

MÔ HÌNH VẬT LÝ

- Mục nước và dòng chảy -

Khoa Kỹ Thuật Biển

Trường Đại học Thủy Lợi





1. Định nghĩa và các khái niệm

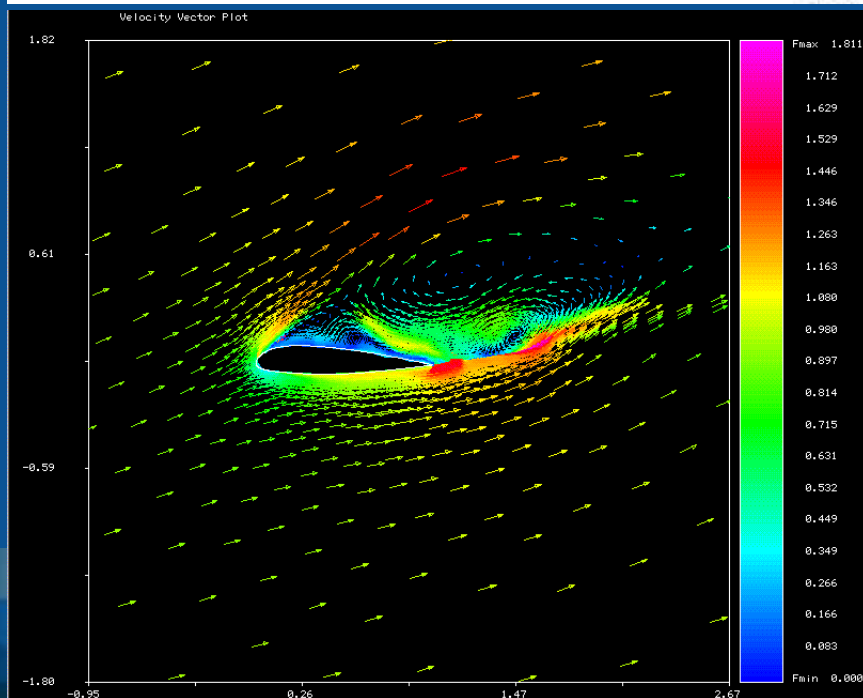
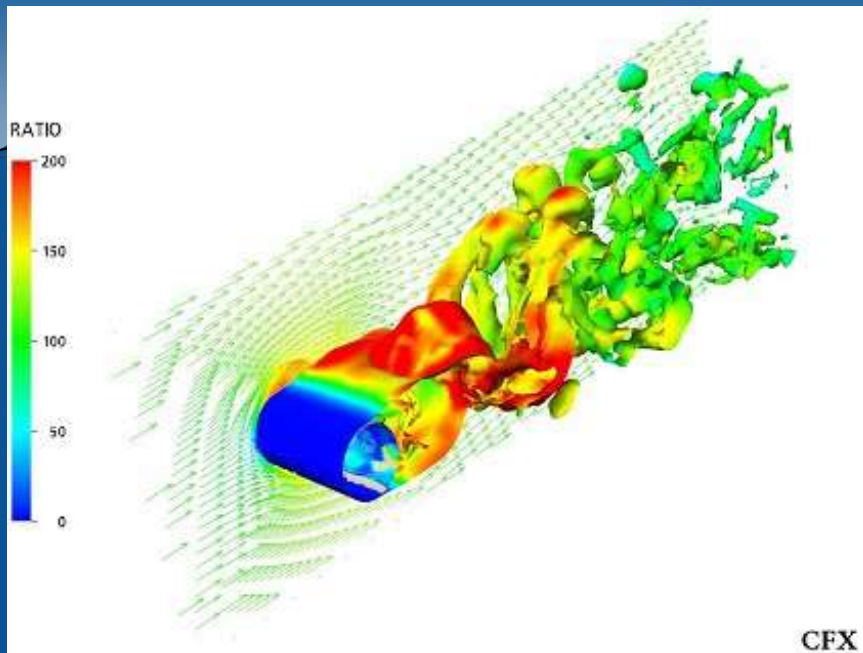
Mô hình vật lý (tỷ lệ)



Khoa Kỹ Thuật Biển

Trường Đại học Thủy Lợi





➤ Các mô hình vật lý

- Các mô hình dòng chảy rối (như LES, DES, SST),
- mô hình bức xạ, mô hình khí thực, mô hình cháy nổ và phản ứng hoá học (NO_x, soot...),
- mô hình dòng chảy 2 pha,
- mô hình dòng hở,
- mô hình khí tự nhiên,
- hay các mô hình khác do người dùng định nghĩa.



Mô hình vật lý ~ Phòng thí nghiệm

- 1 mô hình vật lý là một hệ vật lý được mô phỏng lại (thông thường với kích cỡ được thu nhỏ) sao cho các lực chủ yếu tác dụng lên hệ được mô phỏng ở mô hình bằng một tỷ lệ chính xác với trong hệ vật lý thực tế.
- NX:
 - khó có một định nghĩa tổng quát
 - định nghĩa trên khá toàn diện, bao hàm hầu hết các công việc thí nghiệm



Sự cần thiết

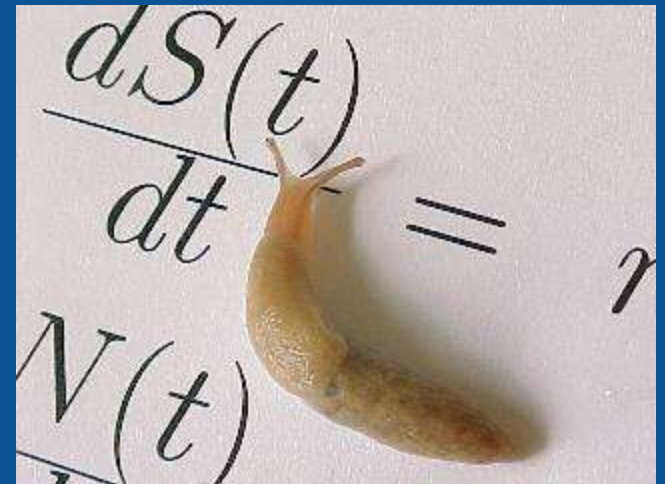
Vì sao cần mô hình vật lý?

