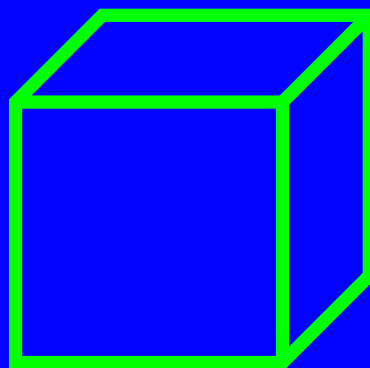
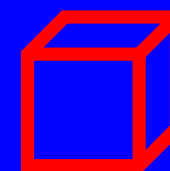
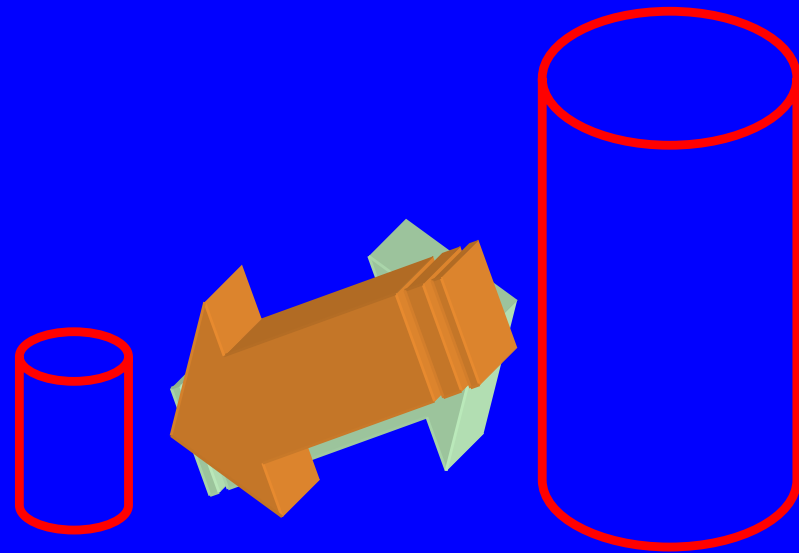


SIMILITUDINE SI MODELE



SIMILITUDINE

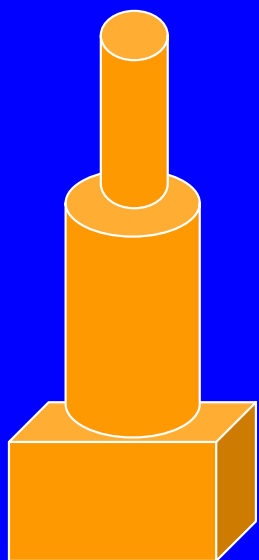
- **SIMILITUDINEA** se ocupa cu relatiile dintre sistemele fizice de diverse marimi, in scopul transpunerii:
 - la scara mai mare;
 - la scara mai mica;a proceselor:
 - fizice
 - chimice
 - biochimice



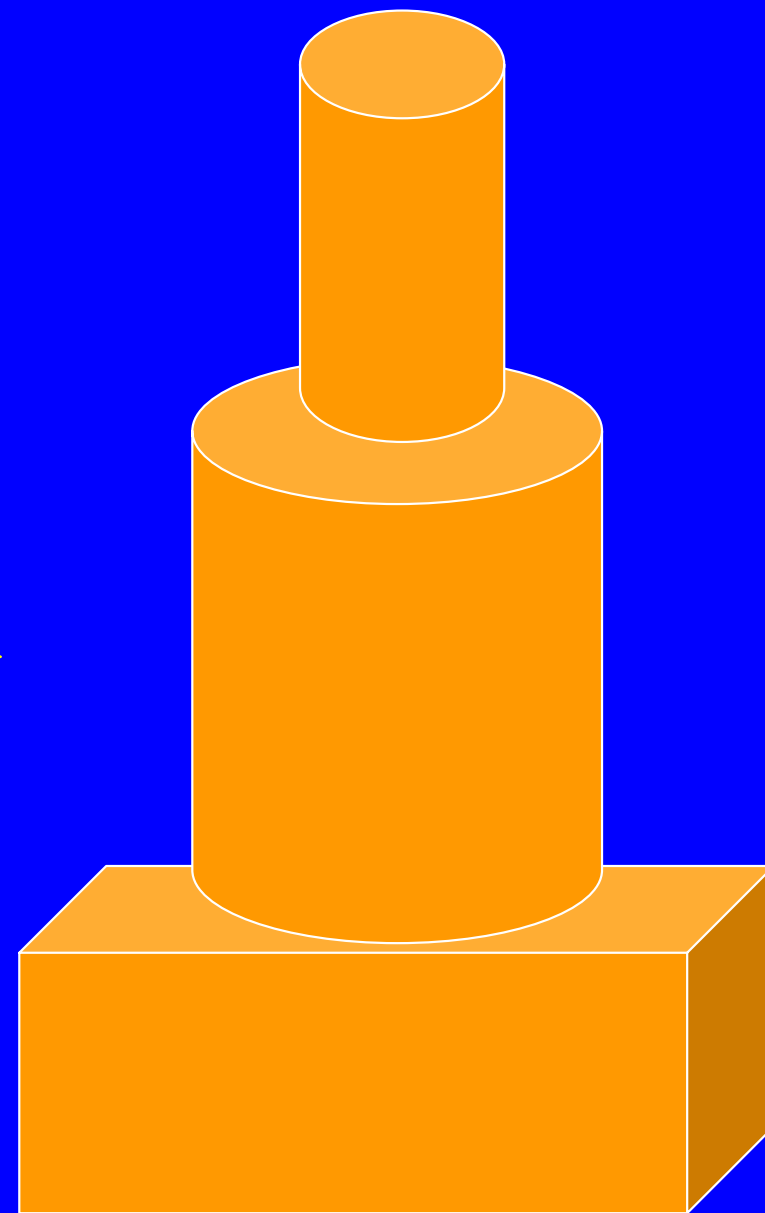
MODELE

- Sensul general al termenului:
O CONSTRUCTIE MATERIALA SAU SPIRITUALA CARE, FUNCTIE DE SCOPUL URMARIT, ARE O ASEMANARE SAU COMPORTARE SIMILARA CU A OBIECTULUI MODELAT.
- Simplificare a originalului, care pastreaza doar elemente esentiale, semnificative.

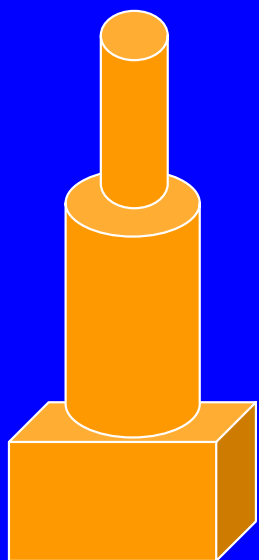
- MODELARE = reducerea originalului la o forma simplificata si eficient operabila;
- MODELARE = cuprinderea originalului in expresii matematice;
- Scopul MODELARII = studierea fenomenelor;
- SIMULARE = studiu efectuat pe modele.



