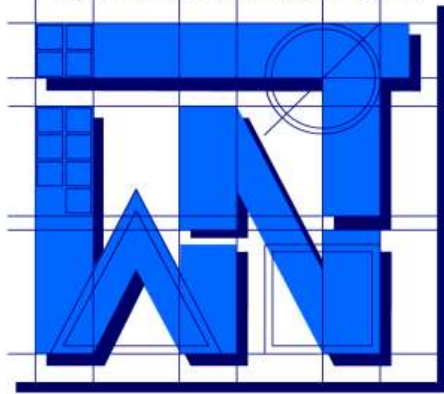


Wydział Nauk Technicznych



UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY IN OLSZTYN

The Faculty of Technical Sciences

POLAND, 10-957 Olsztyn, M. Oczapowskiego 11

tel.: (48)(89) 5-23-32-40, fax: (48)(89) 5-23-32-55

URL: <http://www.uwm.edu.pl/edu/sobieski/> (in Polish)

---

# MECHANIKA PŁYNÓW

Wprowadzenie

Wojciech Sobieski

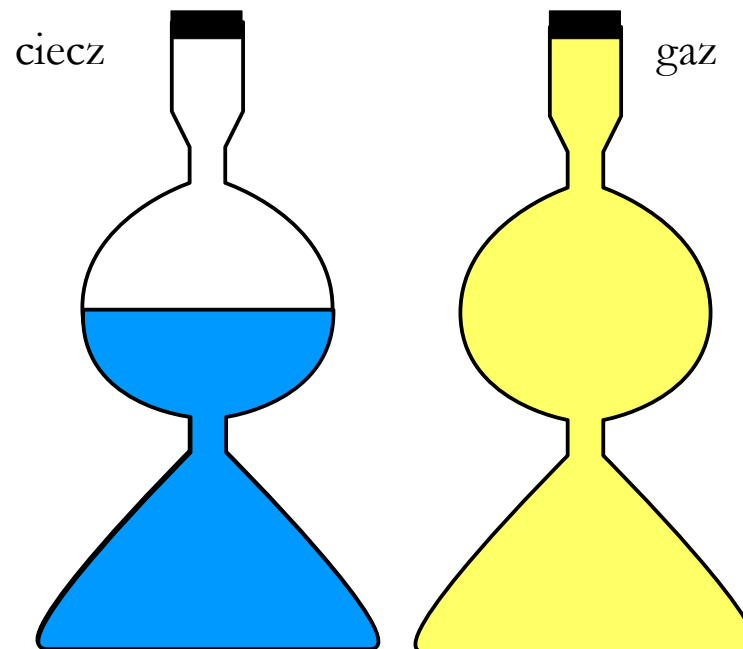
---

Olsztyn, 2013-2015

# Pojęcie Płynu

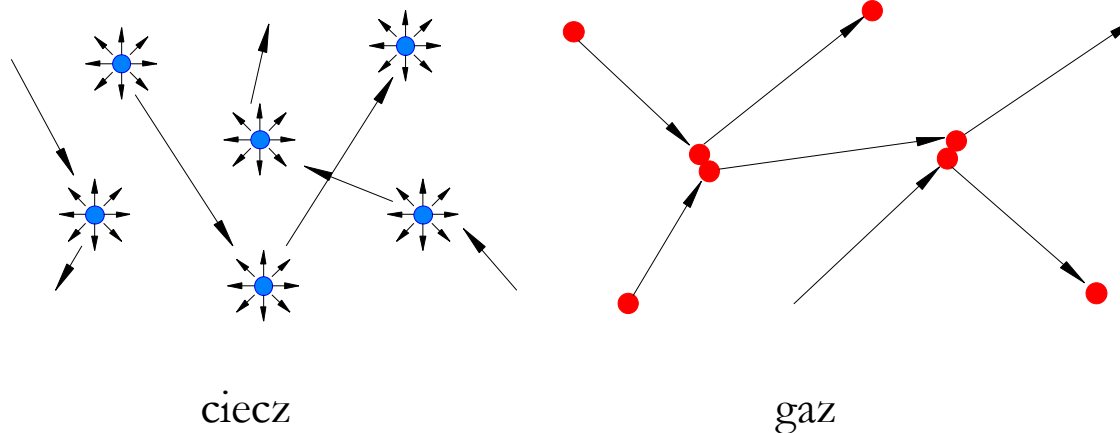
---

Według obecnie przyjętych definicji, płyn jest to rodzaj materii, która nie ma zdolności do zachowania trwałego kształtu. Płyny dzielą się na gazy, zajmujące zawsze całą możliwą do zapełnienia przestrzeń oraz na ciecze, zajmujące przestrzeń w ograniczonym wymiarze – zależnym od objętości cieczy.



