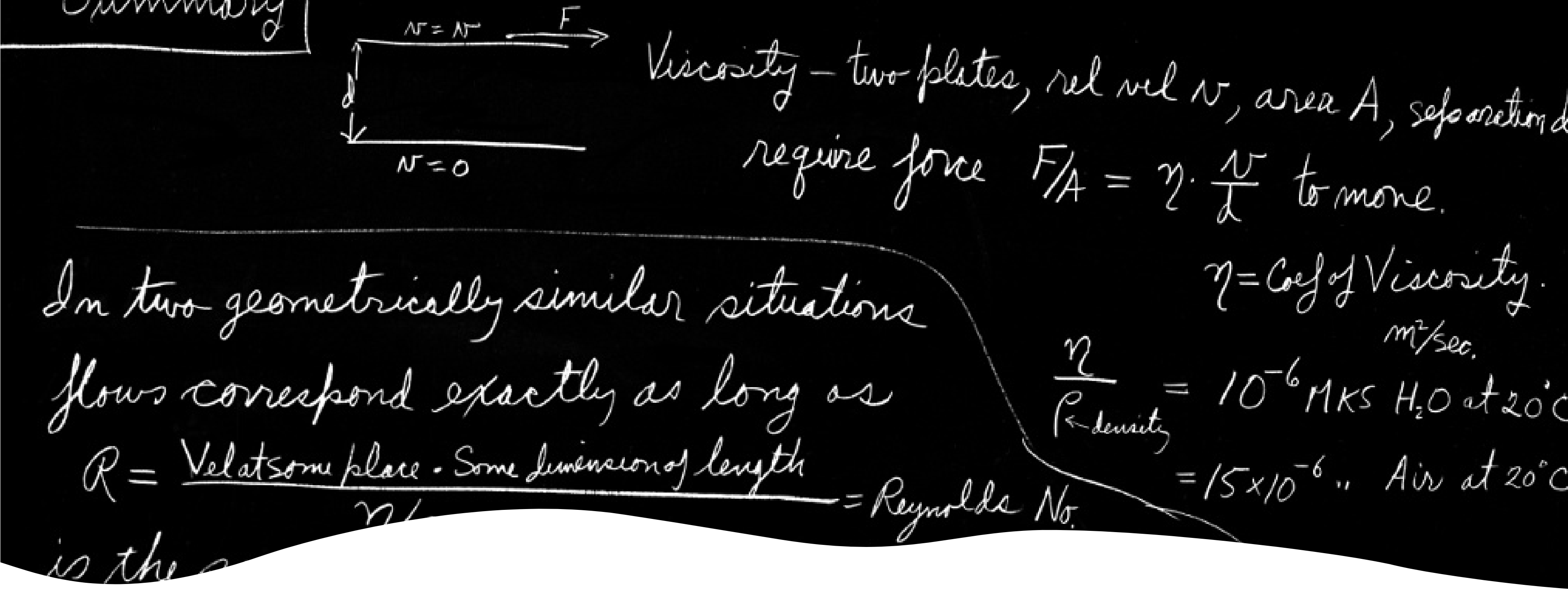


Jan Novotný

2021

Feynman o „mokré“ vodě

obsah

1. Feynman a jeho kniha
2. Co je to „mokrá“ voda?
3. Operátory grad, rot, div
4. Navierovy-Stokesovy rovnice
5. Hagenův- Poiseuilleův zákon
6. Laminární a turbulentní proudění
7. Reynoldsovo číslo
8. Obtékání válce
9. Problémy pro 3.tisíciletí
10. Perspektivy fyziky podle Feynmana