➤ Sự hạn chế về quy mô và phạm vi bài toán của các nghiên cứu dùng phương pháp giải tích

➤ Các lời giải giải tích thường kèm những khó khăn lớn về toán học.

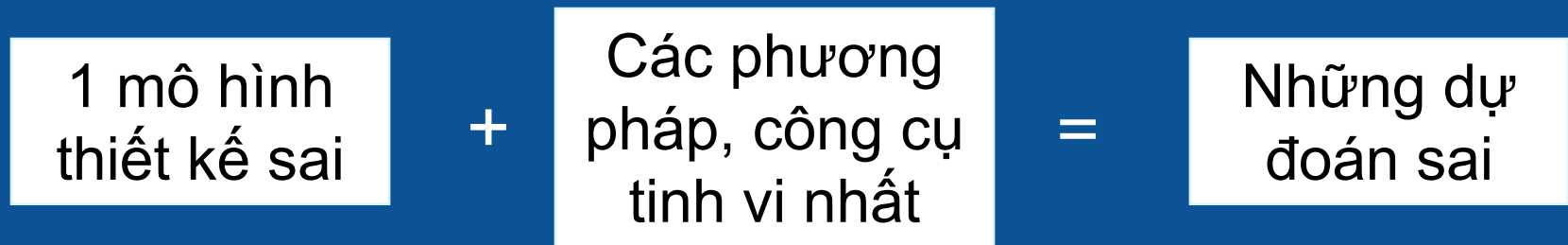
Với hiện tượng phức tạp

⇒ không thể thực hiện



Mô hình hóa chuẩn xác

- Mô hình vật lý là một công cụ chuẩn xác để dự đoán những hiện tượng vật lý. Đặt bài toán, thiết kế, định tỷ lệ...



mô hình định sai tỷ lệ ~ chiếc thước kẻ chia sai độ

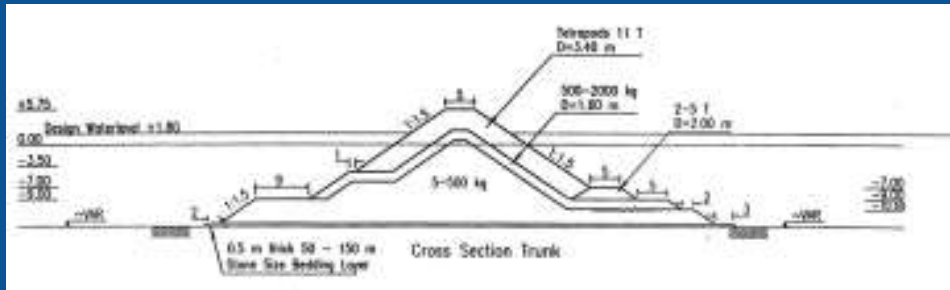
- Hình dung rõ ràng Bức tranh bản chất của hiện tượng
- Tìm cách phân tích định tính tổng quát...





thực tế

mô hình



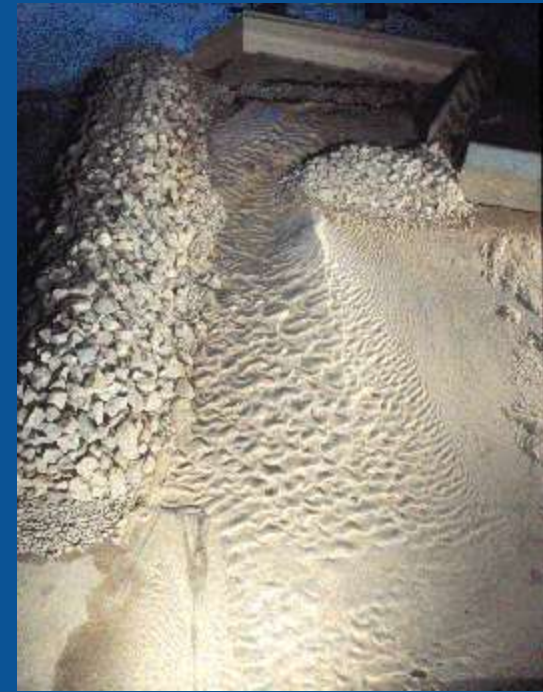
Các chức năng chính

- Tìm hiểu sâu về tính chất một hiện tượng chưa hiểu rõ tiên đoán các biểu hiện, biến đổi của nguyên mẫu thông qua mô phỏng các đặc trưng & các lực thực tế tác dụng lên nguyên mẫu trong khả năng tối đa có thể
- Thu thập các đo đạc để khẳng định/phủ định một kết quả lý thuyết
 - kiểm chứng và phát triển các mô hình toán
- Thu thập các đo đạc để nghiên cứu các hiện tượng quá phức tạp đối với các cách tiếp cận lý thuyết



Ví dụ

- sóng vỡ (các chuyển động rối);
- công trình biển (hồ xói)
- sóng phi tuyến và dòng đều;
- tương tác của các sóng phi tuyến
- sự ổn định của đập phá sóng bằng đá đổ
- bùn cát lơ lửng trên khu vực đáy gợn sóng



2. Những ưu điểm & nhược điểm

Khoa Kỹ Thuật Biển

Trường Đại học Thủy Lợi



* Ưu điểm:

- Tổng hợp toàn bộ các phương trình đặc trưng của một quá trình mà không cần các giả thiết đơn giản hóa của MH toán
- Kích thước nhỏ => đo đạc dễ dàng, chi phí thấp, có khả năng tiến hành đo đạc nhiều điểm đồng thời
- Dễ dàng kiểm tra các điều kiện hiếm, cực đoan
- Quan sát các hiện tượng tận mắt => ấn tượng định tính, tập trung hướng nghiên cứu



* Nhược điểm (!)