# Ciecz

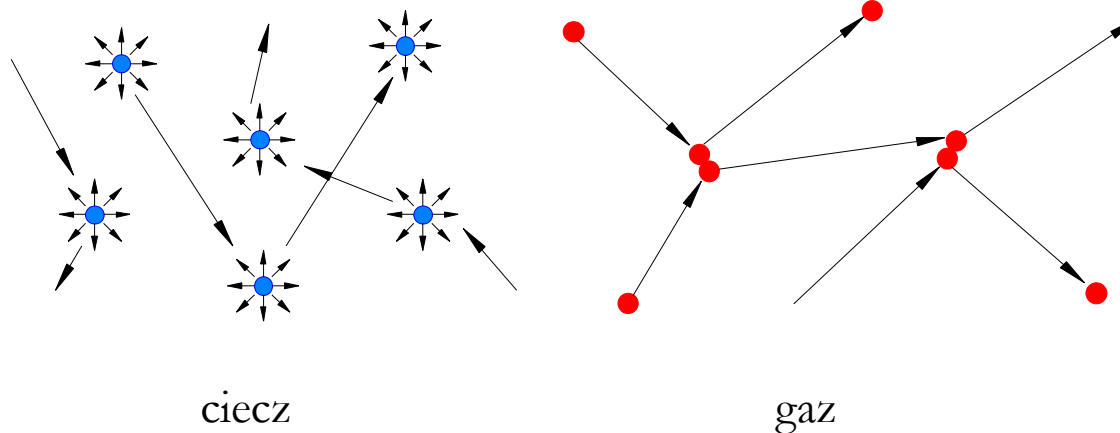
W przypadku cieczy, cząsteczki materii ulegają dwojakiemu rodzajowi ruchom: ruchom drgającym dookoła pewnego położenia średniego oraz ruchom przeskoku z jednego miejsca „pobytu” na inne. Czas jaki upływa pomiędzy przybyciem cząstki materii na jakieś miejsce a jej kolejnym przeskokiem nazywa się czasem „życia osiadłego”  $\tau_0$ . Podczas przeskoku cząstka przemieszcza się o odległość  $l_0$ .



# Gaz

---

W przypadku gazów cząstki materii poruszają się ruchem chaotycznym, bez możliwości spoczynku w jednym miejscu (czas „życia osiadłego” równy zero). Taki rodzaj ruchu doprowadza do częstych zderzeń między molekułami, które następnie wędrują swobodnie, aż do następnego zderzenia. Średnia odległość między miejscami kolejnych zderzeń określana jest jako „droga swobodna”  $l_0$ . Podkreślić należy, że średnia droga swobodna w gazach jest znacznie większa niż średnia droga przeskoku w cieczech.



# Gaz czy para?

---

**Gaz** jest pojęciem ogólnym określającym pewne własności substancji (jej stan skupienia).

**Para** jest pojęciem wskazującym, że czynnik o którym mowa znajduje się w stanie gazowym. Słowo „para” wymaga zatem podania informacji uzupełniającej o jaki to czynnik chodzi, np. para wodna (nasycona lub nienasycona), para benzyny, para rtęci itp.

Użycie słów gaz i para zależy od kontekstu.

Para w znaczeniu technicznym jest to gaz znajdujący się w warunkach bliskich przemianie fazowej (gdy niewielka zmiana parametrów może spowodować skroplenie).



# Warunek ciągłości

---

Mechanika Płynów zajmuje się ośrodkami spełniającymi następujące dwa warunki:

1. warunek ciągłości - przyjmuje się, że kryterium to jest spełnione wówczas, gdy wymiary liniowe ciał ograniczających przepływ są przynajmniej 100 razy większe niż średnia droga przeskoku (w przypadku cieczy) bądź średnia droga swobodna (w przypadku gazów).



$$Kn = \frac{L}{l_0} > 100$$

$Kn$  - liczba Knudsena [-]

$L$  - wymiary liniowe opływanych ciał [m]

$l_0$  - droga swobodna [m]

# Warunek płynności

---

Mechanika Płynów zajmuje się ośrodkami spełniającymi następujące dwa warunki:

2. warunek płynności – przyjmuje się, że warunek ten jest spełniony, gdy czas trwania siły działającej na materię jest dużo większy niż czas „życia osiadłego” molekuł.



$$\frac{t_F}{\tau_0} \gg 1$$

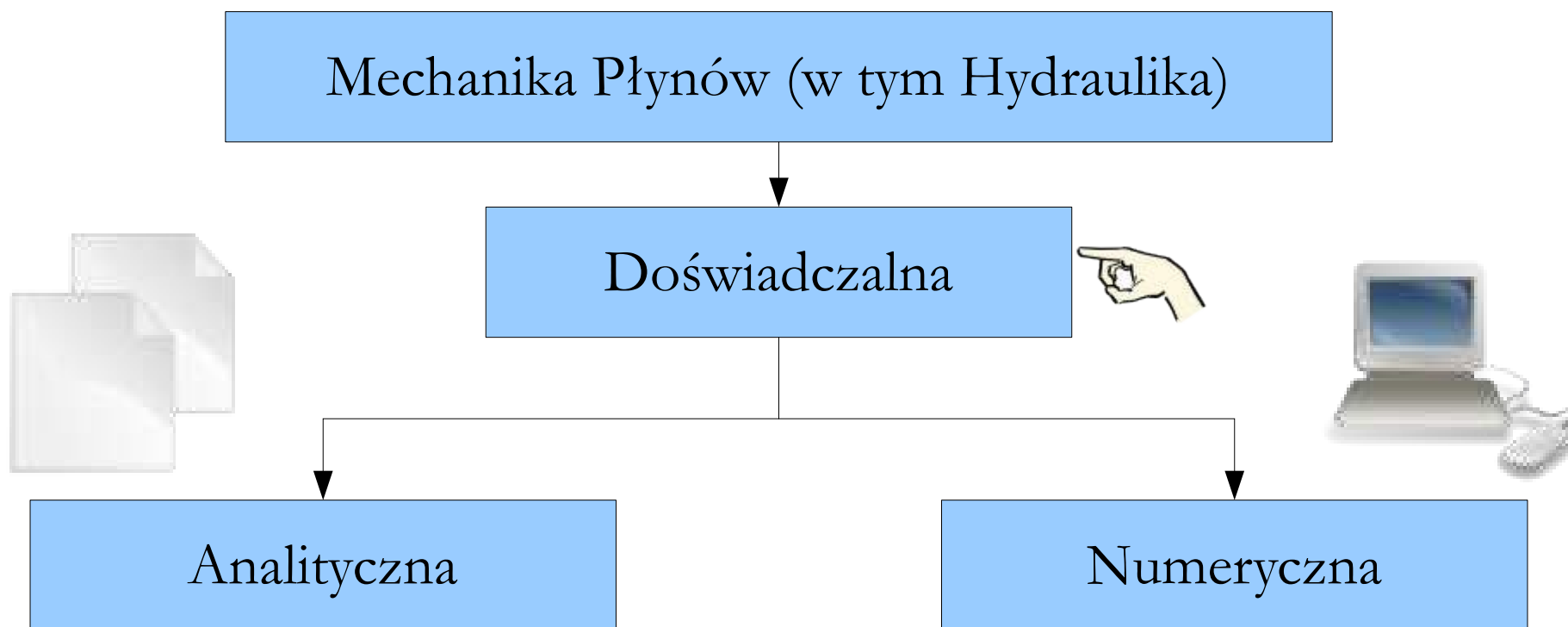
$t_F$  - czas działania sił zewnętrznych [s]