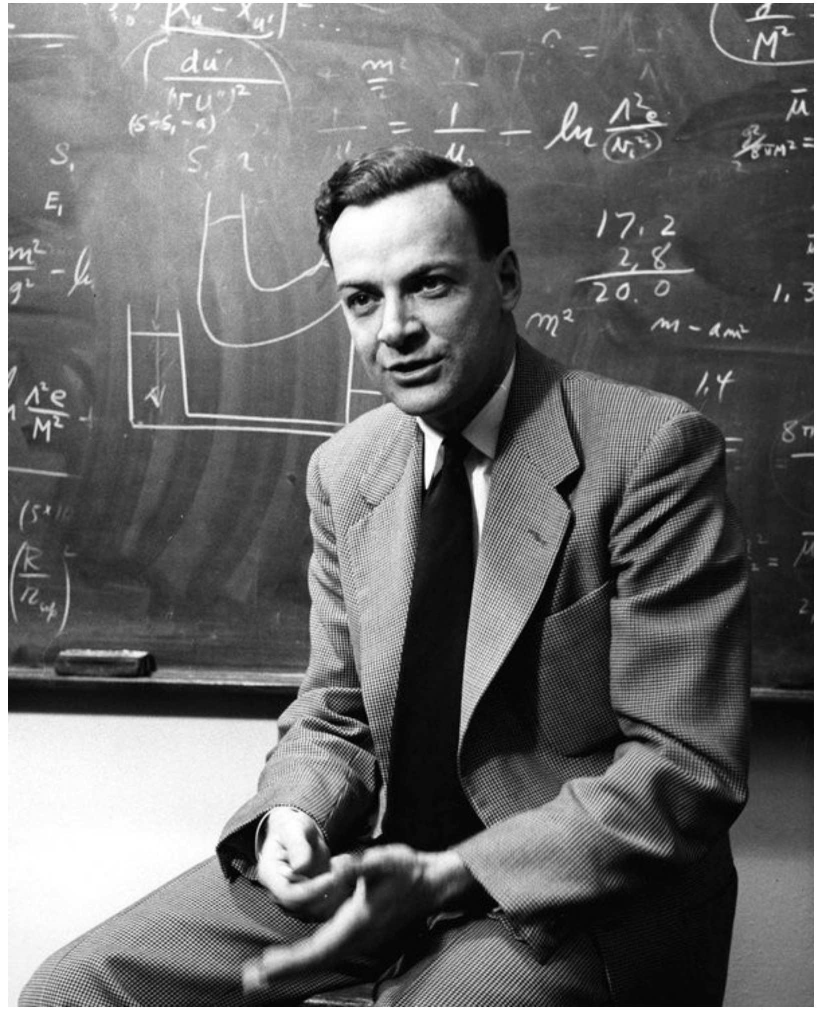
Richard P. Feynman

1918-1988

Kvantová elektrodynamika
The Nobel Prize 1965

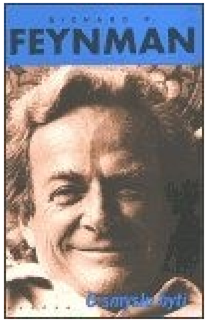
Feynmanovy diagramy
Popularizace fyziky

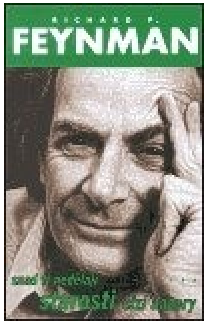
Základní kurz přednášek
na Caltechu 1961-63

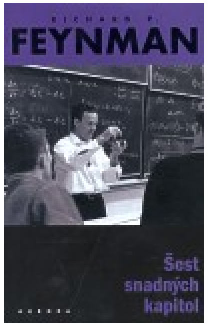


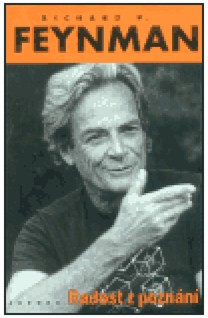
Richard P. Feynman

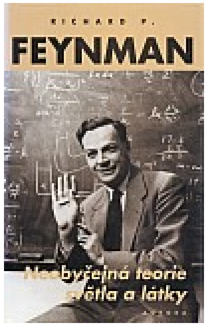
https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_toc.html

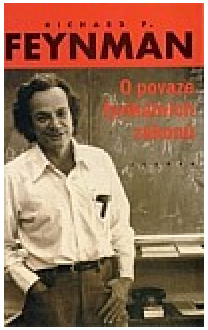


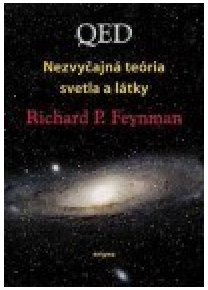


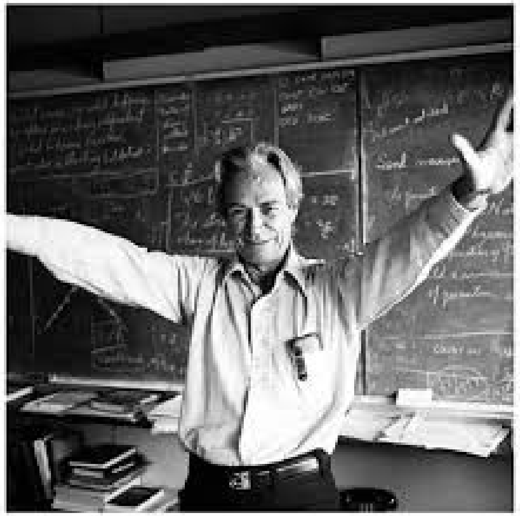
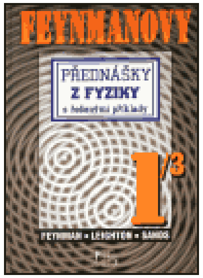


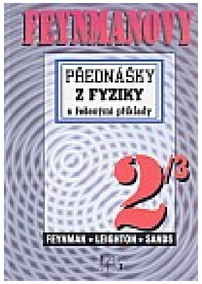


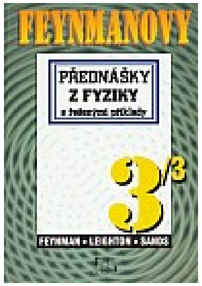


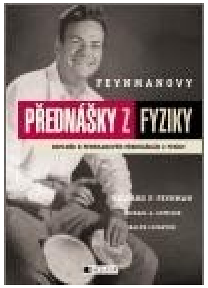


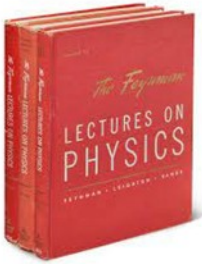


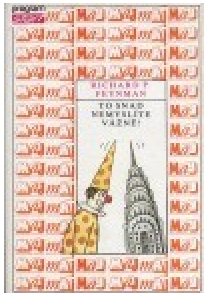
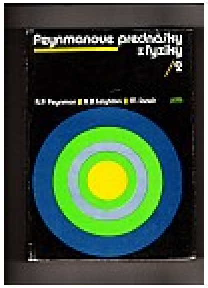