➤ Các hiệu ứng tỷ lệ (scale effects)

- do không mô phỏng hết được các tham số bằng các mối quan hệ chính xác
- *Các hiệu ứng tỷ lệ với chúng ta ~ các giả thiết đối với các phân tích lý thuyết*
- VD: lực nhớt ($v_m > v_n$)

➤ Các hiệu ứng phòng thí nghiệm (lab. effects)

- do không thể mô phỏng các biên & điều kiện biên như thật
- ảnh hưởng tới quá trình, các giả thiết gần đúng
- VD: sóng (phản xạ, đa hướng)



- Cần đánh giá và biểu diễn vai trò của các hàm ngoại lực và điều kiện biên trong tự nhiên khi đánh giá kết quả mô hình
 - VD: ứng suất tiếp của gió \Rightarrow dòng tuần hoàn ven bờ
- MH vật lý hầu hết đều tồn kém hơn mô hình toán, trừ một số ít trường hợp
 - Trong độ chính xác cho phép \Rightarrow Kỹ thuật chọn MH toán



Đánh giá chung

- Có khả năng mô hình hóa khá chính xác các quá trình trong vùng ven bờ với nhiều vấn đề khác nhau
 - Y/c với nhà nghiên cứu: nắm rõ các hiệu ứng tỷ lệ và hiệu ứng PTN
 - tận dụng các mô hình để hiểu hơn về các vấn đề chưa thể giải quyết (thỏa đáng) bằng toán học
 - có khả năng thay đổi nhiều thông số đầu vào để phân tích độ nhạy => hiểu rõ hơn kết quả thu được



Tương lai của MHVL

- Hiểu rõ hơn về các hiệu ứng tỷ lệ
- Cải tiến các tiêu chí đồng dạng
- Các phương tiện, dụng cụ tốt hơn
- Các mô hình hoạt động tự động
- Hướng nghiên cứu đột phá



Khoa Kỹ Thuật Biển

Trường Đại học Thủy Lợi



3. Cơ sở lý luận MHVL (nhắc lại)

➤ Cơ sở lý luận về mô hình các hiện tượng thủy lực

(Chương 19, Giáo trình Thủy lực tập II, trường ĐHTL)



Tương tự cơ học

➤ Các hiện tượng sẽ tương tự cơ học nếu có:

- Tương tự hình học:

$$\lambda_l = \frac{l_n}{l_m} = \text{const}$$

- Tương tự động học:

$$\lambda_t = \frac{t_n}{t_m} = \text{const}$$

- Tương tự động lực học: $\lambda_u = \text{const}, \lambda_a = \text{const}, \lambda_p = \text{const}$

Tương tự về thủy động lực học!



Định luật Newton

- Tỷ lệ thể tích = $\lambda_V = \lambda_l^3$

- Tỷ lệ khối lượng = $\lambda_M = \lambda_\rho \cdot \lambda_l^3$

- Tỷ lệ về lực tác dụng = $\lambda_F = \lambda_\rho \cdot \frac{\lambda_l^4}{\lambda_t^2} = \lambda_\rho \cdot \lambda_l^2 \cdot \lambda_u^2$

$$\frac{\lambda_F}{\lambda_\rho \cdot \lambda_l^2 \cdot \lambda_u^2} = 1$$

$$Ne = \frac{F}{\rho \cdot l^2 \cdot u^2} = \frac{F \cdot l}{M \cdot u^2}$$

$$Ne_n = Ne_m$$



Các tiêu chuẩn tương tự

➤ Tiêu chuẩn **Froude**

khi ảnh hưởng của trọng lực là chủ yếu

➤ Tiêu chuẩn **Reynolds**

cho dòng chảy tầng và chảy rối ở khu thành trơn thủy lực, khu sức cản bp, khu quá độ thành trơn – thành nhám

➤ Tiêu chuẩn Euler, Cosi, Webe...



Tiêu chuẩn Froude

- Số Froude biểu thị quan hệ giữa lực quán tính và trọng lực

$$Fr = \frac{u^2}{g \cdot l}$$

- Khi cả **trọng lực** và **lực quán tính** đều đóng vai trò quan trọng, số Froude trở thành một thông số tương tự quan trọng và không thể thiếu.

- **Tiêu chuẩn Froude:**

$$\frac{u_n^2}{g_n l_n} = \frac{u_m^2}{g_m l_m}$$



Tiêu chuẩn Froude

Cần lưu ý rằng khi đưa ra các tiên đoán về một tham số hay một hiện tượng trong tự nhiên, phải xác định đúng tỷ lệ thời gian, vận tốc, lưu lượng...

$$\lambda_t = \frac{t_n}{t_m} = \lambda_l^{1/2}$$

$$\lambda_u = \frac{u_n}{u_m} = \sqrt{\frac{l_n}{l_m}} = \lambda_l^{1/2}$$

$$\lambda_Q = \frac{Q_n}{Q_m} = \lambda_l^{2.5}$$



Tiêu chuẩn Reynolds

- Số Reynolds biểu thị quan hệ giữa **lực quán tính** và **lực cản**

$$\text{Re} = \frac{u \cdot l}{\nu}$$

- Khi **lực cản** là chủ yếu, trọng lực và các lực khác là thứ yếu.
 - **VD: dòng chảy trong sông, kênh, trong ống...**