$\tau_0$  - czas „życia osiadłego” [s]

# Podział Mechaniki Płynów

---

**Mechanika Płynów** (Fluid Mechanics) – dział mechaniki ośrodków ciągłych zajmujący się analizą ruchu płynów. Przez płyny rozumie się tutaj zarówno ciecze jak i gazy.





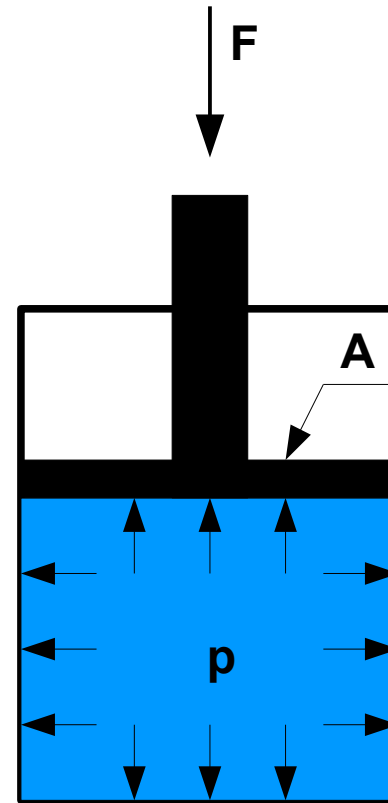
# Podział Mechaniki Płynów

Mechanika doświadczalna – zajmuje się poznawaniem prawideł rządzących w płynach za pomocą eksperymentów.



Blaise Pascal (1623-1662)  
i jego słynne prawo

$$p = \frac{F}{A}$$
$$[Pa] = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$



# Podział Mechaniki Płynów

Mechanika analityczna – zajmuje się matematycznym zapisem prawideł zaobserwowanych w eksperymentach oraz teoretycznymi rozważaniami dotyczącymi różnych sytuacji hipotetycznych.

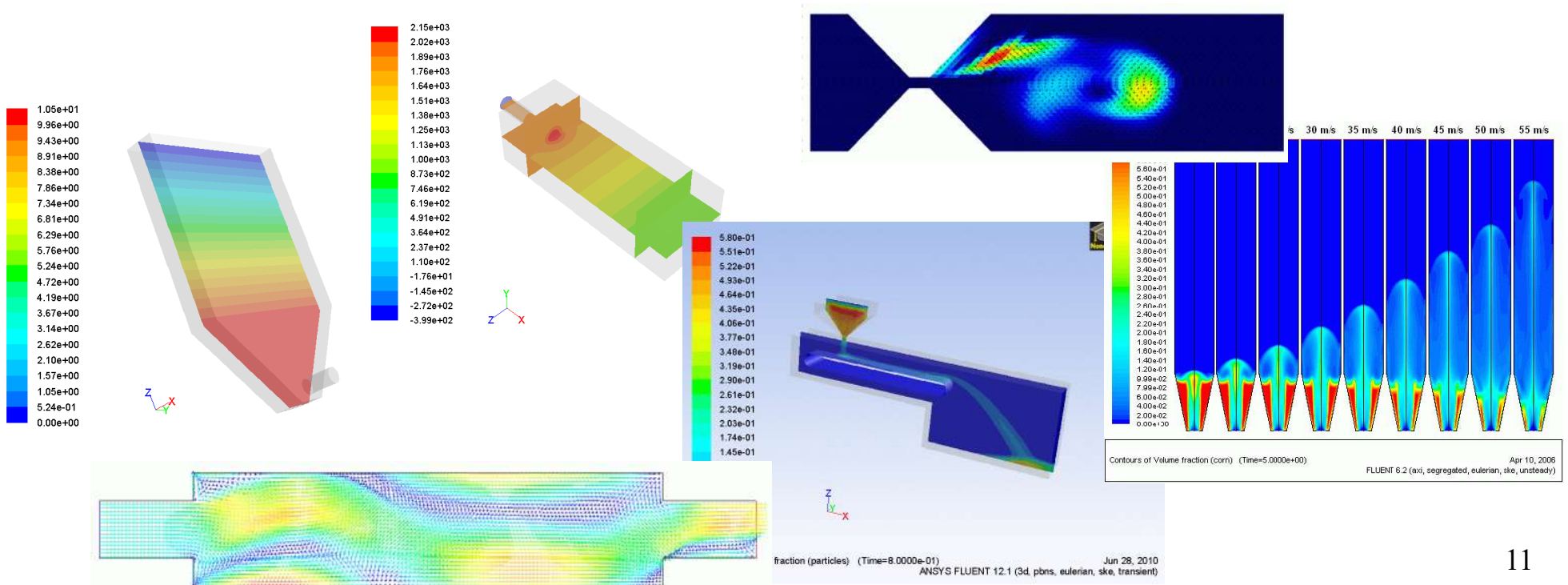


$$\begin{aligned} & \rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \\ & \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \nabla \cdot \mathbf{V} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \\ & \rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \\ & \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \nabla \cdot \mathbf{V} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ & \rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \\ & \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[ 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \nabla \cdot \mathbf{V} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \end{aligned}$$

