PHƯƠNG PHÁP GIẢNG DẠY CÁC ĐỊNH LUẬT CƠ BẢN TRONG THỦY KHÍ KỸ THUẬT TRÊN CƠ SỞ ĐỊNH LÝ VẬN CHUYỂN REYNOLDS

Thái Doãn Tường *

Tóm tắt: Thủy khí kỹ thuật là một trong những môn học cơ sở khá quan trọng, nhưng cũng rất khó đối với sinh viên ngành Cơ khí động lực, trong đó có sinh viên ngành kỹ thuật ô tô. Chuyển tải kiến thức giúp sinh viên hiểu được bản chất các định luật thủy khí kỹ thuật cơ bản và vận dụng linh hoạt để giải các bài toán thực tế luôn là mong ước và đích đến của người dạy và người học. Bài báo trình bày phương pháp tiếp cận theo hướng đối tượng trên cơ sở áp dụng định lý vận chuyển Reynolds để phân tích các định luật thủy khí cơ bản và rút ra được các phương trình đặc trưng tương ứng theo cùng một cách tiếp cận, tương đối trực quan và dễ hiểu, từ đó, vận dụng kết quả nghiên cứu để giải một số bài toán minh họa thực tế.

Từ khóa: Chất lưu, định lý vận chuyển, thể tích kiểm soát, mặt kiểm soát, định luật.

Abstract: Technical Fluid mechanics is one of the important subjects, but it is also very difficult for students in the Department of Mechanical Engineering, including students in automotive engineering. Conveying knowledge helps students understand the nature of basic technical fluid mechanics laws and flexibly apply solutions to practical problems that are always the desire and destination of teachers and learners. This paper presents an object-oriented approach based on the application of the Reynolds Transport Theorem to analyze basic technical fluid mechanics laws and derive corresponding characteristic equations in the same way, relatively intuitive and easy to understand. From there, apply the research results to solve some practical illustrative problems.

Key words: Fluid mechanics, transport theorem, control volume, control suface, law.

1. Đặt vấn đề

Các định luật kỹ thuật thủy khí cơ bản gồm: (a) định luật bảo toàn khối lượng, (b) định luật bảo toàn năng lượng, và (c) định luật bảo toàn động lượng và tương ứng là các phương trình đặc trưng mô tả chúng. Có nhiều cách để mô tả, phân tích và rút ra được các phương trình đặc trưng, như phương pháp giải tích vi phân theo hướng rời rạc hiện tượng [1, 2, 3], hoặc phương pháp thí nghiệm để chứng minh trực quan rồi dẫn ra các phương trình, mà không chứng minh. Các phương pháp trên đều làm cho sinh viên khó hiểu, khó theo dõi và mặc dù biết được công thức, nhưng vận dụng làm bài tập gặp khó khăn. Phương pháp nghiên cứu đưa trên cơ sở vận dụng định lý vận chuyển .....

* Trường ĐH KD&CN Hà Nội

Reynolds sẽ giúp cho việc hiểu và vận dụng các định luật trên được thuận lợi hơn.

Định lý vận chuyển Reynolds (Reynolds Transport Theorem) [4] được nhà vật lý người Anh Osborne Reynolds (1942-1912) trình bày và chứng minh lần đầu vào năm 1903 áp dụng cho cơ học chất lỏng. Sau này, các nhà bác học khác đã tổng quát định lý để áp dụng cho các ngành cơ học khác, nhưng vẫn giữ nguyên tên ban đầu để vinh danh người đã phát minh ra nó.

Định lý vận chuyển Reynolds được phát biểu như sau: *"Giả sử B_{sys} là hệ thống đại diện cho một đặc trưng tổng quát nào đó (như khối lượng, năng lượng hay động lượng), và gọi b =B_{sys}/m, trong đó m là khối lượng, là đại lượng đại diện cho đặc trưng tập trung tương ứng. Phương pháp chuyển đổi đạo hàm của hàm số tích phân được biểu diễn như sau [5]:*