- **Tiêu chuẩn Reynolds:**

$$\frac{u_n \cdot l_n}{\nu_n} = \frac{u_m \cdot l_m}{\nu_m}$$



Tiêu chuẩn Reynolds

- Lực cản bao gồm lực cản nhớt và lực cản trong chế độ chảy rối

$$T = \gamma \cdot R \cdot J \cdot \chi \cdot l$$

Newton:

$$\frac{\lambda_F}{\lambda_\rho \cdot \lambda_l^2 \cdot \lambda_u^2} = 1$$



$$\lambda_J = \frac{\lambda_u^2}{\lambda_l \cdot \lambda_g}$$

- Theo CT Đácxi tính tổn thất dọc đường cho dc rối và chảy tầng:

$$J = \frac{\lambda \cdot u^2}{8gR} \Rightarrow \lambda_J = \frac{\lambda_\lambda \lambda_u^2}{\lambda_g \lambda_R}$$



$$\lambda_\lambda = 1; \lambda_g = 1; \lambda_C = 1$$



Tiêu chuẩn Reynolds

Hệ số ma sát (λ):

- Chảy tầng & chảy rối ở khu thành trơn TL
- Chảy rối ở khu SCBP
- Chảy rối trong khu quá độ từ thành trơn sang thành nhám TL

$$\lambda = \frac{8 \cdot g}{C^2}$$

$$\lambda = f\left(\frac{\Delta}{R}\right)$$

$$\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\Delta}{R}\right)$$



Tiêu chuẩn Reynolds

- Để có tương tự đồng thời Froude và Reynolds

$$\lambda_t = \frac{t_n}{t_m} = \lambda_l^{1/2} \quad \rightarrow \quad \lambda_v = \frac{v_n}{v_m} = \lambda_l^{3/2}$$

Các tỷ lệ khác dẫn xuất từ đó: thời gian, vận tốc, lưu lượng...

- *Tuy nhiên việc này **rất khó thực hiện** được!*

Vì vậy khi thiết kế mô hình chỉ xuất phát từ ảnh hưởng của lực giữ vai trò quyết định, và bỏ qua ảnh hưởng của lực khác



Tiêu chuẩn Reynolds

$$\frac{\lambda_u \lambda_l}{\lambda_v} = 1$$

➤ Khi có $\lambda_v = 1$ và tương tự Reynolds

$$\rightarrow \lambda_u = \lambda_l^{-1}; \lambda_t = \lambda_l^2; \lambda_Q = \lambda_l$$

➤ Các tỷ lệ khác dẫn xuất từ đó...



Thỏa mãn đồng thời?

➤ Tỷ lệ chiều dài của mô hình thường nhỏ ($1:10 \div 1:50$),

⇒ Hầu như không thể mô phỏng theo đúng tỷ lệ hệ số nhớt động (vì chất lỏng trong cả tự nhiên và thí nghiệm hầu hết là nước, mận hoặc ngọt)

⇒ Đồng thời, cũng không thể thỏa mãn yêu cầu về tương tự sức căng mặt ngoài cùng lúc với yêu cầu tương tự Froude



Mô hình biến dạng

➤ mô hình bị biến dạng!

(đối với mô hình dòng chảy qua đập tràn, cũng như các mô hình khác liên quan tới dòng chảy có mặt thoáng hở...).

➤ Tuy nhiên, với các công trình thủy lợi lớn (hay các dòng chảy và chướng ngại vật), trị số Reynolds thường lớn ($>10^4$)

⇒ ảnh hưởng của hệ số nhớt $<$ ảnh hưởng của trọng lực và lực quán tính.

⇒ Các ảnh hưởng của lực nhớt và sức căng bề mặt thường nhỏ và *có thể bỏ qua* trong các dòng chảy như vậy.



Khoa Kỹ Thuật Biển

Trường Đại học Thủy Lợi



4. Các dạng mô hình vật lý trong ngành kỹ thuật biển



4.1. Phân loại (1):

MHVL dùng nghiên cứu các quá trình ven bờ và đới bờ có thể chia làm hai loại (phân loại theo các đặc trưng vật lý)

- Mô hình đáy cố định
- Mô hình đáy động



4.1.1. Mô hình đáy cố định (cứng)

- Có biên cứng, không bị biến đổi bởi các quá trình động lực tác động vào mô hình (điều ngược lại ?)
- Ứng dụng
 - nghiên cứu sóng, dòng, các hiện tượng thủy động lực tương tự dưới những hoàn cảnh nhất định
 - nghiên cứu tương tác giữa các lực thủy động và các vật thể rắn (cọc, đập phá sóng, bể cảng...)
- Lưu ý: các hiệu ứng tỷ lệ đã được hiểu khá rõ => tin tưởng kết quả các thí nghiệm được tiến hành cẩn thận



Ví dụ: 2D

- Bề sóng: thí nghiệm quá trình lan truyền, biến đổi của sóng
- Máng sóng: nghiên cứu sự hình thành sóng gió, sự ổn định của đê phá sóng, sự tương tác sóng & dòng, các đo đạc các lực thủy động tác dụng lên công trình, nghiên cứu động năng của chất lỏng



Ví dụ: 3D

- Các mô hình đáy cố định 3 chiều đều phức tạp hơn, ứng dụng nghiên cứu
 - Sóng lan truyền vào trong cảng
 - Sóng cồn trong cảng liên quan tới sóng ngắn
 - Sự biến dạng của sóng ngẫu nhiên có hướng, bao gồm cả sự lan tỏa ra xung quanh
 - Tương tác giữa sóng tới xiên góc và dòng
 - Sự ổn định của các công trình biển phức tạp
 - Các vấn đề khác còn đang thách thức...