Claude-Louis Navier (1785-1836), Sir George Gabriel Stokes (1819-1903)  
i słynne równanie Naviera-Stokesa

# Podział Mechaniki Płynów

Mechanika numeryczna – zajmuje się rozwojem technik symulacyjnych (głównie modeli matematycznych i algorytmów), umożliwiającą przewidywanie zachowania się różnych układów przepływowych bez konieczności budowania stanowisk badawczych i wykonywania kosztownych eksperymentów.



# Temperatura

---

**Temperatura** – miara średniej energii kinetycznej ruchu atomów lub cząsteczek. Ruch ten może być postępowy i drgający w przypadku atomów lub dodatkowo obrotowy oraz wynikający z drgań wewnętrznych (zmiana odległości między atomami w cząsteczce) w przypadku cząsteczek. Wzrost temperatury powoduje wzrost średniej energii kinetycznej każdego z rodzajów ruchu. Dlatego np. dwuatomowy gaz z większą liczbą stopni swobody wymaga większego wkładu energii do zmiany temperatury, co oznacza, że posiada większą pojemność cieplną niż gaz jednoatomowy.

Stan, w którym energia kinetyczna cząsteczek przyjmuje najmniejszą możliwą wartość nazywa się zerem bezwzględnym. Ciało o temperaturze zera bezwzględnego nie posiada zdolności do przekazania ciepła innym ciałom.

# Temperatura

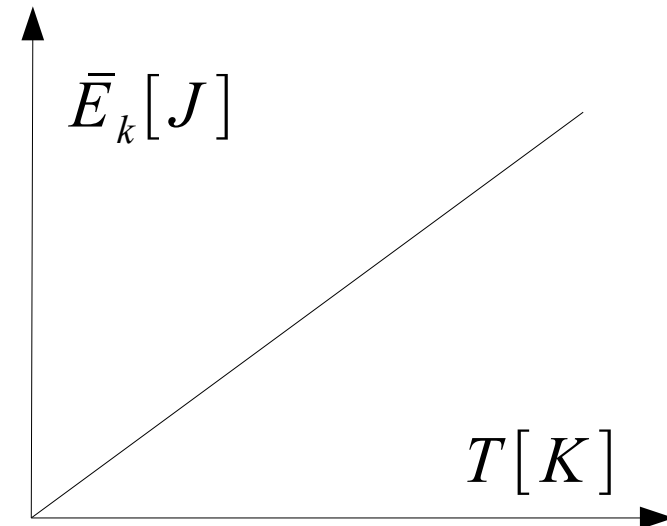
---

W pewnym uproszczeniu (wg tzw. kinetycznej teorii gazów) można przyjąć, że średnia energia kinetyczna cząstek oraz temperatura bezwzględna są do siebie proporcjonalne. Oznacza to, że w temperaturze zera absolutnego zanika wszelki ruch cząstek.