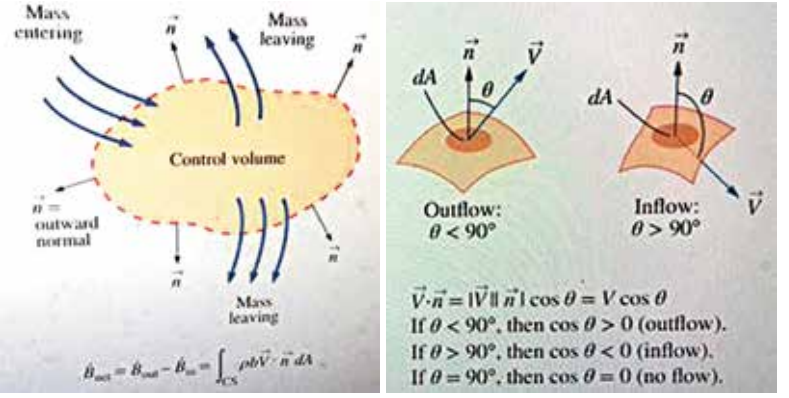
$$\frac{dB_{\text{sys}}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho b dW + \iint_{CS} \rho b(\vec{V}.\vec{n}) d\omega \tag{1.1}$$

Trong đó, ρ là khối lượng riêng của vật chất; V là vận tốc vận chuyển vật chất vào, ra khỏi thể tích kiểm soát CV qua mặt kiểm soát CS; dW, dω là vi phân thể tích trong lòng CV và vi phân diện tích trên mặt CS.

Phương trình (1.1) còn được gọi là phương trình vận chuyển Reynolds.

Nếu thể tích kiểm soát CV không chuyển động hoặc không bị biến dạng, ký hiệu đạo hàm ở số hạng thứ nhất vế bên phải được đưa vào trong dấu tích phân và thành đạo hàm riêng. Lúc này phương trình vận chuyển Reynolds có dạng:

$$\frac{dB_{\text{sys}}}{dt} = \iiint_{CV} \frac{\partial}{\partial t}(\rho b) dW + \iint_{CS} \rho b(\vec{V}.\vec{n}) d\omega \tag{1.2}$$



Hình 1.1. **Mô hình minh họa định lý vận chuyển Reynolds**

Nếu ký hiệu $\dot{B}_{net}$, $\dot{B}_{in}$, $\dot{B}_{out}$ là tích phân số hạng thứ hai ở vế phải, tích phân trên mặt chất lỏng chảy vào, và tích phân trên mặt chất lỏng chảy ra, ta có mối quan hệ (xem hình 1.1):

$$\dot{B}_{net} = \iint_{CS} \rho b(\vec{V}.\vec{n}).d\omega = \sum_{out} \rho b.(\vec{V}.\vec{n})\omega - \sum_{in} \rho b.(\vec{V}.\vec{n})\omega = \dot{B}_{out} - \dot{B}_{in} \quad (1.3)$$

Nhìn vào hình 1.1 có thể nhận thấy $\dot{B}_{out}$ mang dấu cộng còn $\dot{B}_{in}$ mang dấu trừ.

Trên cơ sở phương trình vận chuyển Reynlds (1.1), (1.2), và tích phân (1.3) các phương trình đặc trưng cho định luật thủy khí cơ bản được phân tích và chứng minh cùng một cách tiếp cận theo hướng đối tượng khá trực quan và dễ hiểu, từ dạng tổng quát đến dạng đơn giản.

2. Nghiên cứu các định luật thủy khí kỹ thuật cơ bản trên cơ sở phương trình (định lý) vận chuyển Reynolds

2.1. Định luật bảo toàn khối lượng chất lỏng

Định luật bảo toàn khối lượng chất lỏng được phát biểu: *"Khối lượng của chất lỏng trong một hệ thống luôn là hằng số trong một quá trình"*.

Định luật bảo toàn khối lượng được đặc trưng bằng phương trình liên tục, được rút ra từ phương trình vận chuyển Reynolds (1.1) khi thay đại lượng $B_{sys} = m_{sys}$ và b = 1 theo sơ đồ:

$$\frac{dB_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho b dW + \iint_{CS} \rho b(\vec{V}.\vec{n})d\omega$$

$$B_{sys} = m_{sys} \qquad b = 1 \qquad b = 1$$

$$\frac{dm_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho dW + \iint_{CS} \rho(\vec{V}.\vec{n})d\omega \quad (2.1)$$

Vì khối lượng chất lỏng trong một quá trình là hằng số nên $\frac{dB_{sys}}{dt} = 0$ và phương trình liên tục (2.1) được biểu diễn dưới dạng sau:

$$\frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho dW + \iint_{CS} \rho(\vec{V}.\vec{n})d\omega = 0 \quad (2.2)$$

Từ phương trình (2.2), định luật bảo toàn khối lượng được phát biểu như sau: *"Tốc độ biến thiên của khối chất lỏng bên trong thể tích kiểm soát CV cộng với tốc độ biến thiên dòng chất lỏng chảy qua mặt kiểm soát CS bằng 0"*.