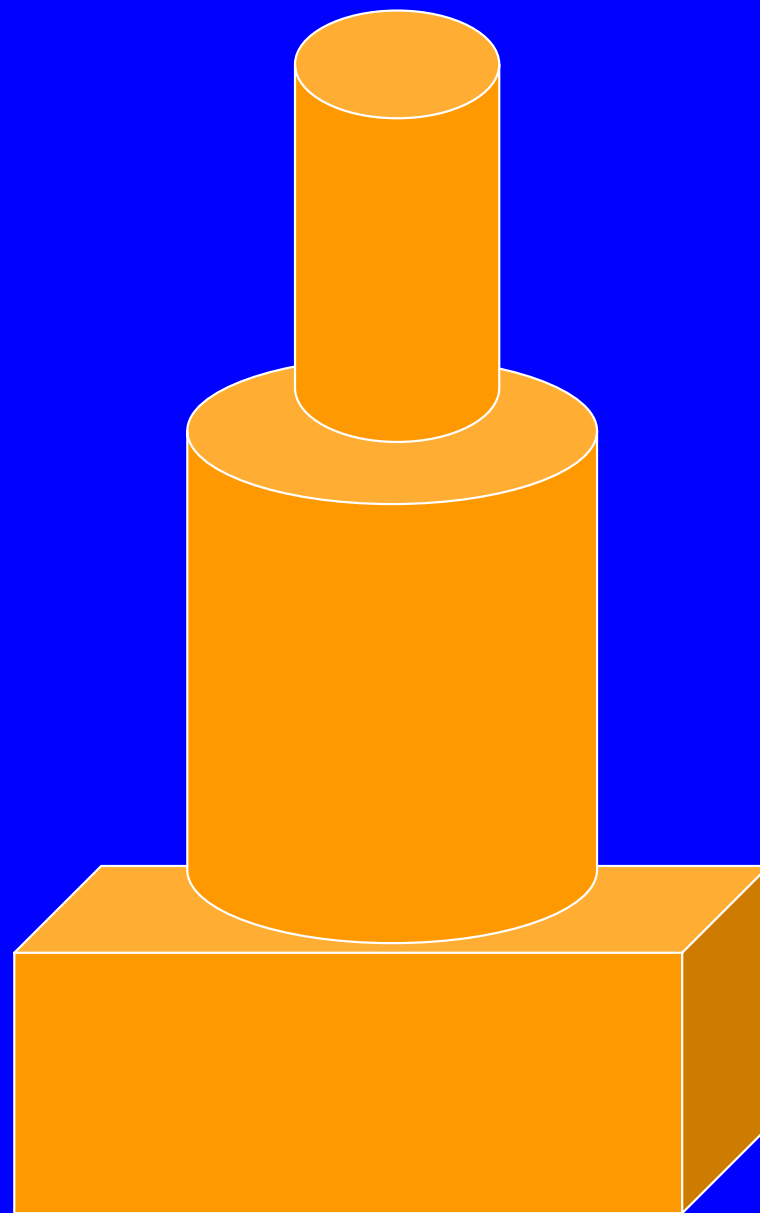
MODEL



PROTOTIP



PROTOTIP



MODEL

INCONVENIENTELE MODELARII

1. De multe ori este dificila stabilirea elementelor ESENTIALE pt. conceperea modelului;
2. Un rol important ii revine IMAGINATIEI, care are caracter SUBIECTIV;
3. Adoptarea programelor de simulare se bazeaza adesea pe relatii FORMALE.

TIPURI DE MODELE

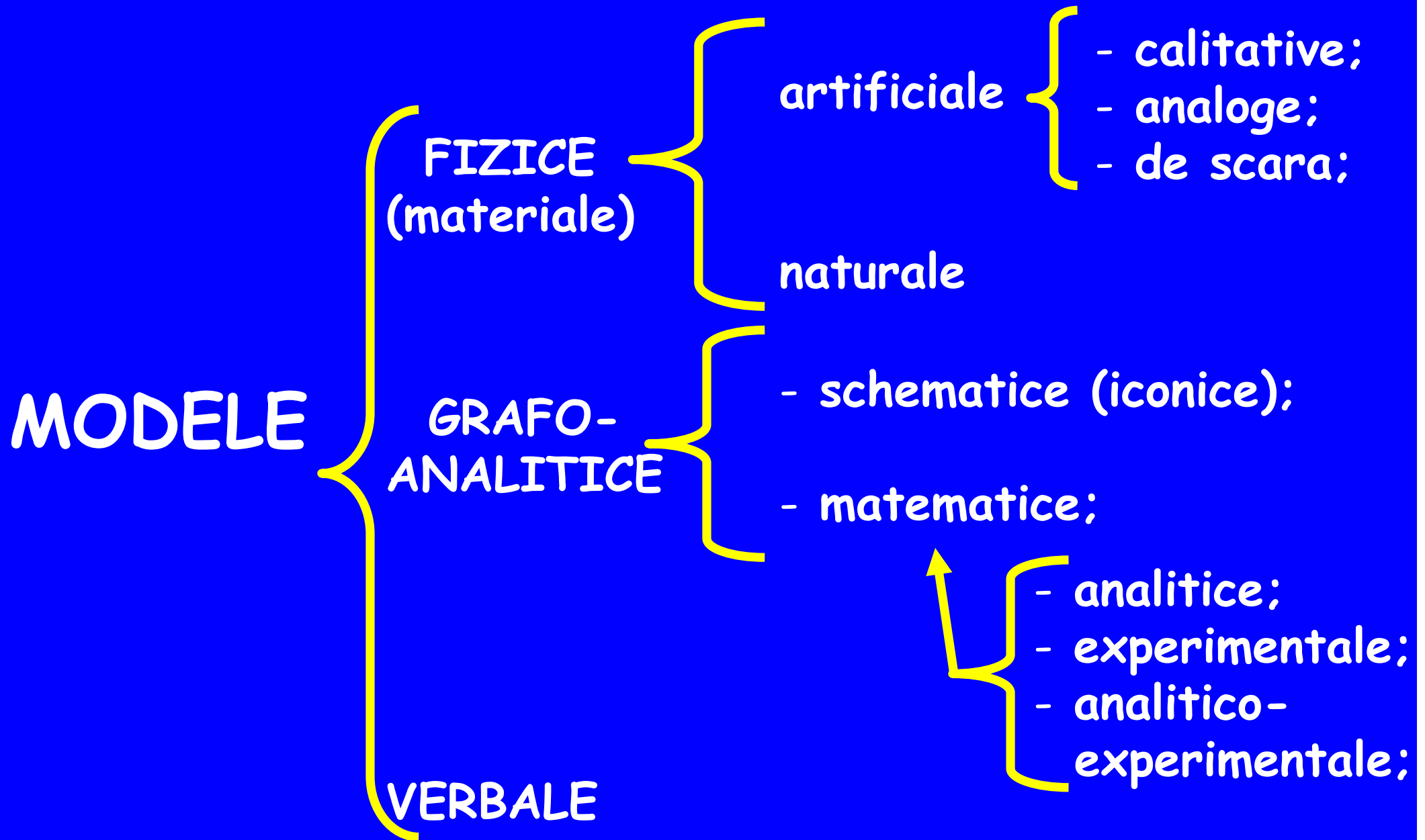
- MODELE CONCEPTUALE

“reproduc” originale inca neconcepute
(EX: modelul structurii atomului)

- MODELE REPRODUCTIVE

“imagini” ale unor utilaje, procese,
cunoscute, utile pentru simulare

CLASIFICAREA MODELELOR



EXEMPLE DE MODELE

- **MODELE FIZICE**

- **Naturale:** animale si plante de experienta;

- **Artificiale:**

- * **Calitative:** machete

- * **Analoge:** bazate pe identitatea ecuatiilor matematice ale unor fenomene total diferite

- * **De scara:** modele experimentale, care respecta de regula similitudinea geometrica

EXEMPLE DE MODELE

- **MODELE GRAFO-ANALITICE**
- **SCHEMATICE**: obiecte, regiuni, ecuatii, procese fizice. EX: harti, planuri de constructii, formule chimice, graficul parabolei;
- **MATEMATICE**: sisteme de ecuatii algebrice si/sau diferentiale care descriu (cu diverse grade de precizie) un fenomen, comportarea unui obiect etc.