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$$

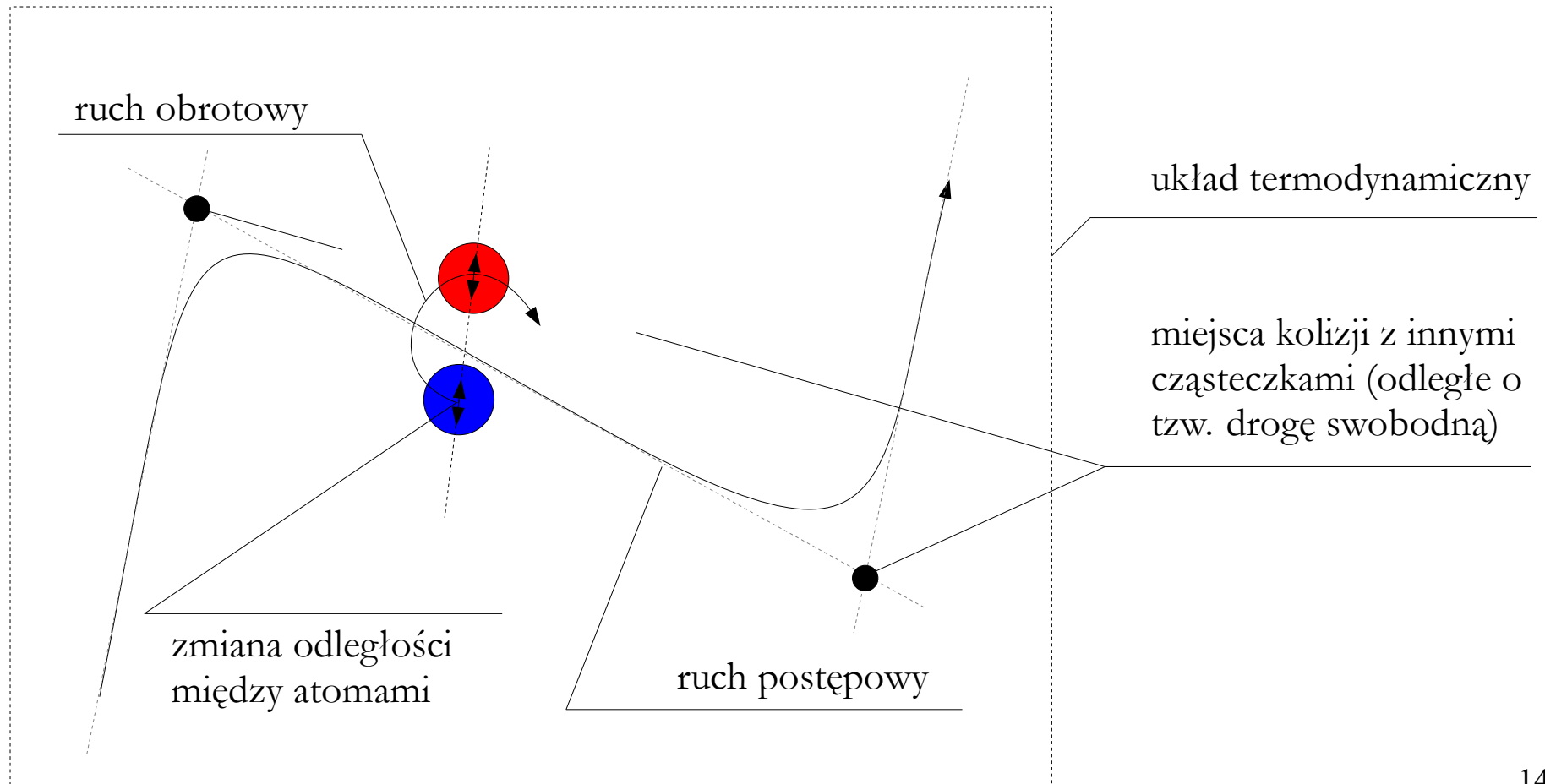
gdzie tzw. stała Boltzmannna

$$k = 1.3806 \cdot 10^{-23} \left[ \frac{J}{K} \right]$$



# Rodzaje energii kinetycznej cząstek

Schemat ruchów cząsteczki gazu dwuatomowego (np.  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ )



# Skale temperatury

---

**Skala temperatury** – skala pozwalająca mierzyć i porównywać temperatury dowolnych układów termodynamicznych.

**Względne skale temperatur** – skale, w których podziałka skali oraz położenie punktu zerowego uzależnia się od konkretnych i łatwych do zaobserwowania zjawisk fizycznych. Przykładem może być skala Celsjusza lub skala Fahrenheita.

**Bezwzględne skale temperatur** – skale, w których punkt zerowy pokrywa się z tzw. zerem bezwzględnym. Podziałka skali może być przyjmowana dowolnie, a skala taka nie jest związana bezpośrednio z żadnym konkretnym czynnikiem termodynamicznym. Przykładem może być skala Kelwina lub skala Rankina.

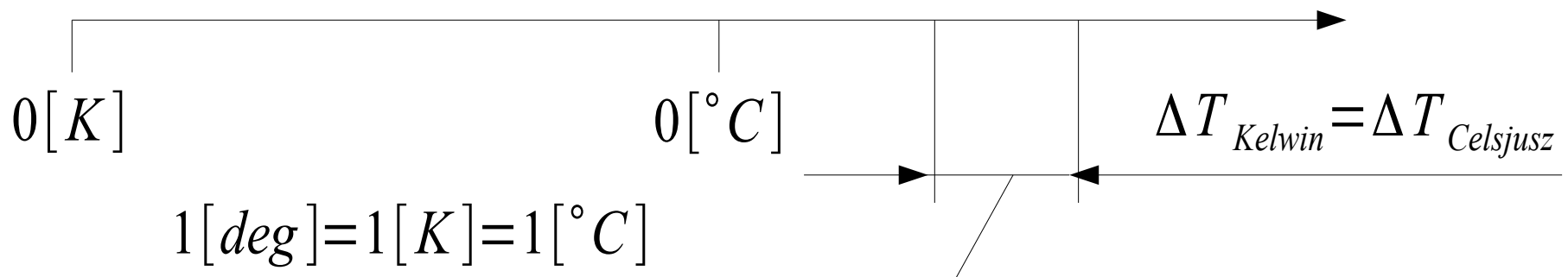
# Skale temperatury

---

**Skala Kelvina** – bezwzględna skala termometryczna, w której zero równe jest zeru bezwzględnemu a jednostka równa jest stopniowi skali Celsjusza.

**Skala Celsjusza** – względna skala termometryczna, w której stopień skali zdefiniowany jest jako jedna setna różnicy temperatur topnienia lodu i wrzenia wody przy ciśnieniu normalnym.

$$T_{\text{Kelvin}} = 273.15 + T_{\text{Celsjusz}}$$





# Skale temperatury

---

**Skala Rankine'a** – bezwzględna skala termometryczna, w której zero równe jest zeru bezwzględnemu a jednostka równa jest stopniowi skali Fahrenheita.

$$T_{Kelvin} = \frac{5}{9} \cdot (T_{Rankine})$$

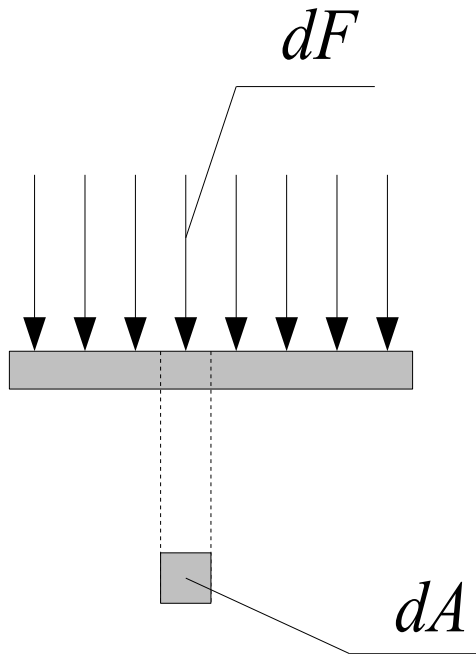
**Skala Fahrenheita** – względna skala termometryczna, w której zero stopni odpowiada najniższej temperaturze zanotowanej w Gdańsku, rodzinnym mieście Fahrenheita, w zimie 1708-1709, zaś sto stopni odpowiada średniej temperaturze ciała ludzkiego.