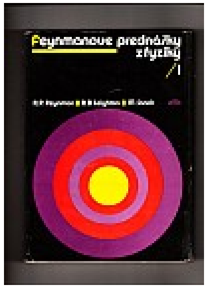


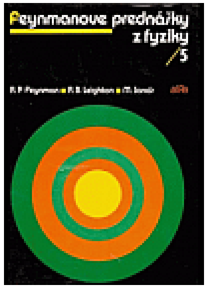










https://www.databazeknih.cz/vydane-knihy/richard-p-feynman-8377

Co je podle Feynmana „mokrá“ voda?

Nestlačitelná tekutina s nezanedbatelnou vazkostí.

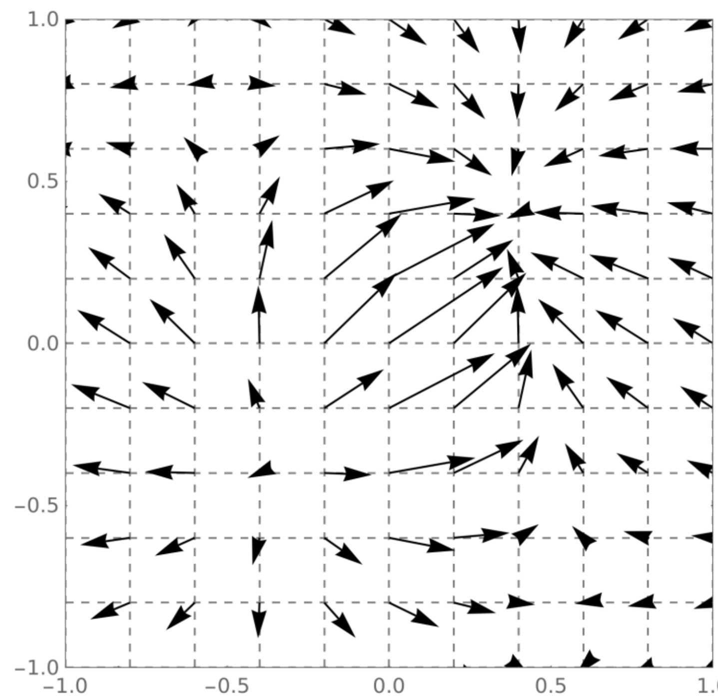
Studuje se v rámci mechaniky kontinua – spojitého prostředí

Základní veličiny:

$\rightarrow$ $\rightarrow$ rychlostní pole

ρ $\rightarrow$ hustota tekutiny

p $\rightarrow$ tlak v tekutině



Rovnice pohybu (newtonovská)

- Tekutiny se vyznačují tím, že Ψ (psí) je v klidu nulové
- Pro ideální tekutinu Ψ je nulové i za pohybu – „suchá“ voda
- Pro vazké tekutiny Ψ je za pohybu nenulové

2.Newtonův zákon

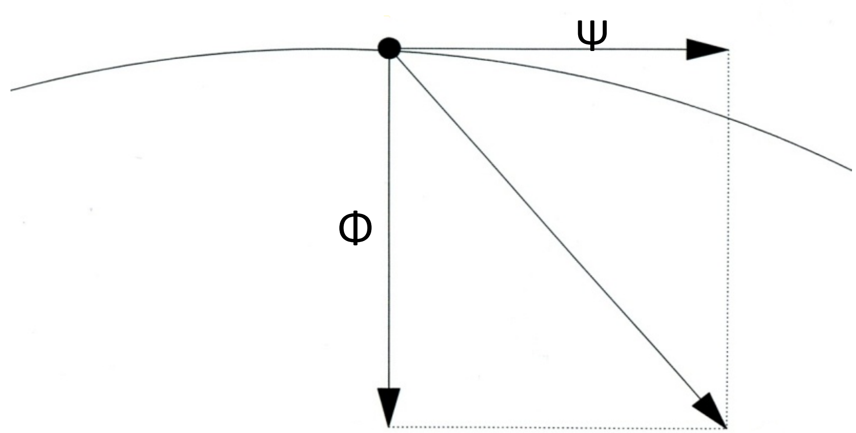
$$a = \frac{dv}{dt} = f_o + f_p = g$$

objemové síly

plošné síly

tlaková složka plošných sil

smyková složka plošných sil (tření)