Phương trình (2.2) tương đối khó hiểu và khó áp dụng vào thực tế. Vì vậy, ta biến đổi nó thành hai dạng (a) vi phân, và (b) tích phân, tùy vào mục đích sử dụng.

(a) Phương trình bảo toàn khối lượng dạng vi phân (phương trình liên tục):

Chuyển đổi tích phân mặt ở số hạng thứ 2 của (2.2) sang tích phân thể tích theo định lý Gauss và lưu ý phương trình (1.2), ta viết (2.2) thành dạng:

Định lý Gauss: $\iint_{CS} \rho\vec{V}.\vec{n}.d\omega = \iiint_{CV} div(\rho\vec{V}).d\mathrm{W}$ (2.3)

Từ đó (2.2) $\Leftrightarrow$ $\iiint_{CV} \frac{\partial\rho}{\partial t} dW + \iiint_{CV} div(\rho\vec{V})d\mathrm{W} = 0 \Rightarrow \iiint_{CV} (\frac{\partial\rho}{\partial t} + div(\rho\vec{V}))d\mathrm{W} = 0$ (2.4)

Tồn tại một hàm dưới dấu tích phân để:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + div(\rho\vec{V}) = 0 \quad (2.5)$$

Phương trình (2.5) chính là dạng vi phân của phương trình liên tục (2.4), được sử dụng rất nhiều trong các bài toán xác định phân bố vận tốc dòng chất lỏng và được kết hợp với phương trình chuyển động Navier – Stockes [6].

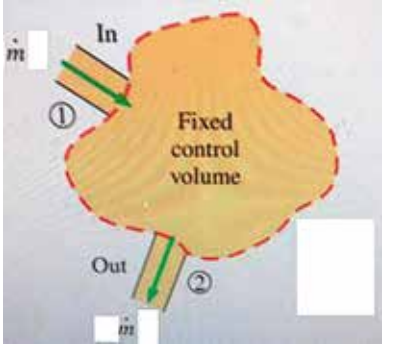
(b) Phương trình bảo toàn khối lượng dạng tích phân:

Ta xuất phát từ phương trình vận chuyển (2.1) và thực hiện lấy tích phân số hạng thứ hai trên hai phần của mặt kiểm soát CS (xem hình 2.1): mặt dòng chảy vào (in) và mặt dòng chảy ra (out) và ký hiệu $\frac{dm_{CV}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho d\mathrm{W}$, từ đó phương trình (2.2) được đưa về dạng:

$$\frac{dm_{CV}}{dt} + \sum_{out} \rho\left|\vec{V}.\vec{n}\right|\omega - \sum_{in} \rho\left|\vec{V}.\vec{n}\right|\omega = 0 \Rightarrow \frac{dm_{CV}}{dt} = \sum_{in} \rho\left|\vec{V}.\vec{n}\right|\omega - \sum_{out} \rho\left|\vec{V}.\vec{n}\right|\omega \quad (2.6)$$

Ký hiệu $\dot{m} = \rho\left|\vec{V}.\vec{n}\right|.\omega = \rho.V_n.\omega$, trong đó $V_n = \vec{V}.\vec{n} = V.\cos\theta$ với cosθ là cosin chỉ phương của véc tơ pháp tuyến với mặt kiểm soát, phương trình liên tục (2.6) được viết dưới dạng:

$$\frac{dm_{CV}}{dt} = \sum_{in} \dot{m} - \sum_{out} \dot{m} \quad (2.7)$$



Hình 2.1. **Mô hình minh họa phương trình liên tục**

Dễ dàng nhận thấy rằng, khi chất lỏng chảy vào mặt kiểm soát CS (in) thì $\theta > 90^0$ thì $\cos\theta < 0$ và khi chất lỏng chảy ra từ mặt kiểm soát CS (out) thì $\theta < 0$ và $\cos\theta > 0$. Điều này phù hợp với dấu của các số hạng của phương trình (2.6).