$$T_{Kelvin} = \frac{5}{9} \cdot (T_{Fahrenheit} - 32) + 273.15$$

# Ciśnienie

**Ciśnienie** – wielkość skalarna określona jako granica stosunku nieskończenie małej siły powierzchniowej  $\Delta P$  do elementu powierzchni  $\Delta A$ , na który ona działa:

$$p = \lim_{A \rightarrow A_{gr}} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

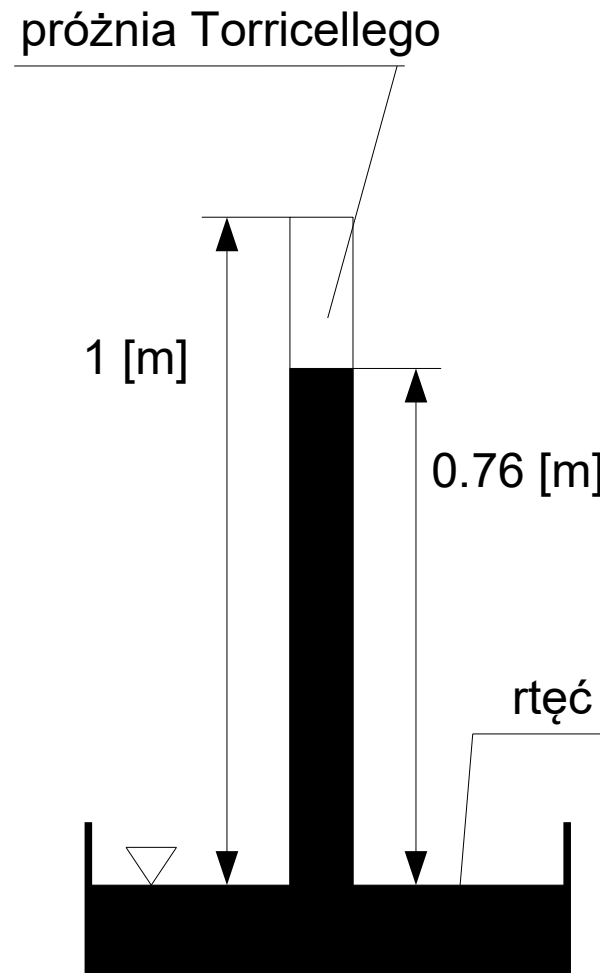
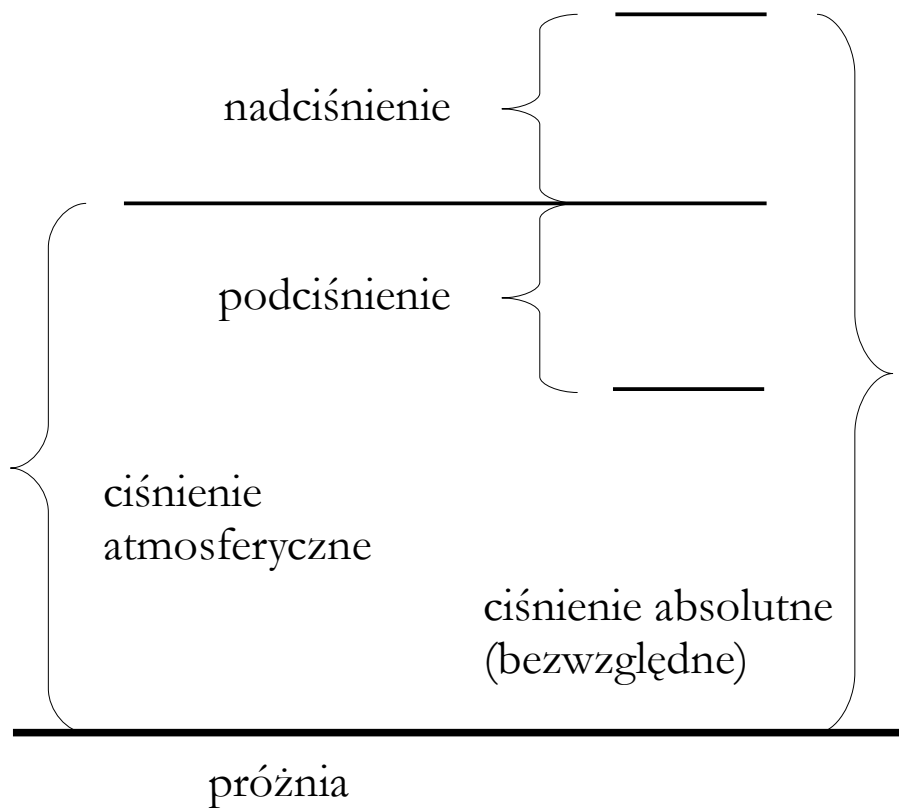


$$[Pa] = \left[ \frac{N}{m^2} \right] = \left[ \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot \frac{1}{m^2} \right]$$

$$\begin{aligned} & [\text{bar}] \\ & [mm_{H_2O}] \\ & [mm_{Hg}] = [Tor] \\ & [at] \\ & [atm] \end{aligned}$$