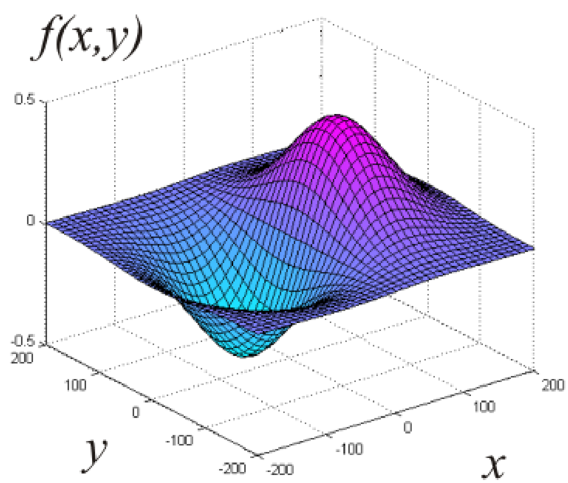


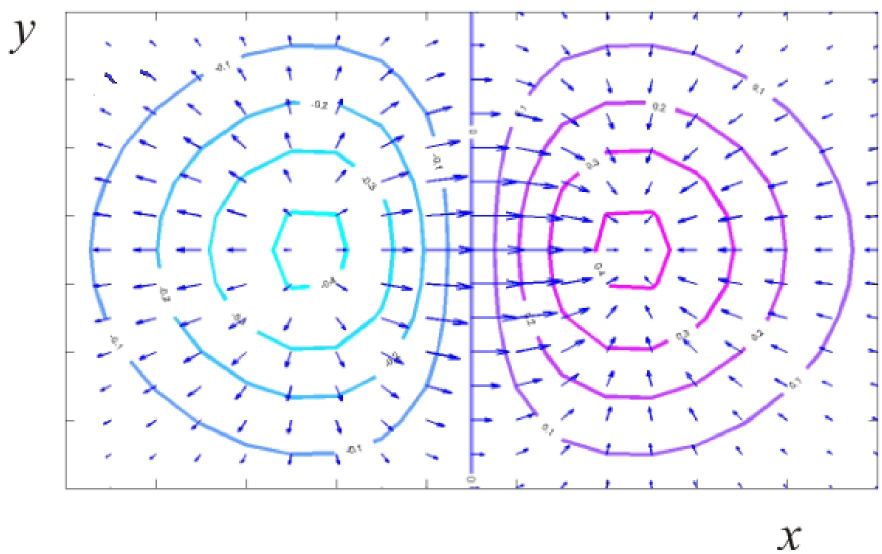
Operátory grad, div, rot

gradient

$$\vec{\nabla}\varphi = \mathrm{grad}\ \varphi = \vec{\mathrm{i}}\,\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{\mathrm{j}}\,\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{\mathrm{k}}\,\frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

převádí skalární pole na vektorové pole





divergence

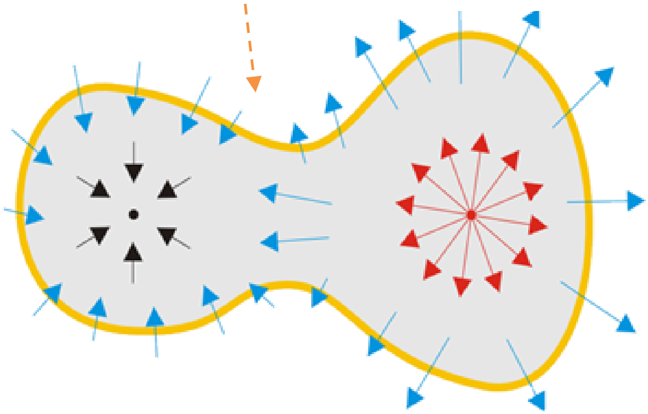
$$\vec{\nabla}.\vec{A} = \operatorname{div}\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$$

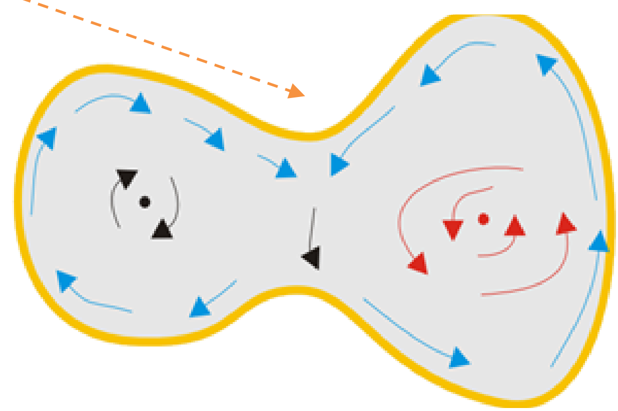
převádí vektorové pole na pole skalární

rotace

$$\vec{\nabla}\times\vec{A} = \operatorname{rot}\vec{A} = \vec{i}\left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}\right) + \vec{j}\left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}\right) + \vec{k}\left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}\right)$$

převádí vektorové pole na jiné vektorové pole





$\iiint \rightarrow \square$

Gauss.věta souvislost divergence s tokem

$\iint \rightarrow \rightarrow \square$

Stokes.věta souvislost rotace s cirkulací

$\int \quad - \quad \int$

zobecněná Stokes.věta

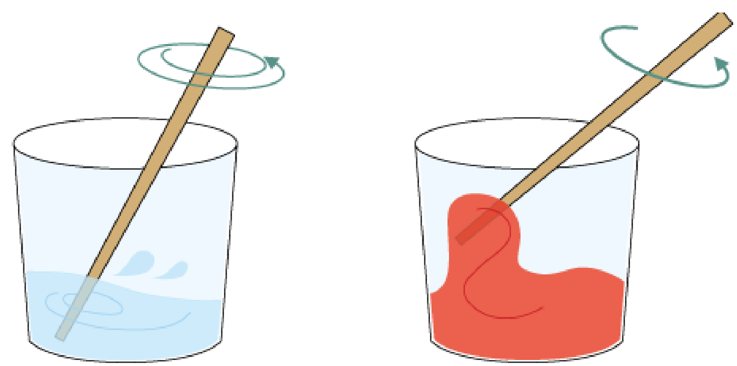
Eulerovy rovnice (rovnice pohybu ideální tekutiny)

rce kontinuity pro nestlačitelnou tekutinu

Tyto rovnice vyhovují pro hydrostatiku, ale u pohybujících se tekutin vedou k rozporu s realitou.
Musíme proto doplnit viskózní síly – vazkost.