Nếu dòng chất lỏng là dòng dừng (ổn định), không nén được (ρ = const) và chỉ xét cho một dòng nguyên tố với hai điểm vào (in) và ra (out) (xem hình 2.1), phương trình liên tục được rút gọn như sau:

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \Rightarrow V_{in}\omega_{in} = V_{out}\omega_{out} \qquad (2.8)$$

Phương trình liên tục dạng (2.8) cho thấy mối quan hệ giữa vận tốc và diện tích tiết diện dòng chảy cho dòng nguyên tố, được sử dụng rộng rãi và thường xuyên trong các bài toán thực tế [1, 2, 3, 5].

2.2. Định luật bảo toàn năng lượng chất lỏng

Định luật bảo toàn năng lượng được phát biểu: *"Năng lượng của hệ thống kín chứa chất lỏng không được tự tạo ra cũng không tự nhiên mất đi, chúng chỉ biến đổi từ dạng này sang dạng khác".*

Đặc trưng cho định luật bảo toàn năng lượng là phương trình Becnuli, được biến đổi từ phương trình vận chuyển Reynolds (1.1) nếu thay thế $B_{sys} = E_{sys}$ và $b = e_f$ theo sơ đồ sau:

$$\frac{dB_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV}\rho b dW + \iint_{CS}\rho b(\vec{V}.\vec{n})d\omega$$

$$B_{sys} = E_{sys} \qquad b = e_f \qquad b = e_f$$

$$\frac{dE_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV}\rho e_f dW + \iint_{CS}\rho e_f(\vec{V}.\vec{n})d\omega \qquad (2.9)$$

Trong đó, E_{sys} là năng lượng của hệ thống, còn e_f là năng lượng đơn vị khối lượng của dòng chất lỏng luân chuyển từ thể tích kiểm soát CV qua mặt kiểm soát CS.

Theo định luật nhiệt động lực học, năng lượng đơn vị được tạo thành từ entalpy (ký hiệu h), xấp xỉ bằng áp năng (ký hiệu $\frac{p}{\rho}$) ở quá trình đẳng nhiệt trong chất lỏng, động năng (ký hiệu $\frac{V^2}{2}$) do chất lỏng chuyển động, thế năng (gz) do chất lỏng nằm trong trường trọng lực:

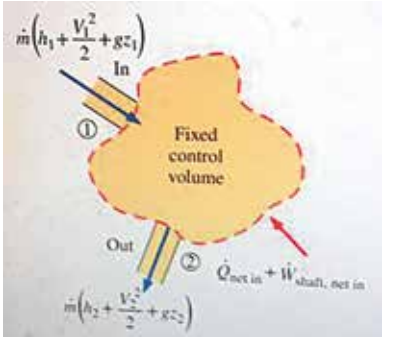
$$e_f = \frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz \qquad (2.10)$$

Năng lượng bên ngoài $\frac{dE_{sys}}{dt} = \dot{Q}_{in} + \dot{W}_m$, bao gồm năng lượng do trao đổi nhiệt

($\dot{Q}_{in}$) với chất lỏng trong thể tích kiểm soát CV, năng lượng do công cơ học ($\dot{W}_m$) do quạt, máy nén, tuabin,.. tác dụng lên thế tích chất lỏng.

Tương tự như các mục trước ta lấy tích phân số hạng thứ hai bên phải của (2.9) trên phần có dòng chất lỏng chảy vào (in) và phần có dòng chất lỏng chảy ra (out) của mặt kiểm soát CS (xem hình 2.2), nhận được:

$$\frac{dE_{\text{sys}}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho e_f dW + \sum_{out} \dot{m}.e_f - \sum_{in} \dot{m}.e_f \qquad (2.11)$$



Hình 2.2. **Mô hình minh họa phương trình bảo toàn năng lượng**

Nếu hệ thống không có trao đổi nhiệt và không có công cơ học tác dụng và dòng chảy là dòng dừng, chất lỏng không nén được, phương trình (2.11) được trở thành dạng:

$$\sum_{in} \dot{m}\left(\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz\right) = \sum_{out} \dot{m}\left(\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz\right) \qquad (2.12)$$

Phương trình (2.12) là phương trình Becnuli cho toàn dòng chất lỏng chảy vào và chảy ra từ thể tích kiểm soát CV thông qua bề mặt kiểm soát CS.