4.1.2. Mô hình đáy động

- Có đáy cấu tạo bằng vật liệu có phản ứng với các lực thủy động được sử dụng, tốt nhất theo cùng cách thức với phản ứng của nguyên mẫu
- Ứng dụng:
 - nhiều mô hình đã thành công trong việc mô phỏng sự tiến hóa của đáy
- Lưu ý: các hiệu ứng tỷ lệ của mô hình đáy động chưa được hiểu rõ như của mô hình đáy cố định => kết quả cần thận trọng hơn



Ví dụ: 2D

➤ Nghiên cứu

- sự tiến hóa của hình dạng đường bờ,
- xói đụn cát,
- sự phát triển của các gợn sóng cát,
- hố xói tại chân công trình biển,
- diễn biến bờ biển do bão,
- bãi biển sỏi cuội dưới tác động của sóng,
- sự chuyển dịch dạng đáy (biển) dưới tác động của dòng không định hướng



Ví dụ: 3D

- Các mô hình đáy động 3 chiều hiếm hơn nhiều, một lý do là chi phí cao
 - xói đảo cát có hoạt động khoan dầu
 - vận chuyển bùn cát dọc bờ do sóng tới xiên góc
 - sự hình thành các doi cát
 - sự hình thành các gợn cát
 - hố xói tại lân cận công trình



Kết hợp hai loại mô hình

- Vật liệu là các hạt bùn cát chỉ thị được dùng trong mô hình đáy cứng như một chất chỉ thị **định tính** của các khu vực xói và bồi.



Mô hình riêng biệt & tổng quát

- Cả mô hình đáy cứng và động có thể là mô hình với mục tiêu riêng biệt hoặc tổng quát
- **Mô hình riêng biệt** thuộc về một nguyên mẫu cụ thể
 - thường khó thực hiện chính xác
 - áp dụng cho chỉ một nguyên mẫu đang xét
 - thuộc về loại *mô hình thiết kế*



➤ **Mô hình tổng quát** đã được đơn giản hóa, lý tưởng hóa; số liệu thí nghiệm thu thập với nhiều điều kiện lực thủy động khác nhau



- những số liệu này dùng để phát triển/kiểm chứng lý thuyết hoặc các quan hệ kinh nghiệm, công thức của các mô hình toán
- thuộc về loại mô hình kiểm định, mô hình quá trình, hoặc MH thiết kế



4.2. Phân loại (2):

Cả mô hình vật lý đáy cứng & động có thể chia làm hai loại (phân loại theo thời đoạn thí nghiệm)

- Mô hình ngắn hạn: nghiên cứu phản ứng của hệ vật lý với các thời đoạn ngắn (giờ, ngày), các sự kiện có cường độ cao (bão)
- Mô hình dài hạn: xác định các thay đổi của hệ thống xảy ra trên một thời đoạn dài (ngày, năm).
- Mô hình ngắn hạn dễ thực hiện hơn



Mô hình thủy động lực - đáy cứng

- Các quá trình thủy động lực vùng ven biển: sóng & dòng
- Phân loại chuyển động của sóng
 - Sóng ngắn, $T = 1\text{s} \div 20\text{s}$
 - Sóng dài, T tính bằng phút, ngày
- phù hợp với việc mô hình hóa (vật lý, toán): trong mỗi trường hợp, một vài đại lượng trong các phương trình chính chiếm ưu thế hơn các đại lượng còn lại



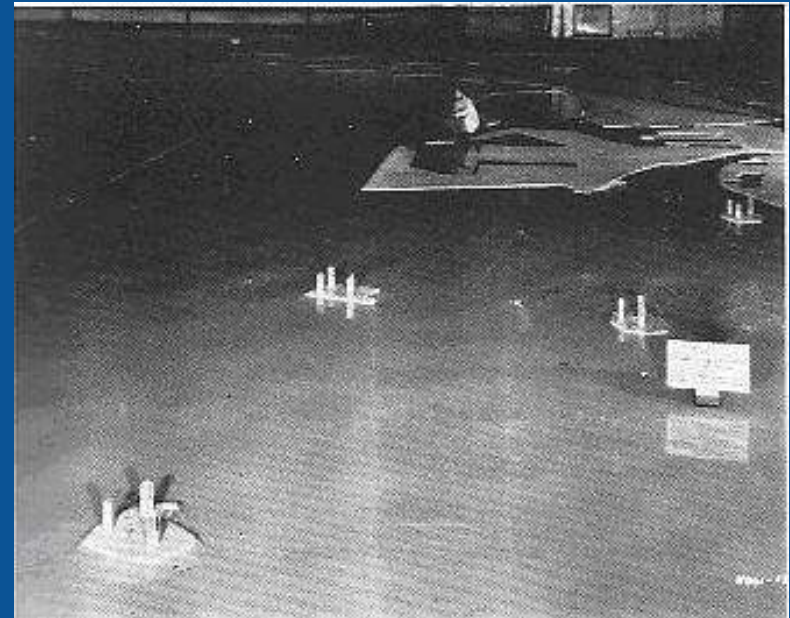
4.3. Sóng ngắn & Sóng dài

- Sóng ngắn thâm nhập vào cảng và tạo ra một “đỉnh” làm cho các tàu thuyền nhỏ gặp khó khăn và nguy hiểm khi chuyển động và thả neo.
- Dạng thể hiện cơ bản của năng lượng sóng dài trong cảng là các dao động mực nước có thể gây khó khăn cho các tàu thuyền lớn neo đậu
- Một số dự án kỹ thuật bờ biển, chẳng hạn như thiết kế cảng, cần đánh giá tác động của cả sóng ngắn và sóng dài
- Nhìn chung không thể nghiên cứu cùng lúc hai loại sóng trên cùng một mô hình vật lý, trừ phi công trình đó khá nhỏ.