$A_{gr}$  - powierzchnia (skala przestrzenna), dla której ośrodek traci ciągłość  $[m^2]$

# Ciśnienie względne i bezwzględne



# Ciśnienie statyczne (statyka)

---



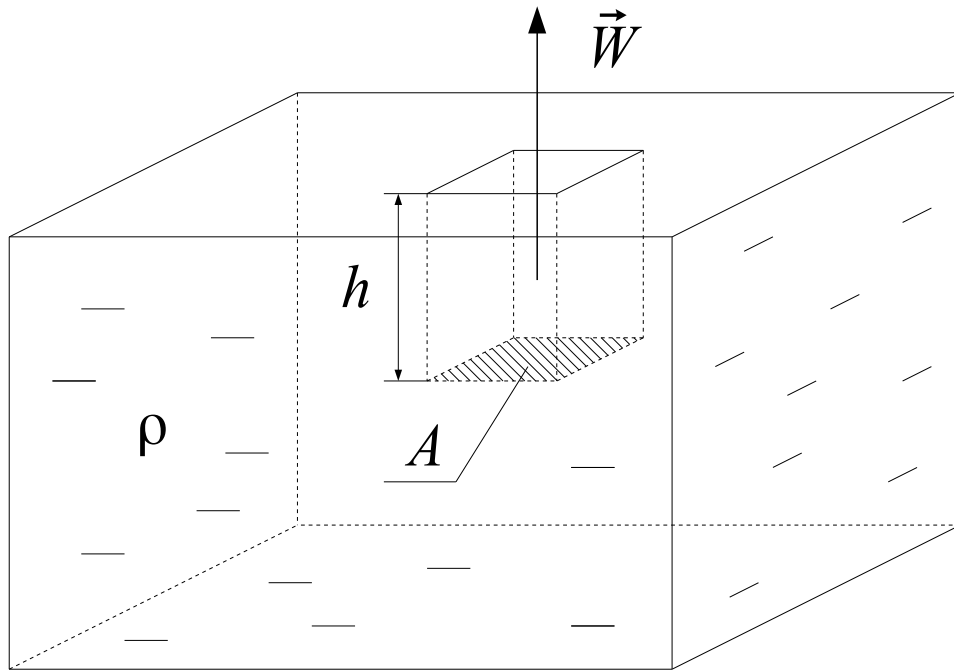
**Ciśnienie statyczne** (dla płynów pozostających w spoczynku) – ciśnienie wynikające z ciężaru płynu znajdującego się w polu grawitacyjnym.

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

$\rho$  - gęstość płynu  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$   
 $g$  - przyspieszenie ziemskie  $\left[ \frac{m}{s^2} \right]$   
 $h$  - wysokość słupa płynu  $[m]$

$$\left[ \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m \right] = \left[ \frac{kg \cdot m}{s^2} \cdot \frac{1}{m^2} \right] = \left[ \frac{N}{m^2} \right]_{20}$$

# Ciśnienie statyczne (statyka)



Wartość siły wyporu  
z prawa Archimedesesa:

$$W = \rho \cdot g \cdot V \quad \leftarrow \quad V = A \cdot h$$

$$W = \rho \cdot g \cdot A \cdot h \quad / A$$

$$\frac{W}{A} = \rho \cdot g \cdot h \quad \left[ \frac{N}{m^2} \right] = [Pa]$$

Siła przez powierzchnię to z  
definicji ciśnienie.

# Ciśnienie dynamiczne

---

**Ciśnienie dynamiczne** – jest to jednostkowa siła powierzchniowa, jaką przepływający płyn wywiera na ciało w nim się znajdujące.

$$p_d = \frac{\rho \cdot \vec{v}^2}{2}$$

$$\rho \quad - \text{ gęstość płynu} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\vec{v} \quad - \text{ prędkość płynu} \quad \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$



$$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^2} \right] = \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

# Ciśnienie statyczne (dynamika)

---

**Ciśnienie statyczne** (dla płynów w ruchu) – ciśnienie jakie rejestrowałby czujnik poruszający się z tą samą prędkością i w tym samym kierunku co struga płynu.

**Ciśnienie całkowite** (dla płynów w ruchu) – suma ciśnienia statycznego oraz ciśnienia dynamicznego:

$$p_c = p_s + p_d$$

$p_c$  - ciśnienie całkowite

$p_s$  - ciśnienie statyczne

$p_d$  - ciśnienie dynamiczne

}  $[Pa]$

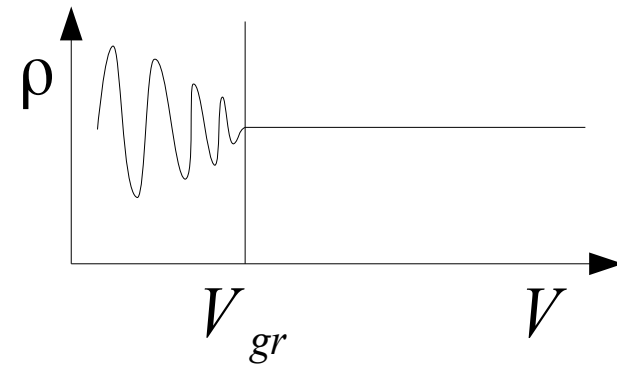


# Gęstość

---

**Gęstość** – wielkość skalarna określona jako granica stosunku nieskończenie małej masy  $\Delta m$  do elementarnej objętości  $\Delta V$ :

$$\rho = \lim_{V \rightarrow V_{gr}} \frac{\Delta m}{\Delta V} = \frac{dm}{dV} \equiv \frac{m}{V} \quad \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$



**Gęstość:**

ile kilogramów danej substancji znajduje się w 1 m<sup>3</sup>?