Nếu chỉ có một lối chảy vào (ký hiệu 1) và một lối chảy ra (ký hiệu 2), sau khi chia hai vế cho $\dot{m}g$, phương trình Becnuli cho dòng nguyên tố, chất lỏng lý tưởng, chảy dừng có dạng:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \qquad (2.13)$$

2.3. Định luật bảo toàn động lượng

Định luật bảo toàn động lượng được phát biểu như sau: *"Tổng các ngoại lực* $\sum \vec{F}$ *tác dụng lên một hệ thống chất lỏng bằng tốc độ biến thiên động lượng theo thời gian của hệ thống đó".*

Định luật bảo toàn động lượng, được đặc trưng bằng phương trình biến thiên động lượng, được rút ra từ phương trình vận chuyển Reynolds (1.1), nếu thay

$B_{sys} = m.\vec{V}$, $b = \vec{V}$ theo sơ đồ chuyển đổi sau đây:

$$\frac{dB_{sys}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho b dW + \iint_{CS} \rho b(\vec{V}.\vec{n}) d\omega$$

$$B_{sys} \downarrow = m\vec{V} \qquad b \downarrow = \vec{V} \qquad b \downarrow = \vec{V}$$

$$\sum \vec{F} = \frac{dm\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho \vec{V} dW + \iint_{CS} \rho \vec{V}.(\vec{V}.\vec{n}) d\omega \qquad (2.14)$$

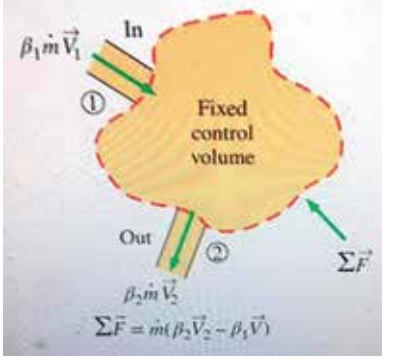
Tiến hành lấy tích phân số hạng thứ 2 bên vế phải trên hai phần có dòng chảy vào (in) và và dòng chảy ra (out) của mặt kiểm soát CS, ta đưa (2.14) về dạng (xem hình 2.3):

$$\sum \vec{F} = \frac{d}{dt}\iiint_{CV} \rho \vec{V} dW + \sum_{out} \beta \dot{m} \vec{V} - \sum_{in} \beta \dot{m} \vec{V}, \qquad (2.15)$$

Trong đó, $\beta = \frac{1}{\omega_c}\left(\frac{V}{V_{TB}}\right)^2$ là hệ số hiệu chỉnh sự thay đổi động lượng so với giá trị trung bình.

Nếu chỉ có một dòng chất lỏng chảy vào và chảy ra khỏi thể tích kiểm soát CV, và dòng chảy là dòng dừng, phương trình bảo toàn động lượng đưa về dạng đơn giản, hay sử dụng:

$$\sum \vec{F} = \dot{m}(\beta_2 \vec{V}_2 - \beta_1 \vec{V}_1) \qquad (2.16)$$



Hình 2.3. **Mô hình minh họa phương trình bảo toàn động lượng**

Xét trường hợp không có ngoại lực (như khối lượng, áp suất, và phản lực) tác dụng lên vật trong chiều chuyển động – ví dụ tình huống phổ biến áp dụng cho tàu vũ trụ hoặc vệ tinh. Lúc này, đối với một thể tích kiểm soát với nhiều lối chảy vào và chảy ra, phương trình (2.15) được rút gọn thành dạng:

$$0 = \frac{dm_{CV}}{dt} + \sum_{out} \beta \dot{m} \vec{V} - \sum_{in} \beta \dot{m} \vec{V} \quad (2.17)$$

Phương trình (2.17) đặc trưng cho định luật bảo toàn động lượng, được phát biểu bằng lời như sau: *"Trong trường hợp không có ngoại lực, tốc độ biến thiên động lượng của một thể tích kiểm soát bằng hiệu giữa các tốc độ biến thiên dòng chất lỏng chảy vào và chảy ra"*.