EXEMPLE DE MODELE

- **MODELE VERBALE:**

Nu se pot reproduce sub forma de obiecte, grafice, ecuatii.

EX: modelul de dezvoltare a unei societati.

MODELE IN INGINERIA PROCESELOR

- **MODELE FIZICE DE SCARA** - utile in studiul proceselor simple;
- **MODELE MATEMATICE** - pt. simularea proceselor complexe (impun obligatoriu verificarea experimentală a validității modelului).

SIMILITUDINE

MODEL - PROTOTIP

- Două fenomene (proces), **M (model)** și **P (prototip)** sunt similare dacă ele sunt guvernate de aceleași legități și dacă au condițiile de univocitate similare, respectiv îndeplinesc concomitent condițiile de:
 - similitudine geometrică,
 - similitudine a constantelor fizice,
 - similitudine dinamică
 - similitudine a condițiilor la limită.

SIMILITUDINEA GEOMETRICA

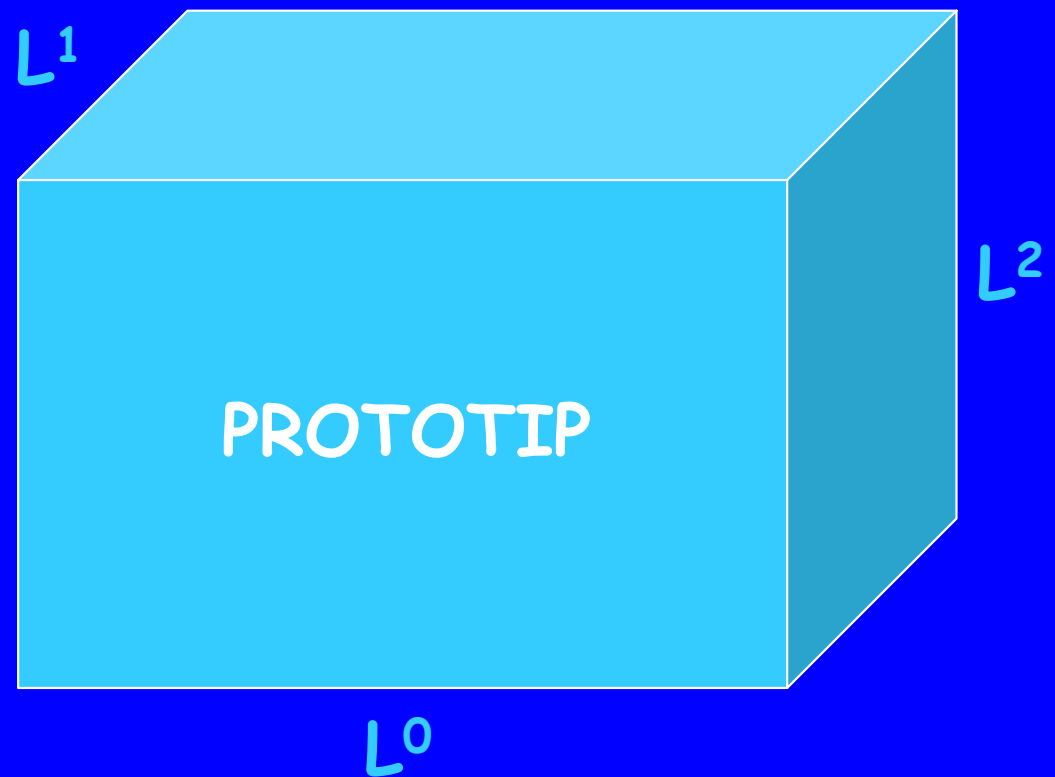
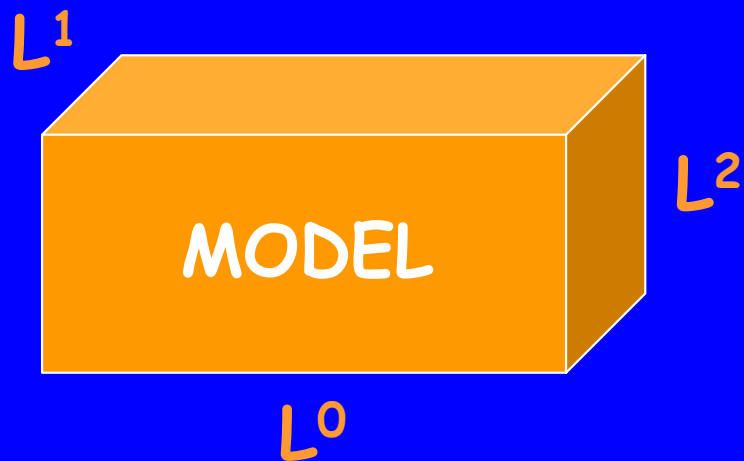
- Doua corpuri sunt similare geometric cand pt. fiecare pct. dintr-un corp \exists un pct. corespondent in celalalt corp.

$$\frac{L_P^0}{L_M^0} = \frac{L_P^1}{L_M^1} = \frac{L_P^2}{L_M^2} = \dots = \frac{L_P^n}{L_M^n} = S_G$$

Simplex de similitudine geometrica

SIMILITUDINEA GEOMETRICA

$$\frac{L_P^0}{L_M^0} = \frac{L_P^1}{L_M^1} = \frac{L_P^2}{L_M^2} = \dots = \frac{L_P^n}{L_M^n} = S_G$$



SIMILITUDINEA MECANICA

Este indeplinita daca sunt indeplinite simultan conditiile de:

- Similitudine statica;
- Similitudine cinematica;
- Similitudine dinamica.

SIMILITUDINEA STATICA

- Corpurile geometrice sunt similare static, cand sub actiunea tensiunilor constante deformatia lor relativa nu modifica similitudinea geometrica.
- Este folosita in mecanica si constructii.

SIMILITUDINEA CINEMATICA

- Se ocupa cu sistemele solide sau fluide in miscare;
- Introduce timpul (viteza) ca variabila;
- Sistemele geometric similare, in miscare, sunt cinematic similare, cand traseul particulelor corespondente, au traiectorii geometric asemenea, in intervale corespondente de timp.
- In fluide cu curgere similara si straturi limita similare, viteza transferului de caldura si de masa se exprima prin relatii simple.