Mô hình thủy động sóng dài

- Các mô hình **Sóng dài** được sử dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của thủy triều, sóng thần, và các sóng chu kỳ dài khác đối với cảng, bến tàu, cửa sông, cửa lạch triều...
- Chủ yếu được sử dụng trong nghiên cứu sông và cửa sông, hay các tổ hợp cảng rất lớn
=> được tiến hành trong các bể sóng lớn



“Sóng dài”

➤ Sóng dài:

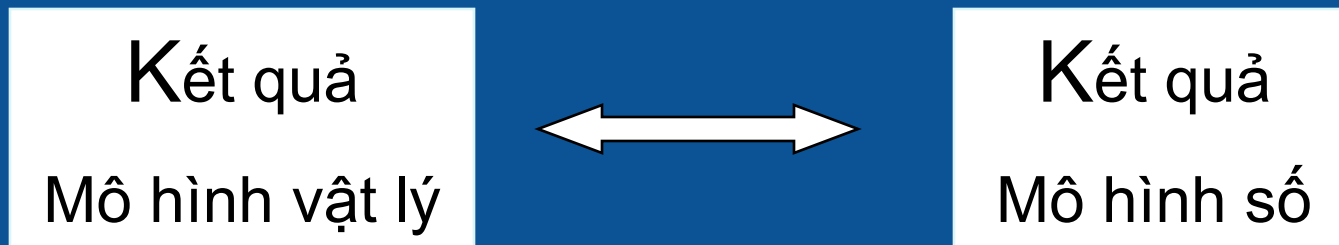
- Các biến đổi mực nước triều có chu kỳ dài, xảy ra ở các cửa lạch triều hay cửa sông
 - Các chuyển động có chu kỳ dài như các sóng mà tạo ra các chế độ dao động tần số thấp trong cảng
 - Các sóng dài như sóng nước dâng do bão và sóng thần.
- Trước đây, các mô hình thủy động lực sóng dài khá phổ biến, nhưng hiện nay tình hình đã khác...
- ⇒ *Kỷ nguyên của các mô hình thủy triều lớn đang đến hồi kết.*



Xu thế...

➤ *Các mô hình kết hợp (Hybrid Models):*

Phối hợp kết quả tầm rộng của mô hình thủy động lực số với kết quả của mô hình vật lý nhỏ hơn chuyên nghiên cứu vấn đề cụ thể ở quy mô và phạm vi mà mô hình số không thể giải quyết thoả đáng được.



Khoa Kỹ Thuật Biển

Trường Đại học Thủy Lợi



PHÂN TÍCH THỨ NGUYÊN, MÔ HÌNH HÓA, TỶ LỆ VÀ TƯƠNG TỰ

Khoa Kỹ Thuật Biển

Trường Đại học Thủy Lợi



1. Giới thiệu chung:

- Một mục tiêu rõ ràng của tất cả các thí nghiệm là làm cho các kết quả TN có thể **áp dụng được** rộng rãi tối đa.
- Trong những điều kiện nhất định của PTN, các thí nghiệm trên mô hình vật lý cần đảm bảo:
 - Đưa ra kết quả dưới dạng các công thức kinh nghiệm,
 - **Tiên đoán các đặc tính và hiện tượng** của các hệ tương tự ngoài thực tế.
- Để làm được điều này, cần thiết lập **mối quan hệ** giữa mô hình trong PTN và hệ nguyên mẫu ngoài thực tế.



- Có thể tiếp cận thông qua các nhóm không thứ nguyên, thường được gọi là số hạng Pi (Π). Phương pháp này đã được chứng minh là rất hiệu quả.
- VD: Số Froude (Fr), đã chứng tỏ mình là một số hạng Pi phổ biến và hữu hiệu nhất trong hầu hết các vấn đề của thí nghiệm với dòng chảy trong kênh hở.



2. Phân tích thứ nguyên

- **Phân tích thứ nguyên** là một ngành khoa học được sử dụng để diễn giải các hiện tượng phức tạp bằng những mối quan hệ hữu ích hơn
- Mỗi vấn đề thí nghiệm có thể được định nghĩa và đơn giản hoá bằng cách ứng dụng **phân tích thứ nguyên** với một số bước nhất định
- Lý thuyết **Pi Buckingham**.



Lý thuyết Pi của Buckingham

- "Nếu một phương trình có k biến thuần nhất về đơn vị, nó có thể được đơn giản hoá bằng một quan hệ giữa $(k-r)$ số hạng không thứ nguyên độc lập, trong đó r là số đơn vị quy chiếu tối thiểu cần thiết để mô tả các biến"
- Khi xem xét một tập hợp k biến, mỗi quan hệ giữa các số hạng Pi thường có dạng:

$$\Pi_1 = \phi(\Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{k-r})$$



- Nghiên cứu trên mô hình vật lý tỷ lệ sẽ có khả năng tiên đoán các biểu hiện của nguyên mẫu với một số điều kiện cụ thể.
- Bất kỳ vấn đề nào có thể diễn giải bằng bộ các số hạng Pi trên. Do mô hình được quyết định bởi các thông số tương tự như của nguyên mẫu, ta có thể viết tương tự cho mô hình như sau:

$$\Pi_{1m} = \phi(\Pi_{2m}, \Pi_{3m}, \dots, \Pi_{(k-r)m})$$



3. Mô hình hóa

- Vấn đề nghiên cứu có liên quan tới **hơn hai số hạng Pi** \Rightarrow cần xây dựng một **mô hình** để tiên đoán các đặc trưng riêng biệt.
- Một **mô hình** (vật lý tỷ lệ), theo định nghĩa, là một mô phỏng của hệ vật lý trong thực tế, có thể sử dụng để tiên đoán các biểu hiện của hệ theo một số khía cạnh thích đáng.