Nesoulad:

- rozplývání vírů,
- d'Alembertův paradox u ideální tekutiny,
- pokles tlaku ve vodorovné trubici,
- nerozlišení směru času.



Navierovy-Stokesovy rovnice

koef.vazkosti

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{1}{2}\,\mathrm{grad}\,v^2 - \vec{v} \wedge \mathrm{rot}\,\vec{v} = -\,\mathrm{grad}\,u - \frac{1}{\rho}\,\mathrm{grad}\,p + \frac{\mu}{\rho}\,\Delta\vec{v}$$

Feynman ke zjednodušení rovnic užívá identity $\mathrm{rot}\,\mathrm{grad}\,A \equiv 0$

Tím dostává soubor rovnic pro nestlačitelnou tekutinu s konstantní vazkostí μ

$$\boxed{\begin{aligned} &\mathrm{rot}\,\vec{v} = \vec{\Omega} \\ &\frac{\partial \vec{\Omega}}{\partial t} + \mathrm{rot}\,(\vec{\Omega} \wedge \vec{v}) = \frac{\mu}{\rho}\,\Delta\vec{\Omega} \\ &\mathrm{div}\,\vec{v} = 0 \end{aligned}}$$

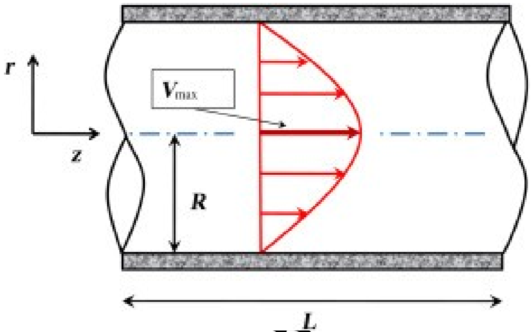
Okrajová podmínka na stěnách

$$\vec{v} = \vec{v}_n + \vec{v}_t$$

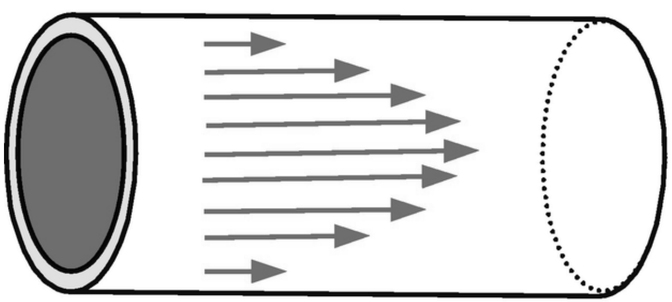
pro každou tekutinu $\vec{v}_n = 0$

pro vazkou tekutinu $\vec{v} = 0$

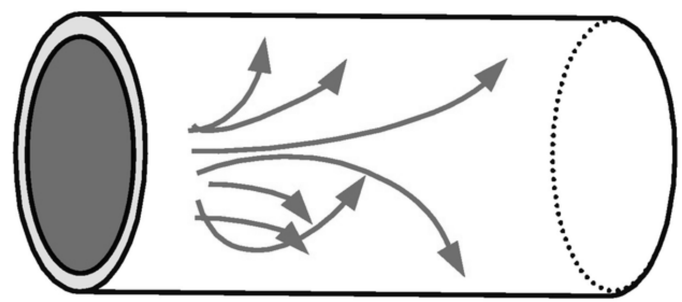
Hagenův-Poiseuilleův zákon



$v = 4 \quad {}^{2} - {}^{2}$ $\qquad$ $v = \frac{d}{d}$ $\qquad$ $\boxed{Q = 8 \quad \cdot \quad {}^{4}}$



laminární



turbulentní

Reynoldsovo číslo

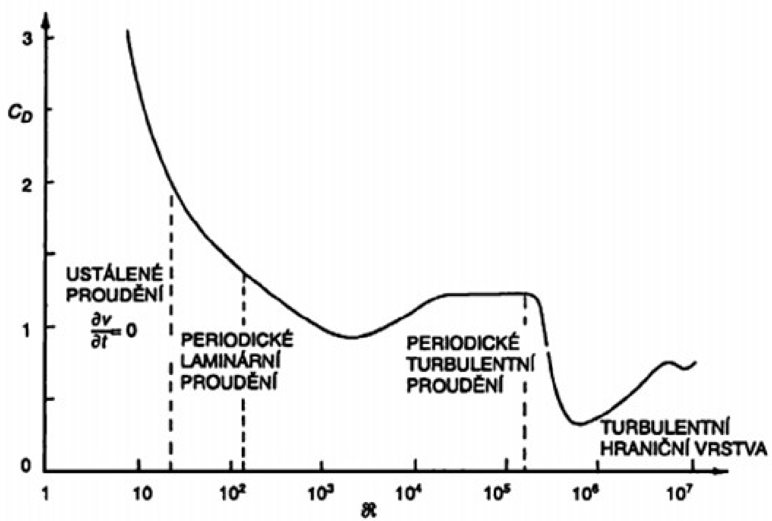
$\vec{r} \quad \vec{r}\, L$

$\vec{v} \quad \vec{v}\, V$

$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} \quad \mathrm{rot}\, \vec{v} \times \vec{v} \quad - \; LV \cdot \Delta$