SIMILITUDINEA DINAMICA

- Studiaza fortele corespondente ce actioneaza asupra unui sistem in miscare;
- Forte corespondente = forte de aceeași natura ce actioneaza asupra corpurilor corespondente la timpi corespondenti.

SIMILITUDINEA DINAMICA

- Sisteme geometric asemenea, in miscare, sunt similare dinamic cand rapoartele tuturor fortelor corespondente sunt egale:

$$\frac{F_P^0}{F_M^0} = \frac{F_P^1}{F_M^1} = \frac{F_P^2}{F_M^2} = \dots = \frac{F_P^n}{F_M^n} = S_F$$

SIMILITUDINEA DINAMICA

Forțe care acționează în fluide:

- Forțe gravitaționale;
- Forțe centrifuge;
- Forțe inertiiale;
- Forțe viscoase;
- Forțe interfaciale;
- Forțe de presiune.

SIMILITUDINEA TERMICA

- Diferentele de temperatura intre 2 perechi de puncte corespondente, din doua sisteme diferite, la timpi corespondenti, formeaza diferente de temperatura corespondente.
- In sisteme similare d.p.d.v. termic, suprafetele izoterme, la timpi corespondenti, sunt geometric asemenea.

SIMILITUDINEA TERMICA

- Similitudinea termica impune ca vitezele corespondente de transfer de caldura sa fie intr-un raport constant.

$$\frac{q_c^P}{q_c^M} = \frac{q_v^P}{q_v^M} = \frac{q_r^P}{q_r^M} = q^0 = \text{constant}$$

TEORIA SIMILITUDINII

Transpunerea MODEL \rightarrow PROTOTIP se realizeaza utilizand 3 teoreme generale:

1. Dacă două fenomene fizice sunt similare între ele criteriile respective de similitudine au aceeași valoare numerică;
2. Ecuațiile care descriu fenomene fizice pot fi scrise în forma unor relații între criterii de similitudine;
3. Pentru ca două fenomene să fie similare, este necesar și suficient ca ele să fie calitativ identice (adică să fie descrise prin ecuații matematice identice - excepție făcând constantele dimensionale conținute în ele), iar criteriile lor determinate (care conțin numai mărimile cunoscute) corespunzătoare să aibă valori numerice identice.

EXEMPLU:

- Dacă un fenomen este reprezentat prin relația:

$$\text{Nu} = f(\text{Re}, \text{Pr}, l/d)$$

- condițiile pentru existența similitudinii între modelul M și prototipul P vor fi date de identitățile:

$$\text{Re}_M = \text{Re}_P;$$

$$\text{Pr}_M = \text{Pr}_P;$$

$$(l/d)_M = (l/d)_P$$

- In aceste conditii, va fi valabila si identitatea:

$$\text{Nu}_M = \text{Nu}_P$$

SIMILITUDINE ABSOLUTA, COMPLETA, PARTIALA

- **Similitudinea absolută (ideală)** între două sisteme (model și prototip) va exista numai în condițiile asigurării unei corespondențe depline a tuturor dimensiunilor geometrice ale sistemelor implicate și a tuturor mărimilor care variază în timp și spațiu, adică a proceselor care se desfășoară în aceste sisteme.
- Noțiunea este abstractă, neexistând fenomene similare în toate detaliile.

SIMILITUDINE ABSOLUTA, COMPLETA, PARTIALA

- **Similitudinea completă** este similitudinea acelor procese care se desfășoară în timp și spațiu și care determină în esență fenomenul studiat.
- Condițiile de similitudine se referă numai la procesele sau fenomenele fundamentale, neglijându-se unele forțe a căror pondere este ne semnificativă asupra fenomenului studiat.
- **Ex:** criteriul Fr se ia în considerare doar în cazul fluidelor în mișcare care prezintă una sau mai multe suprafețe libere neorizontale, asupra cărora forțele gravitaționale au o pondere însemnată în desfășurarea procesului respectiv;
- **Ex:** criteriul Re nu intervine în condițiile în care pierderea de presiune a unui fluid în curgere sub presiune printr-o conductă nu este dependentă de Re (curgere puternic turbulentă), etc.

SIMILITUDINE ABSOLUTA, COMPLETA, PARTIALA

- **Similitudinea parțială (incompletă)** se realizează în cazul modelării incomplete, fie datorită dificultăților de modelare, fie datorită imposibilității realizării unei similitudini complete.

SIMILITUDINE ABSOLUTA, COMPLETA, PARTIALA

EXEMPLU:

- Să presupunem că similitudinea între două sisteme este condiționată de identitatea simultană a trei criterii de similitudine: Re , Fr și We :

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu}; \quad Fr = \frac{l \cdot g}{v^2}; \quad We = \frac{\rho_d \cdot v^2 \cdot l}{\sigma}$$

SIMILITUDINE ABSOLUTA, COMPLETA, PARTIALA

În aceste condiții, dependențele dintre viteza fluidului și caracteristica geometrică vor fi de forma:

- $v \sim l^{-1}$ pentru criteriul Reynolds
- $v \sim l^{1/2}$ pentru criteriul Froude
- $v \sim l^{-1/2}$ pentru criteriul Weber

SIMILITUDINE ABSOLUTA, COMPLETA, PARTIALA

- Deoarece viteza fluidului nu poate fi proporțională simultan cu:

$$1/l$$

$$\sqrt{l}$$

$$1/\sqrt{l}$$

cele trei criterii de similitudine sunt **incompatibile**.

Este imposibilă transpunerea la scară a procesului controlat simultan de cele trei criterii menționate mai sus.

SIMILITUDINE ABSOLUTA, COMPLETA, PARTIALA

- Pentru ocolirea dificultăților sau incompatibilităților care pot interveni în transpunerea la scară:
 - Folosirea domeniilor de **automodelare**,
 - Folosirea **distorsiunilor geometrice** sau **hidrodinamice**.