Thông số không thứ nguyên

- Độ ngập:

$$S = \frac{MNHL}{MNTL}$$

(Loss)

- Số Froude:

$$Fr = \frac{u}{\sqrt{g.h}}$$

(Flow condition)

- Hệ số lưu lượng:

$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} B.H_0 \sqrt{\frac{2}{3} gH_0}}$$

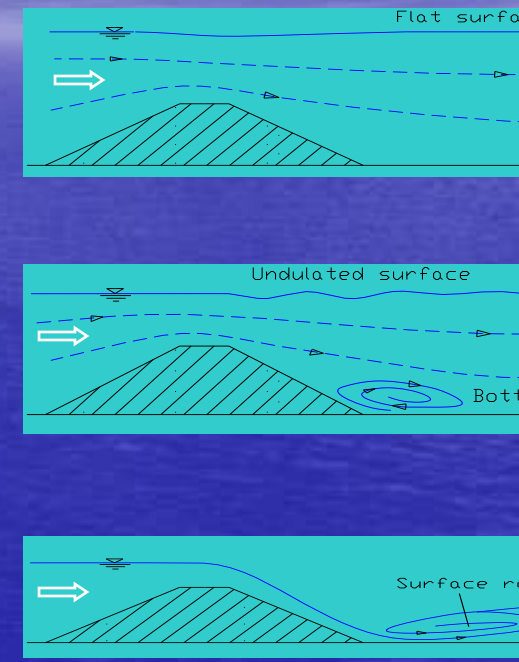
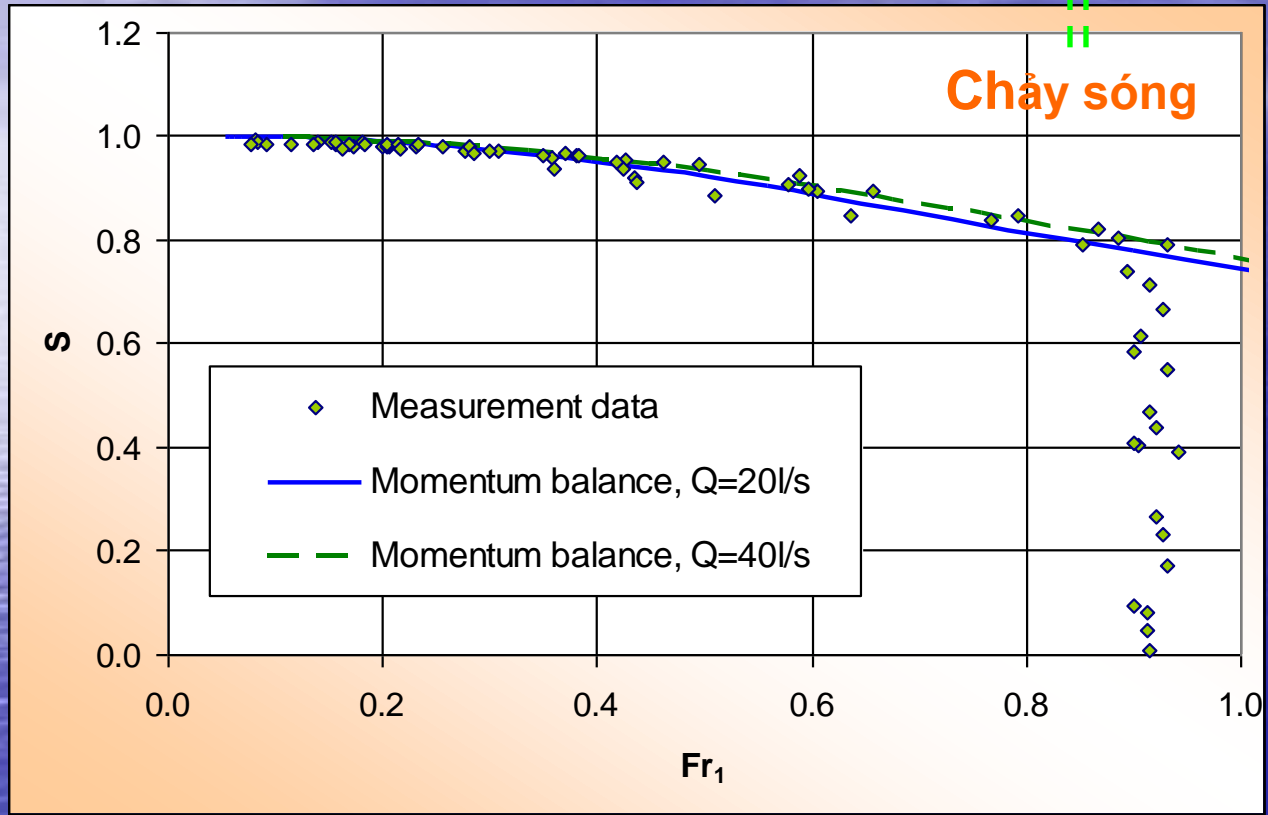
(Discharge capacity)



