí tưởng.



Hình 1.1



Hình 1.2

3.4. Mật độ/ khối lượng riêng, trọng lượng thể tích/trọng lượng riêng của chất lỏng

+ **Mật độ** (kí hiệu : ρ) của chất lỏng là khối lượng của một đơn vị thể tích của chất lỏng đó. Nếu tính đồng nhất được bảo đảm :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1-5a)$$

Nếu không, ta có mật độ cục bộ (hay mật độ địa phương) :

$$\rho = \lim_{dV \rightarrow 0} \frac{dM}{dV} \quad (1-5b)$$

trong đó : M là khối lượng của thể tích khối chất lỏng V.

+ **Trọng lượng riêng của chất lỏng** là trọng lượng của một đơn vị thể tích khối chất lỏng đó. Nếu tính đồng nhất được đảm bảo thì :

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1-6a)$$

Nếu không, ta có trọng lượng riêng cục bộ :

$$\gamma = \lim_{dV \rightarrow 0} \frac{dG}{dV} \quad (1-6b)$$

trong đó : G là trọng lượng của thể tích khối chất lỏng V.

Giữa mật độ và trọng lượng riêng tồn tại mối quan hệ :

$$\gamma = g\rho \quad (1-6c)$$

trong đó : g là gia tốc trọng trường còn gọi là gia tốc rơi tự do.