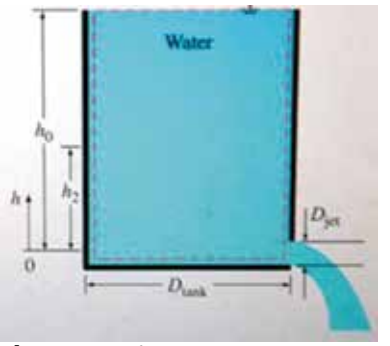
Nếu chọn thể tích kiểm soát làm một vật rắn (hệ vật cố định), chuyển động trong không gian, và coi khối lượng vật rắn hầu như không đổi thì số hạng thứ nhất của phương trình (2.17) sẽ là lực đẩy của dòng khí:

$$F_{th} = m_{body}.a_{body} = m_{body} \frac{d(V)_{body}}{dt} = \sum_{in} \beta \dot{m} \vec{V} - \sum_{out} \beta \dot{m} \vec{V} \quad (2.18)$$

3. Các bài toán minh họa

3.1. Ứng dụng phương trình liên tục giải bài toán tháo nước từ bình chứa

Tính thời gian tháo nước từ bình chứa từ độ cao h_0 = 1,2 m xuống độ cao h_2 = 0,6 m. Biết đường kính thùng chứa là D_{tank} = 0,9 m , đường kính lỗ thoát là D_{jet} = 0,15 m (xem hình 3.1). Giả thiết quy luật tháo nước tuân theo công thức $V = \sqrt{2gh}$, h là chiều cao của nước thay đổi, đo từ tâm lỗ thoát, g là gia tốc trọng trường.



Hình 3.1. **Mô hình minh họa tháo nước từ bình chứa**

GIẢI

Giả thiết: **1**. Nước không bị nén. **2**. Khoảng cách từ đáy bình đến tâm lỗ bỏ qua. **3**. Gia tốc trọng trường g = 9,81 m/s^2.

Phân tích: Theo định luật bảo toàn khối lượng:

$$\frac{d\dot{m}_{CV}}{dt} = \dot{m}_{in} - \dot{m}_{out}, \quad (3.1)$$

Trong đó, $\dot{m}_{in} = 0$ (không có nước chảy vào), $\dot{m}_{out} = (\rho V \omega)_{out} = \rho\sqrt{2gh}.\omega$

$$m_{CV} = \rho W = \rho.\Omega.h, \ \Omega = \frac{\pi D_{tank}^2}{4}, \quad \omega = \frac{\pi D_{jet}^2}{4}$$

Thay các biểu thức liên quan vào (3.1) ta nhận được:

$$\frac{d(\rho\Omega h)}{dt} = -\rho\omega\sqrt{2gh} \Rightarrow \frac{\rho\pi D_{\text{tank}}^2}{4}\frac{dh}{dt} = -\frac{\rho\pi D_{jet}^2}{4}\sqrt{2gh} \quad (3.2)$$

Từ đó suy ra:

$$dt = -\frac{D_{\text{tank}}^2}{D_{jet}^2}\frac{dh}{\sqrt{2gh}} \quad (3.3)$$

Lấy tích phân từ t = 0, h = h_0 đến t = T, h = h_2, ta được:

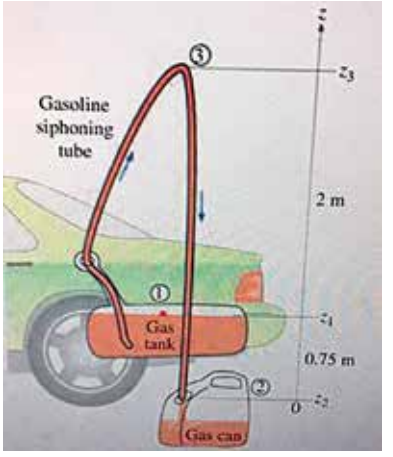
$$\int_0^T dt = -\frac{D_{\text{tank}}^2}{D_{jet}^2\sqrt{2g}}\int_{h_0}^{h_2}\frac{dh}{\sqrt{h}} \Rightarrow T = \frac{D_{\text{tank}}^2}{D_{jet}^2}\frac{\sqrt{h_0}-\sqrt{h_2}}{\sqrt{g/2}} \quad (3.4)$$

Thay số ta được: $T = \frac{0,9^2}{0,15^2}\frac{\sqrt{1,2}-\sqrt{0,6}}{\sqrt{9,81/2}} = 757$ s = 12,6 ph

Bàn luận: Nếu tháo từ độ cao ban đầu h_0 đến độ cao h_2 = 0 thì tính được thời gian tháo là 43,1 phút. Như vậy, thời gian tháo nước nửa bình dưới lâu hơn nửa bình trên. Điều đó được lý giải là do tốc độ tháo nước giảm dần khi giảm độ cao mực nước.