Tồn thất cột nước & tt năng lượng

Chảy ngập

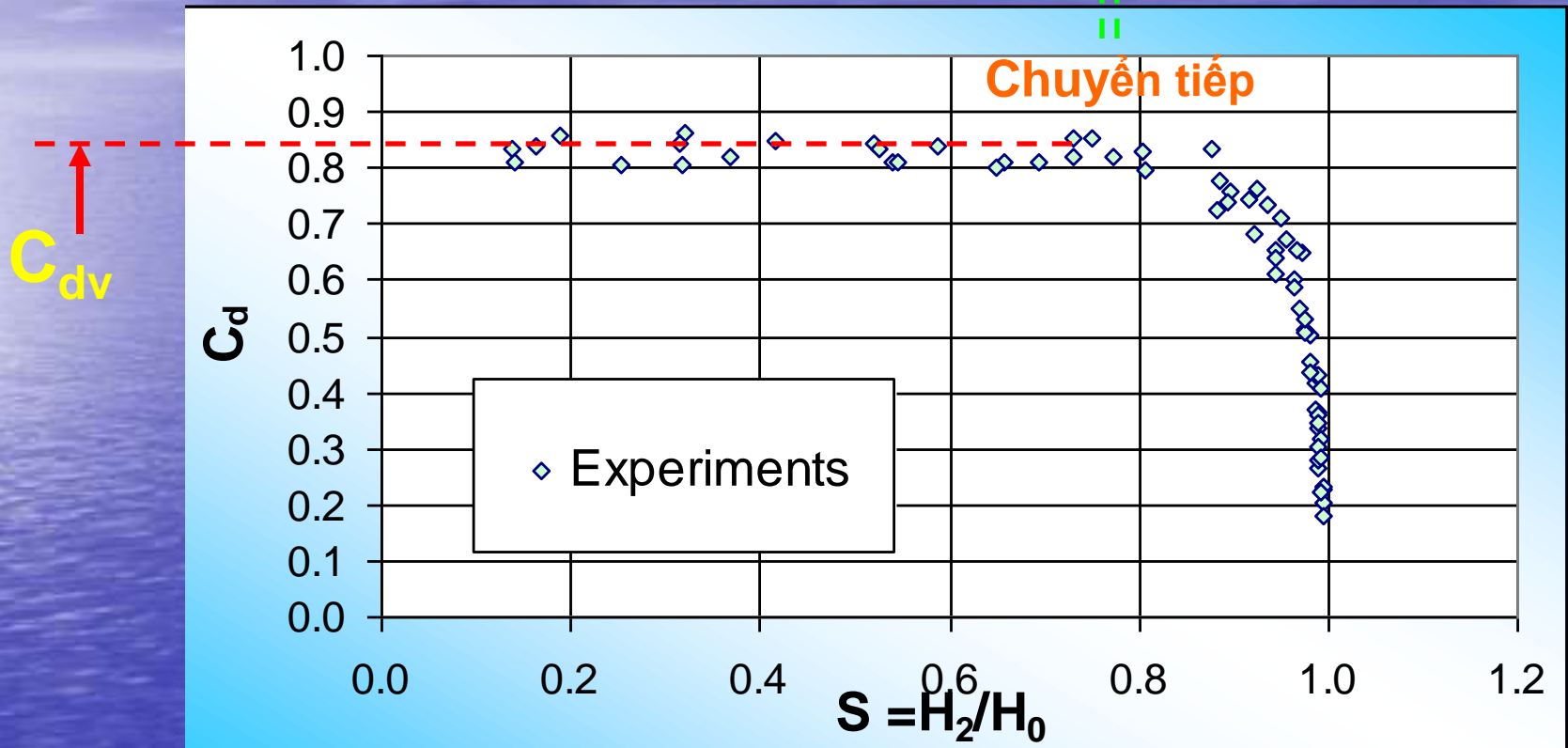
Chảy tự do



Hệ số lưu lượng (C_d)

Chảy tự do

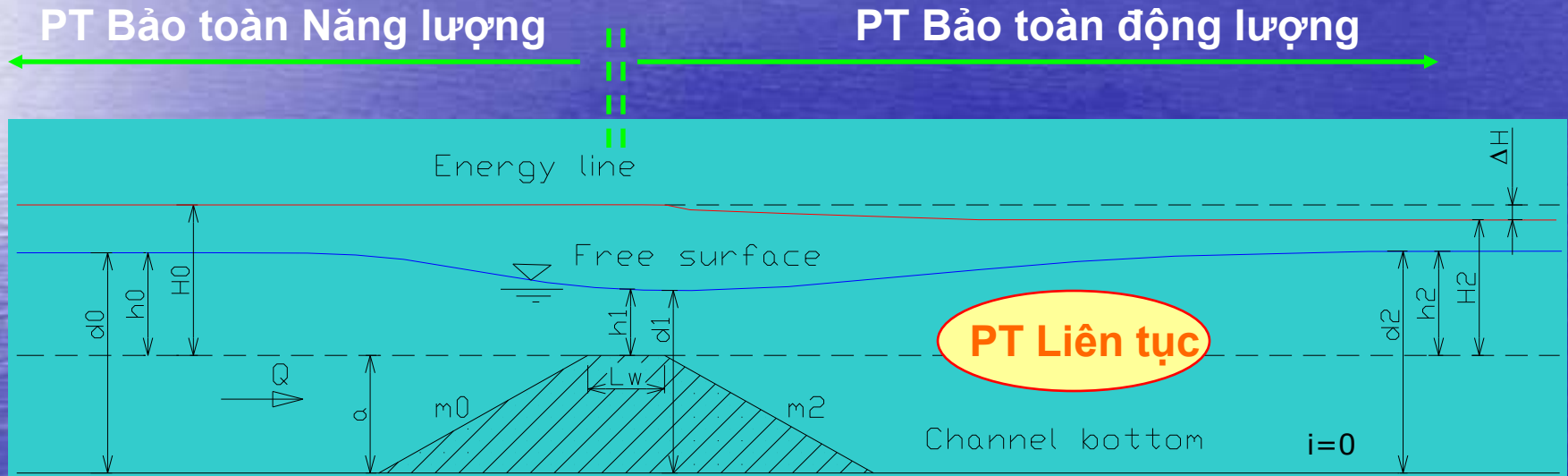
Chảy ngập



Các thông số

Mô hình dòng chảy đơn giản:

- 3 phương trình cơ bản



4. Sự tương tự

- Yêu cầu để tương tự (hay quy tắc mô hình hoá)

thiết kế và vận hành mô hình trong các điều kiện sao cho:

Mỗi số hạng Π_i (trừ các số hạng Π_i chứa các biến đang cần tiên đoán) của mô hình phải bằng với số hạng Π_i tương ứng của nguyên mẫu.

$$\Pi_{2m} = \Pi_2$$

$$\Pi_{3m} = \Pi_3$$

...

$$\Pi_{(k-r)m} = \Pi_{(k-r)}$$



- Cùng với giả thiết rằng dạng của hàm ϕ là như nhau, dẫn tới phương trình tiên đoán cần thiết có dạng:

$$\Pi_1 = \Pi_{1m}$$

- Phương trình trên thể hiện rằng giá trị đo được của Π_{1m} trong các thí nghiệm với MHVL cần phải bằng với giá trị của Π_1 tương ứng của nguyên mẫu.



Questions?



Khoa Kỹ Thuật Biển
Trường Đại học Thủy Lợi