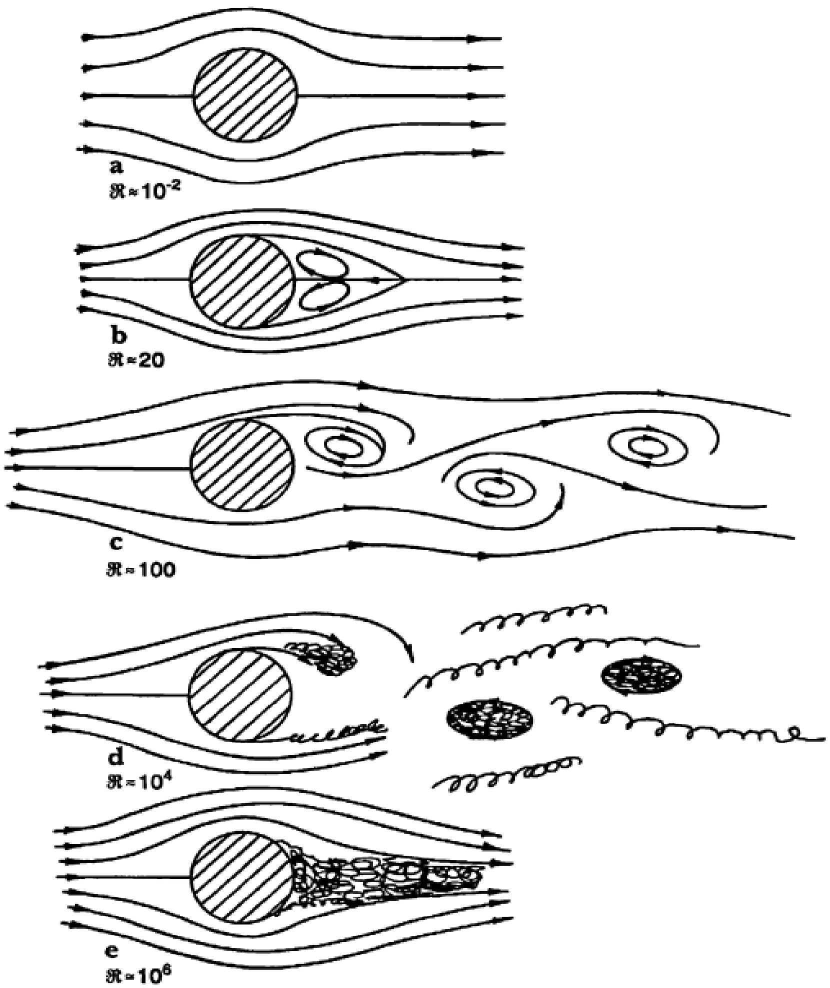
$\boxed{R_e = \frac{LV}{\nu}}$

Součinitel odporu se složitě mění, a tím nám naznačuje, že v proudu dochází k něčemu zajímavému a komplikovanému. Nyní popíšeme charakter proudění v různých intervalech Reynoldsova čísla.



Obr. 41.4 **Součinitel odporu C_D kruhového válce jako funkce Reynoldsova čísla.**

Obtékání válce



Problémy pro 3.tisíciletí

(Millenium Prize Problems)

- označení pro 7 matematických problémů, které v roce 2000 vyhlásil Clayův matematický institut jako nejdůležitější otevřené problémy soudobé matematiky.
- Jsou obdobou Hilbertových problémů ze začátku dvacátého století.
- Na vyřešení každého z nich vypsal institut odměnu jednoho milionu dolarů.
- Do této chvíle byla vyřešena pouze Poincarého domněnka.

Znění úloh

1 Problém P versus NP

2 Hodgeova domněnka

3 Poincarého domněnka

4 Riemannova hypotéza

5 Yangova-Millsova teorie a hypotéza hmotnostních rozdílů

6 Navierovy-Stokesovy rovnice

(Navierovy-Stokesovy rovnice jsou parciální diferenciální rovnice, které popisují proudění kapalin a plynů. Byly formulovány již v 19. století, dosud však není jasné, zda pro dané počáteční podmínky existuje jejich řešení. Úspěšné vyřešení tohoto problému by například přispělo k porozumění turbulencím.)

7 Birchova a Swinnerton-Dyerova domněnka

Perspektivy fyziky podle Feynmana

Hlavní poučení, které je třeba si z toho všeho zapamatovat, je skutečnost, že v jednoduché soustavě rovnic se skrývá obrovské množství různých možností proudění.

Viděli jsme, jak se jevy v celé jejich složitostí snadno a překvapivě vynoří z jednoduchých rovnic, které je popisují.
Člověk si neuvědomuje možnosti jednoduchých rovnic a často dochází k závěru, že k vysvětlení složitosti okolního světa je třeba něco přinejmenším božského, ne pouhé rovnice.