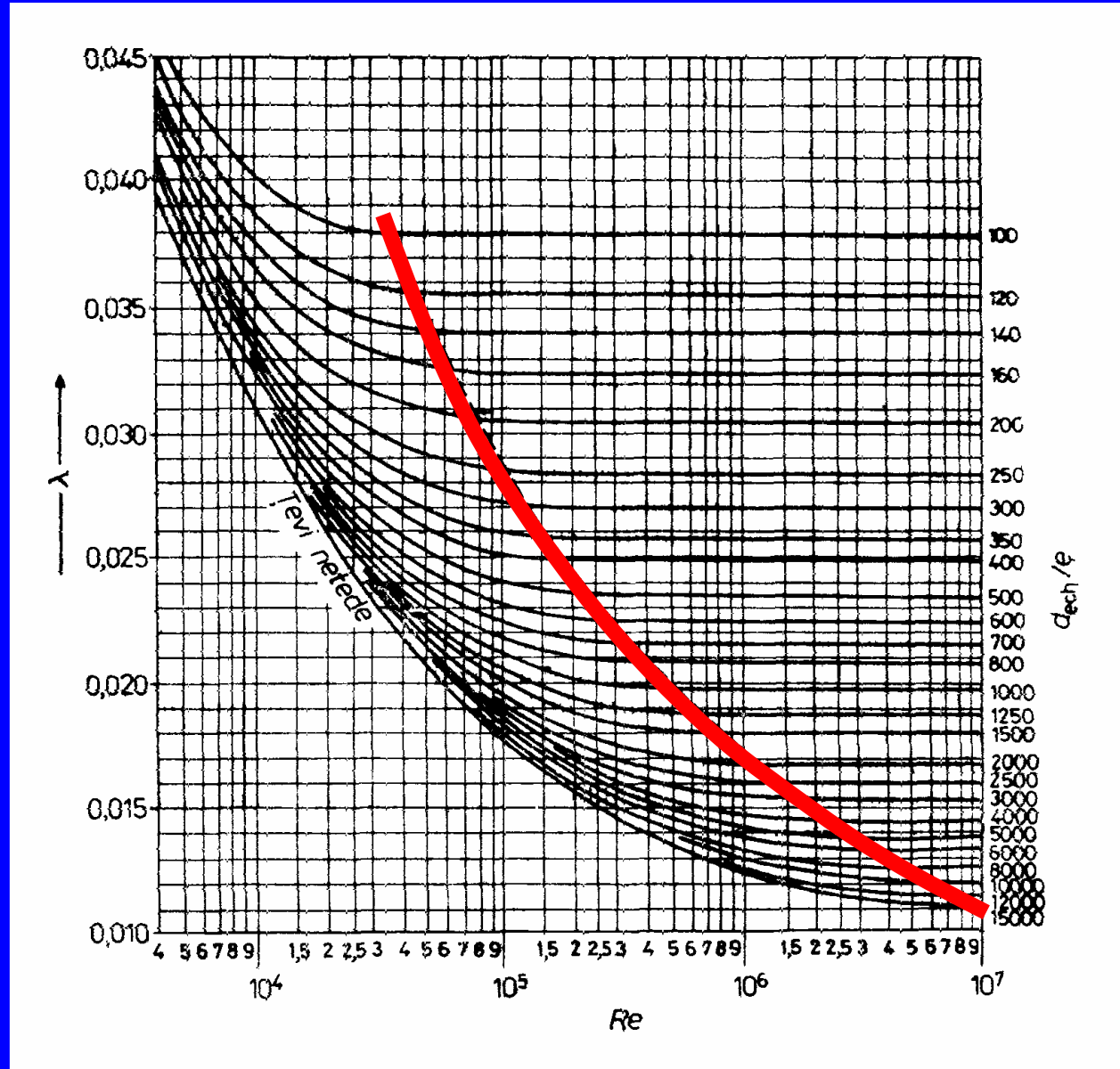
DOMENII DE AUTOMODELARE

Prin domeniu de automodelare în raport cu un anumit criteriu se înțelege intervalul de variație a valorii criteriului respectiv în care modificarea valorii lui nu influențează fenomenele a căror similitudine dinamică trebuie asigurată.

DOMENII DE AUTOMODELARE

EXEMPLU:

- În domeniul curgerii puternic turbulente, căderea de presiune la curgerea unui fluid printr-o conductă nu mai depinde de asigurarea identității numerice pentru Re , ci numai de realizarea similitudinii geometrice a celor două sisteme (M și P), cu asigurarea desfășurării proceselor la valori Re mai mari decât limita inferioară la care începe regimul turbulent.



UTILIZAREA DISTORSIUNILOR

Utilizarea distorsiunilor geometrice sau hidrodinamice:

renunțarea la similitudinea geometrică și/sau dinamică completă, cu corecturile necesare (de regulă efectul unei distorsiuni este compensat prin introducerea unei alte distorsiuni) pentru realizarea transpunerii la scară.

UTILIZAREA DISTORSIUNILOR

- Când dimensiunile modelului sunt mult diferite de cele ale prototipului, procesul din model poate fi influențat de mărimi fizice ne semnificative pentru desfășurarea procesului în prototip și viceversa, apărând așa-numitele **efecte de scară**.

EFECTE DE SCARA

Exemplu:

- efectele tensiunii superficiale sunt mult mai pronunțate în modelele de dimensiuni mici.
- Pentru eliminarea efectelor de scară se recomandă realizarea, pe cât posibil, a modelelor la dimensiuni cât mai apropiate de cele ale prototipului.

AVANTAJE ȘI LIMITĂRI ÎN UTILIZAREA CRITERIILOR DE SIMILITUDINE

- **Avantaje:**
 1. Un proces se poate transpune de la o scară la alta prin simpla păstrare a valorii numerice a criteriilor de similitudine.
 2. Prin înlocuirea celor "m" variabile și constante dimensionale din ecuațiile obișnuite cu "m-n" criterii de similitudine din ecuațiile criteriale, se micșorează (în general cu "n") numărul variabilelor efective ale problemei.
 3. Criteriile de similitudine fiind adimensionale, ele sunt independente de sistemul de unități de măsură în care se lucrează.

AVANTAJE ȘI LIMITĂRI ÎN UTILIZAREA CRITERIILOR DE SIMILITUDINE

Dezavantaje:

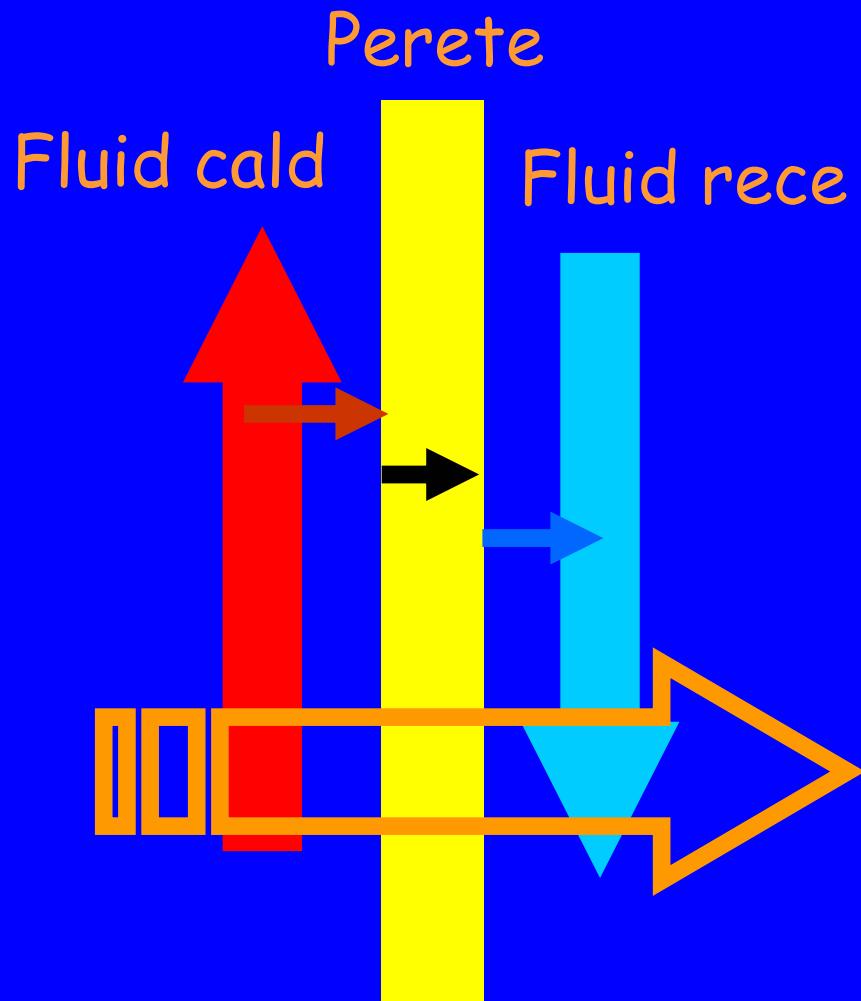
1. Analiza dimensională și considerațiile de similitudine nu furnizează direct ecuația criterială care descrie fenomenul oferind doar forma generală a funcției. Coeficientul k și exponenții a, b, c, \dots din ecuația