3.2. Ứng dụng phương trình Becnuli hút xăng trong bình dự trữ của ô tô

Trong một chuyến đi du lịch đến biển (p_{atm} = 1 atm = 101,3 kPa), một ô tô con bị hết xăng và cần phải hút xăng từ bình dự trữ trên xe vào can xăng ngoài (xem hình 3.2). Ống hút được bố trí như trên hình vẽ có đường kính 5 mm. Bỏ qua ma sát trong ống hút. Xác định (a) thời gian tối thiểu hút thể tích W = 4 lít xăng ra ngoài từ bình chứa vào can xăng, (b) áp suất của xăng ở điểm 3. Khối lượng riêng của xăng là 750 kg/m^3.



Hình 3.2. **Mô hình minh họa hút xăng từ bình dự trữ**

GIẢI

Giả thiết: **1.** Dòng xăng là dòng dừng và không nén, **2**. Bỏ qua sự thay đổi tiết diện xăng trong bình trong quá trình hút. **3**. Khối lượng riêng của xăng ρ = 750 kg/m^3.

Phân tích: (a) Áp dụng định luật Becnuli từ điểm 1 đến điểm 2, lấy điểm 2 làm chuẩn ($z_2 = 0$, $v_1 = 0$, $p_1 = p_2 = p_{atm}$):

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2} + z_2 \qquad (3.5)$$

Từ đó suy ra: $z_1 = \frac{V_2^2}{2g} \Rightarrow V_2 = \sqrt{2gz_1} = \sqrt{2.9,81.0,75} = 3,84$ m/s

Lưu lượng xăng qua ống hút:

$$Q = V_2.\frac{\pi d^2}{4} = 3,84.\frac{\pi.0,005^2}{4} = 7,53\times10^{-5}\,\text{m}^3/\text{s} = 0,0753\ \text{l/s}$$

Thời gian hút 4 lít xăng: $t = \frac{W}{Q} = \frac{4}{0,0753} = 53,1$ s

(b) Tính p_3 bằng cách sử dụng phương trình Bécnuli từ điểm 2 đến điểm 3 ($z_2 = 0$, $p_2 = p_{atm}$, $V_2 = V_3$):

$$\frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3, \qquad (3.6)$$

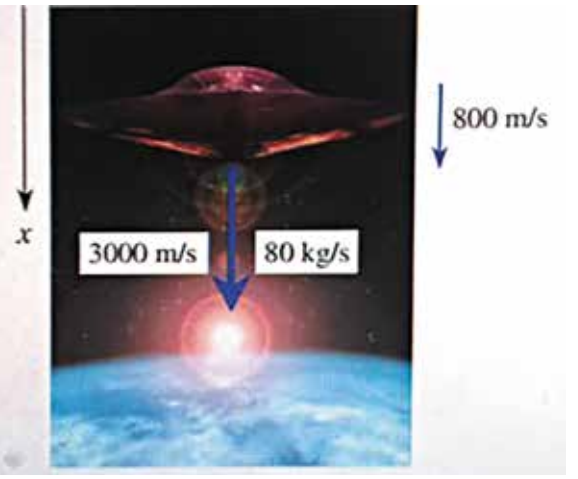
Suy ra

$$\frac{p_{atm}}{\gamma} = \frac{p_3}{\gamma} + z_3 \Rightarrow p_3 = p_{atm} - \gamma z_3 = 101,3\times10^3 - 750.9,81.2,75 = 81,1\times10^3\ \text{Pa} = 81,1\ \text{kPa}$$

Bàn luận: Thời gian hút xăng thực tế sẽ nhiều hơn do trong ống hút có ma sát. Áp suất ở điểm 3 nhỏ hơn áp suất khí quyển nên là áp suất chân không. Nếu độ chênh vị trí giữa điểm 1 và 3 quá lớn, áp suất ở 3 sẽ rơi xuống áp suất bão hòa, dẫn đến xăng bị hóa hơi từng phần tạo thành túi.