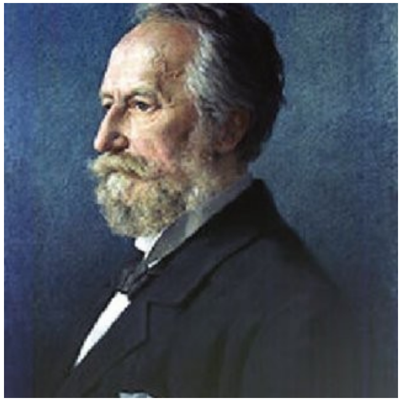
Nová epocha probuzení lidského umu možná přinese metody, jak porozumět kvalitativnímu obsahu rovnic. Dnes to ještě neumíme. Nevidíme, že rovnice proudění vody obsahují jevy, jako spirálovitá struktura turbulence, kterou pozorujeme mezi rotujícími válci. Dnes nedokážeme usoudit, zda Schrödingerova rovnice obsahuje i žáby, i hudební skladatele, i morálku, nebo je neobsahuje. Také nedokážeme rozhodnout, zda kromě ní je třeba ještě něco navíc, něco jako Bůh. A proto na to může mít každý svůj vlastní názor.

https://www.feynmanlectures.caltech.edu/

Galerie osobností a aplikace


Leonard Euler

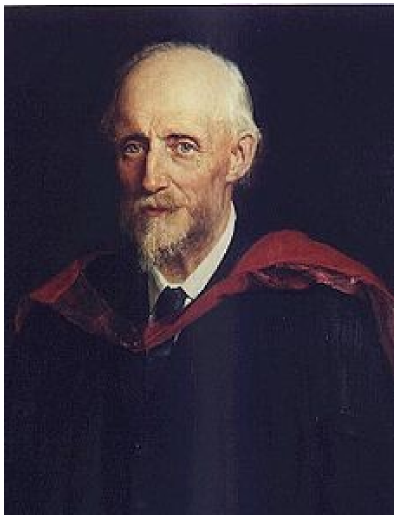

Daniel Bernoulli

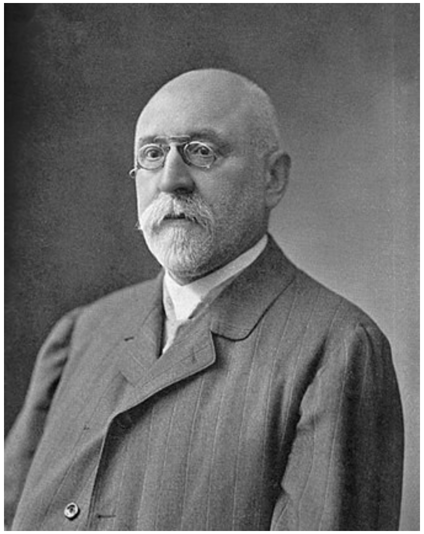

Claude-Louis Navier


George G. Stokes

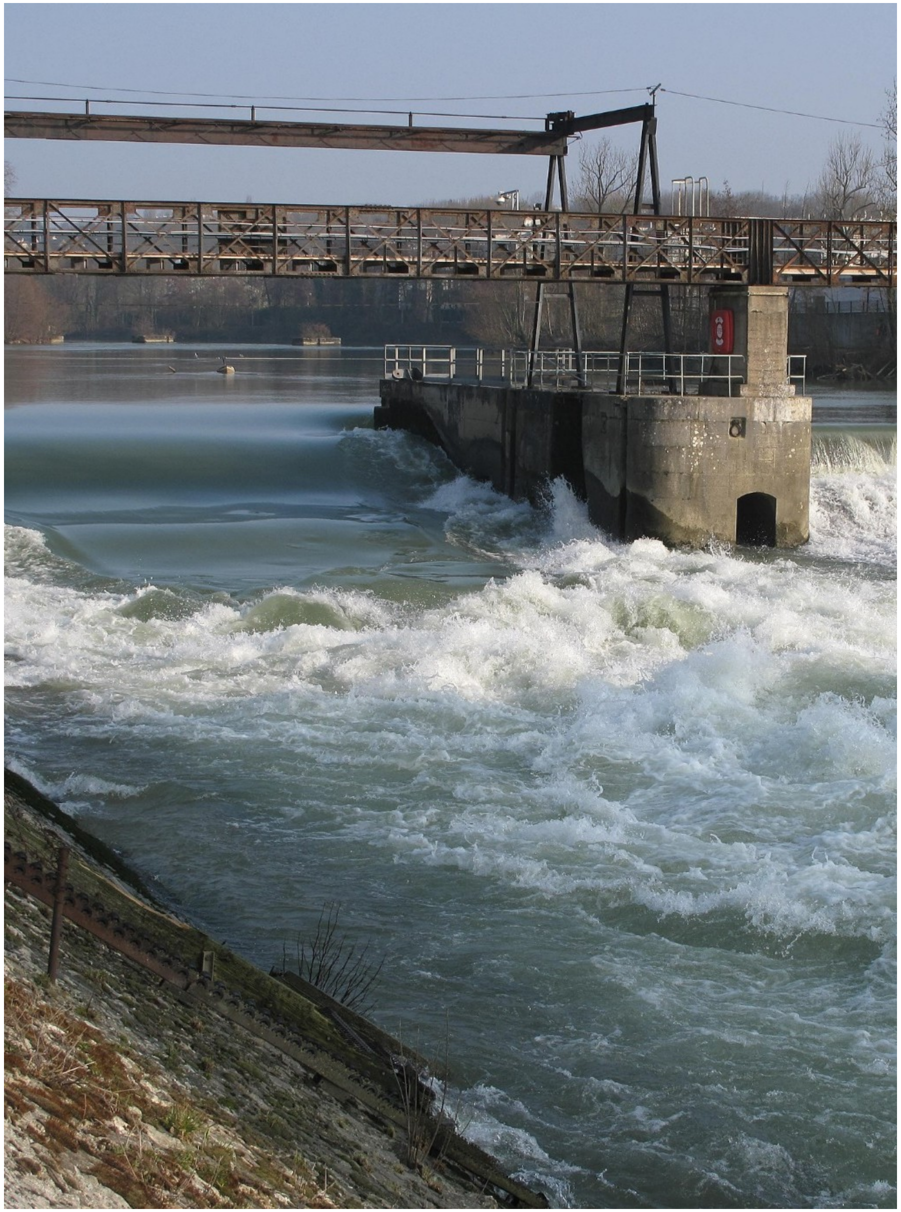

Gotthilf Hagen

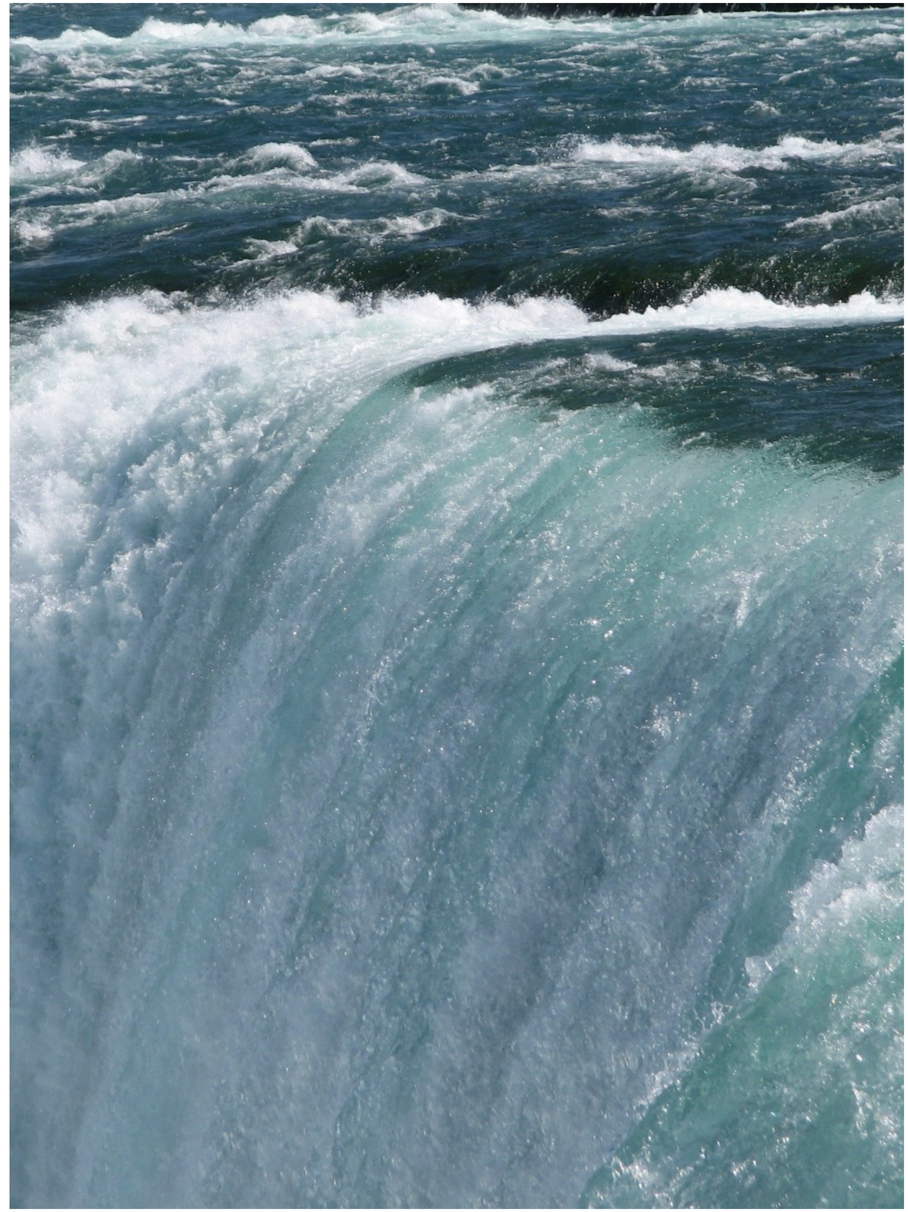

Jean L.M.Poiseuille


Osborne Reynolds


Vincenc Strouhal


“Turbulence is the most
important unsolved problem
of classical physics.”






http://flickr.com/photos/compleo


jackson