$$\pi_i = k \cdot \pi_1^a \cdot \pi_2^b \cdot \pi_3^c \cdots$$

trebuie determinați experimental.

2. Transpunerea la scară a rezultatelor experimentale obținute pe un model nu este întotdeauna posibilă, fie datorită incompatibilității unor criterii de similitudine fie datorită efectelor de scară, fie datorită restricțiilor referitoare la alegerea rapoartelor de scară.

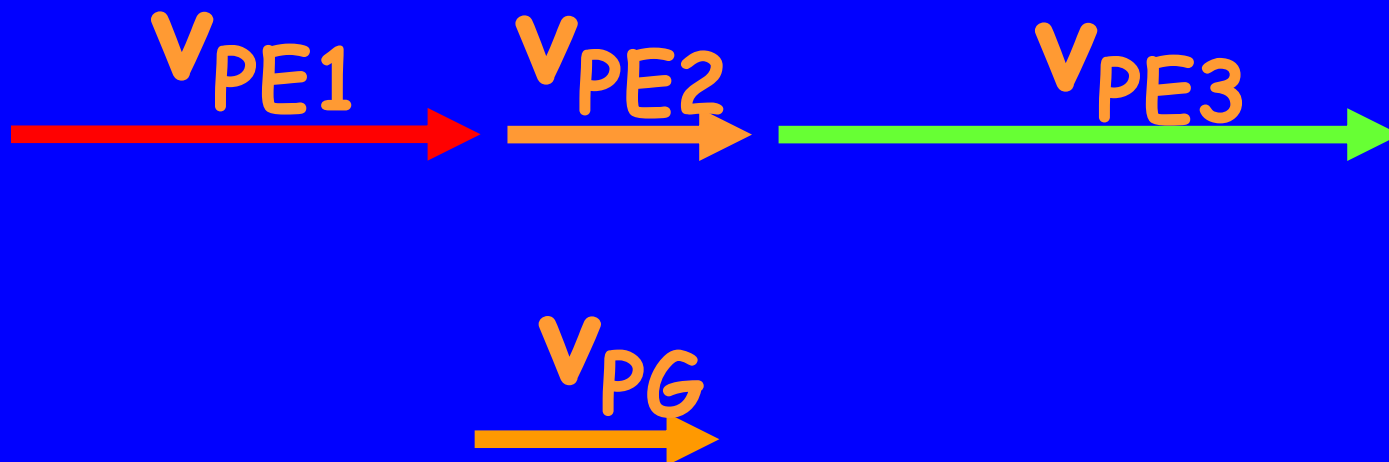
PROCES GLOBAL – PROCES ELEMENTAR



- **PROCESUL GLOBAL:**
 - transferul de caldura intre cele doua fluide;
- **PROCESE ELEMENTARE:**
 - Trsp. Q de la fluidul cald la perete;
 - Trsp. Q prin perete;
 - Trsp. Q de la perete la fluidul rece.

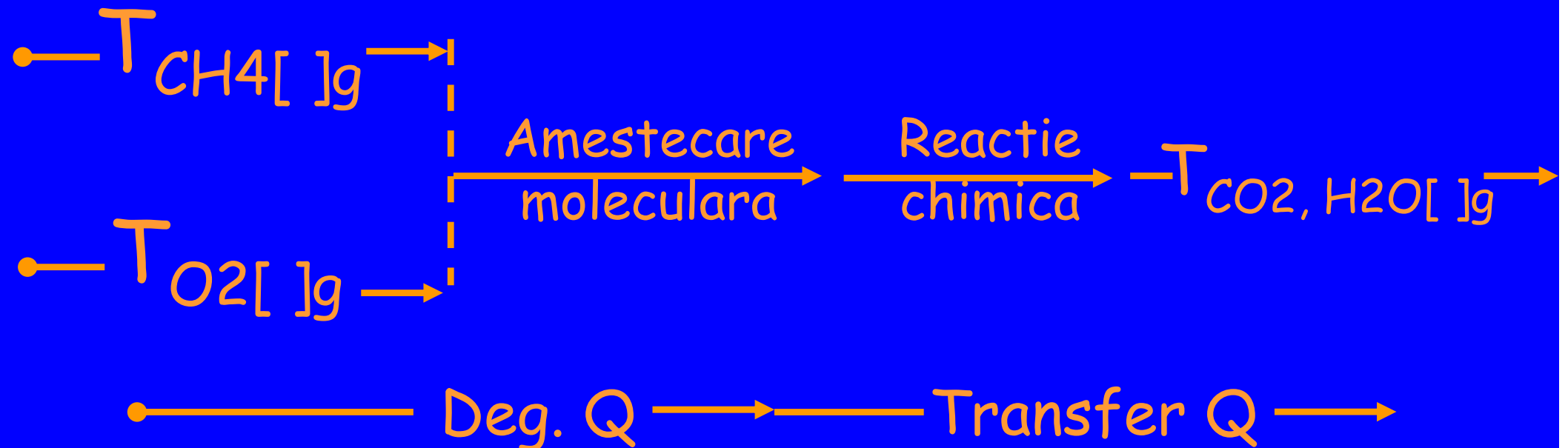
PROCES DETERMINANT

- Procesele elementare (PE) se desfășoară cu o anumită intensitate;
- Dacă PE sunt inseriate, viteza procesului global (PG) este influențată de viteza PE cel mai lent = **PROCESUL DETERMINANT DE VITEZA = PROCESUL LIMITATIV.**