3.3. Áp dụng định luật biến thiên động lượng giải bài toán bay xuống tiếp cận một hành tinh của tàu vũ trụ

Tàu vũ trụ có khối lượng $m_t = 12.000$ kg, tiếp cận một hành tinh ngoài trái đất với vận tốc 800 m/s (xem hình 3.3). Để giảm tốc độ tiếp cận, động cơ tên lửa của tàu khởi động với luồng phụt $\dot{m}_{gas} = 80$ kg/s ở vận tốc $V_{gas} = 3000$ m/s trong thời gian 5 s theo chiều giảm độ cao của tàu. Bỏ qua sự thay đổi khối lượng của tàu, tính (a) gia tốc của tàu trong 5 s, (b) sự thay đổi vận tốc của tàu, và (c) lực đẩy cần thiết tác dụng lên tàu.



Hình 3.3. **Mô hình minh họa giảm độ cao tàu vũ trụ**

GIẢI

Giả thiết: **1**. Dòng khí cháy là ổn định và một chiều. **2**. Chuyển động của tàu vũ trụ là không dừng. **3**. Khối lượng nhiên liệu nhỏ hơn nhiều so với khối lượng của tàu. **4**. Loa phụt được thiết kế sao cho hệ số hiệu chỉnh $\beta \approx 1$.

Phân tích: (a) Sử dụng phương trình bảo toàn động lượng (2.17):

$$\vec{F}_{th} = m_t\vec{a} = m_t\frac{d\vec{V}_t}{dt} = \dot{m}\vec{V}_{in} - \dot{m}\vec{V}_{out},\ V_{in} = 0,\ V_{out} = V_{\text{gas}},\ \dot{m} = \dot{m}_{\text{gas}},\ m_t = m_{body} \quad (3.7)$$

Từ đó lực đẩy của dòng khí:

$$F_{th} = m_t.a_t = 0 - m_{\text{gas}}.V_{\text{gas}} \Rightarrow a_t = -\frac{\dot{m}_{\text{gas}}}{m_t}.V_{\text{gas}} = -\frac{80}{12.000}.(+3000) = -20\ \text{m/s}^2$$

(b) Thay đổi vận tốc:

$dV_t = a_t.dt \Rightarrow \Delta V_t = a_t.\Delta t = (-20).5 = -100$ m/s

(c) Lực đẩy cần thiết tác dụng lên tàu:

$$F_{th} = 0 - m_{\text{gas}}.V_{\text{gas}} = 0 - 80.3000 = -240000N = -240kN$$

Dấu "-" của lực F_{th} chỉ ra rằng lực đẩy tác dụng lên tàu theo hướng ngược với chiều giảm độ cao x của tàu khi tiếp cận hành tinh.

Bàn luận: Nếu tàu được cố định trên giá thử ở mặt đất thì nó phải có trọng lực 240 kN (khoảng 240 tấn) để giữ tư thế cần thiết khi luồng khí cháy phụt ra.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu phân tích và xác định các định luật thủy khí kỹ thuật cơ bản và các bài toán minh họa, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Các phương trình đặc trưng cho định luật thủy khí tương ứng được biến đổi từ một phương trình duy nhất là phương trình vận chuyển Reynolds;

- Các phương trình đặc trưng đều có cùng một dạng (một hình thức), được mô tả bằng cùng một mô hình, chỉ khác nhau ở các đại lượng thủy khí tương ứng khi chuyển đổi từ phương trình vận chuyển Reynolds;

- Với cách tiếp cận theo hướng đối tượng đã trình bày ở bài báo này, việc dạy và học các định luật thủy khí cơ bản được trực quan và tường minh hơn các phương pháp chứng minh cổ điển truyền thống;

- Cách tiếp cận trên có thể áp dụng linh hoạt, khá dễ trong dạy và học môn Thủy khí kỹ thuật ngành Cơ khí động lực và kỹ thuật ô tô, làm cơ sở để giải các bài toán thủy khí trong thực tiễn./.

Tài liệu tham khảo

[1] Nguyễn Tài (1995). *Thủy lực – Tập I*. Nxb Xây dựng. Hà Nội.

[2] Vũ Duy Quang (2006). *Thủy khí động lực ứng dụng*. Nxb Xây dựng. Hà Nội.

[3] Hoàng Đức Liên (2007). *Giáo trình kỹ thuật thủy khí*. Nxb Nông nghiệp. Hà Nội.

[4] Osborne Reynolds (1903). *The Sub-Mechanics of the Universe*. University Press, Cambridge, London.

[5] Ynus A. Cengel and John M. Cimbala (2017). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, Fourth Edition*. McGraw – Hill Education. New York.

[6] Bastian E. Rapp (2017). *Navier – Stockes Equations in Different Coordinate Systems*. Elsevier Inc.