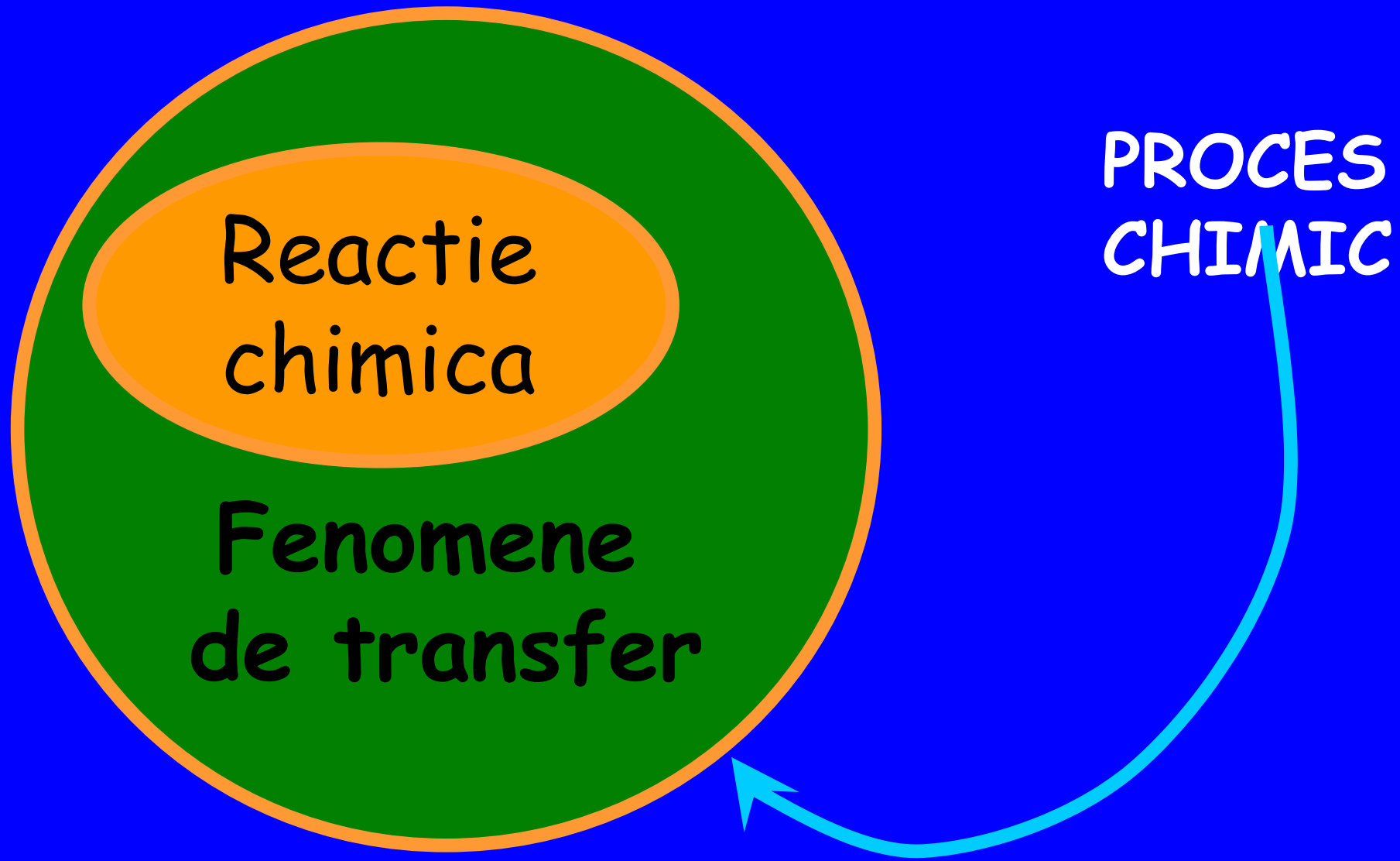


REACTIE CHIMICA – PROCES CHIMIC

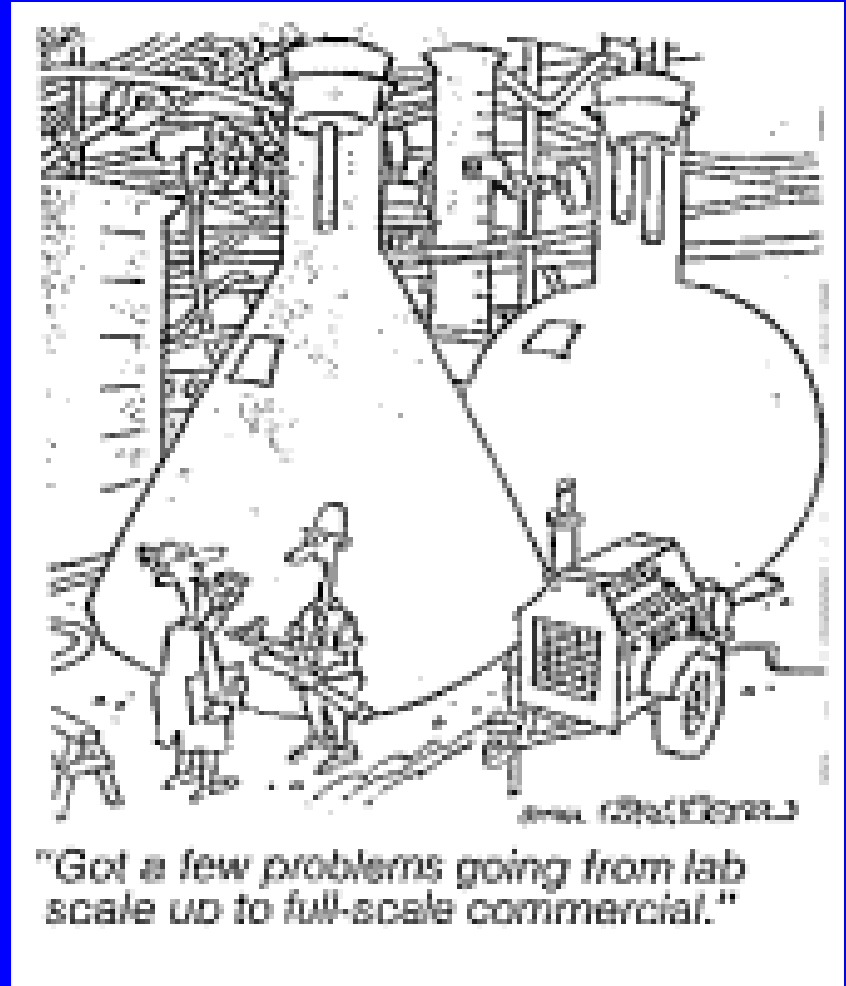
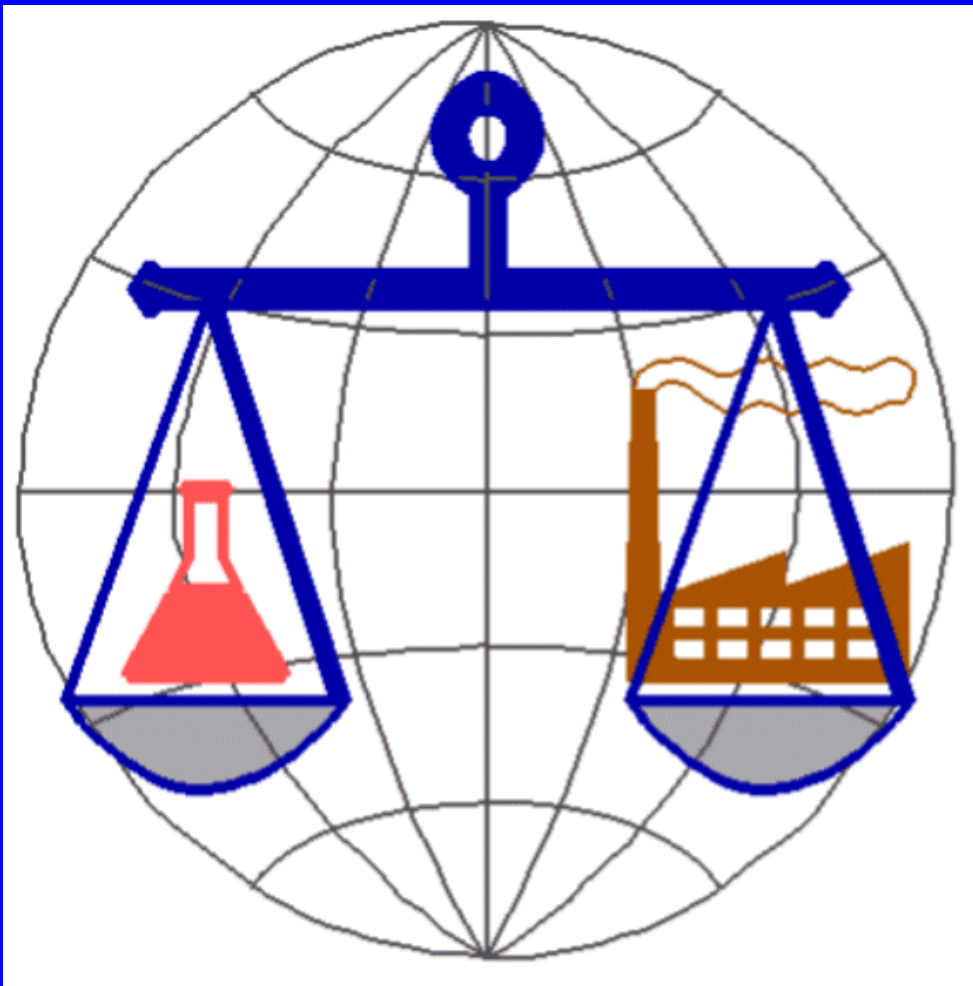
- EXEMPLU: arderea metanului cu aer
- Reactia chimica: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Procesul chimic:



REACTIE CHIMICA – PROCES CHIMIC



SCALE-UP



"Got a few problems going from lab scale up to full-scale commercial."

Defining “Scale-up”



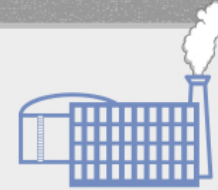
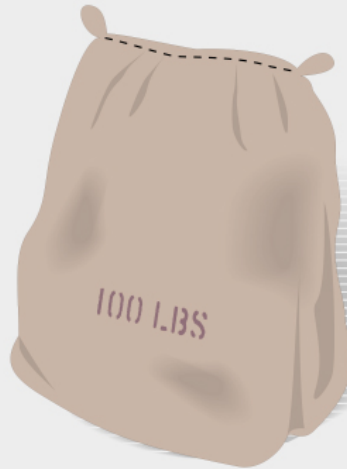
Bench Scale
(200g)



Preparative Scale
(5 lbs / 2.5kg)



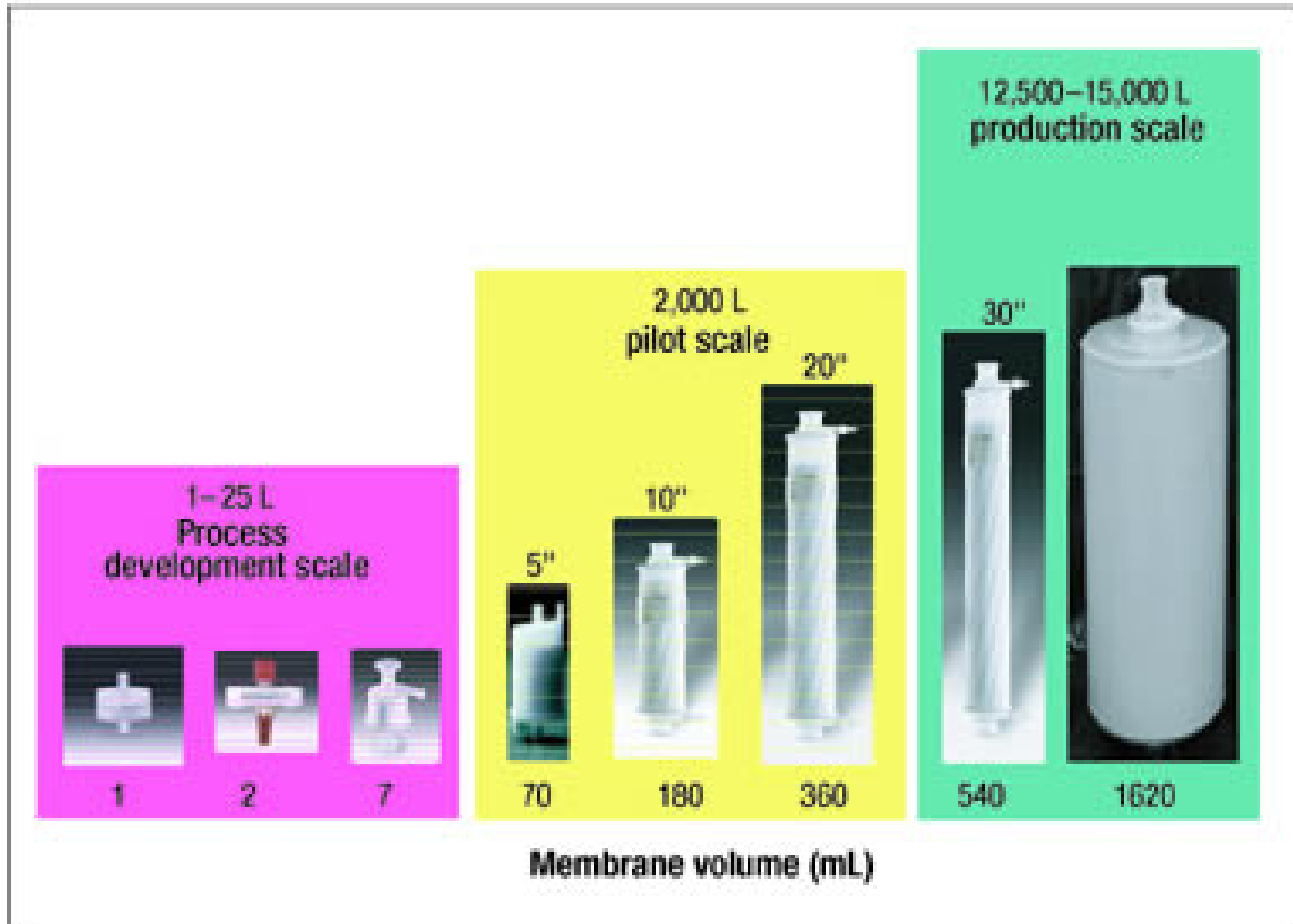
Pilot Plant Scale
(100 lbs / 50kg)



Commercial Scale
(750-1,000 lbs / 300-400kg)



Figure 3. Scale-up concept for cylindrical membrane chromatography devices. The 1-mL capsule can be used for small-scale evaluations and virus clearance studies. The cylindrical format is constant as device size increases, allowing for accurate and linear scale-up.



SCALE-UP