---

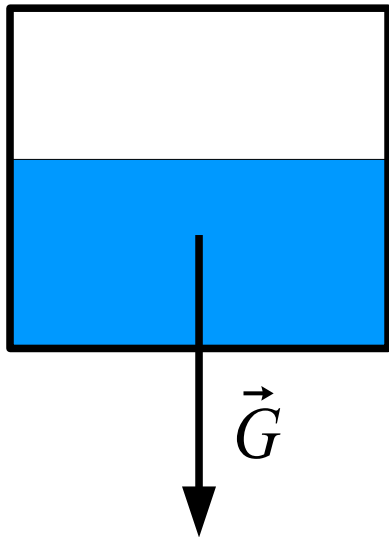
**płyn nieściśliwy:** ciecz pod małym ciśnieniem, gaz przy małej prędkości

**płyn ściśliwy:** ciecz pod dużym ciśnieniem, gaz przy dużej prędkości



# Ciężar

**Siła ciężkości** (pot. ciężar) – siła z jaką Ziemia lub inne ciało niebieskie przyciąga dane ciało, w układzie odniesienia związanym z powierzchnią ciała niebieskiego.



$$G = m \cdot g = (\rho \cdot V) \cdot g$$

$$\left[ \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right] = [N]$$

# Ciężar właściwy

---

**Ciężar właściwy** – wielkość skalarna określona jako granica stosunku nieskończenie małego ciężaru masy  $\Delta(m \cdot g)$  do elementarnej objętości  $\Delta V$ :

$$\gamma = \lim_{V \rightarrow V_{gr}} \frac{\Delta(m \cdot g)}{\Delta V} = \frac{d(m \cdot g)}{dV} \equiv \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

$$\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] = \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^3} \right] = \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right]$$



**Ciężar właściwy:**

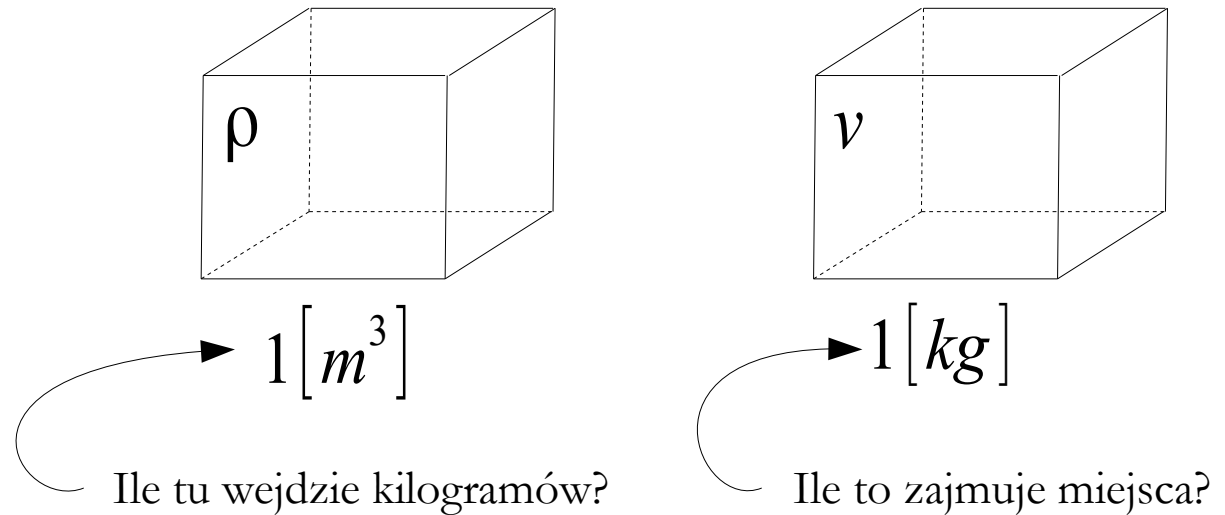
jaka jest siła nacisku masy materii znajdującej się w  $1 \text{ m}^3$ ?

# Objętość właściwa

---

Objętość właściwa – odwrotność gęstości

$$v = \frac{1}{\rho} \left[ \frac{m^3}{kg} \right]$$



**Objętość właściwa:**

jaka musi być objętość, aby zmieścił się w niej 1 kg danej substancji?

# Współczynnik ściśliwości

---

**Współczynnik ściśliwości** – określa odporność materii na zmianę objętości pod wpływem zmiany ciśnienia (zakłada się ściskanie)

$$B = -\frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dp} \quad \left[ \frac{1}{Pa} \right] = \left[ \frac{m^2}{N} \right]$$

$$V_2 = V_1 \cdot (1 - B \cdot \Delta p) \quad - \text{objętość po zmianie ciśnienia } [m^3]$$

$$\Delta V = -V_1 \cdot B \cdot \Delta p \quad - \text{przyrost objętości po zmianie ciśnienia } [m^3]$$

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1 - B \cdot \Delta p} \quad - \text{gęstość po zmianie ciśnienia } \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$$

# Temperaturowy współczynnik rozszerzalności

---

**Temperaturowy współczynnik rozszerzalności** (objętościowej lub liniowej) – określa odporność materii na zmianę objętości pod wpływem zmian temperatury (zakłada się ekspansję)

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dT} \quad \left[ \frac{1}{K} \right]$$



$$V_2 = V_1 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

- objętość po zmianie temperatury  $[m^3]$

$$\Delta V = V_1 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

- przyrost objętości po zmianie temperatury  $[m^3]$

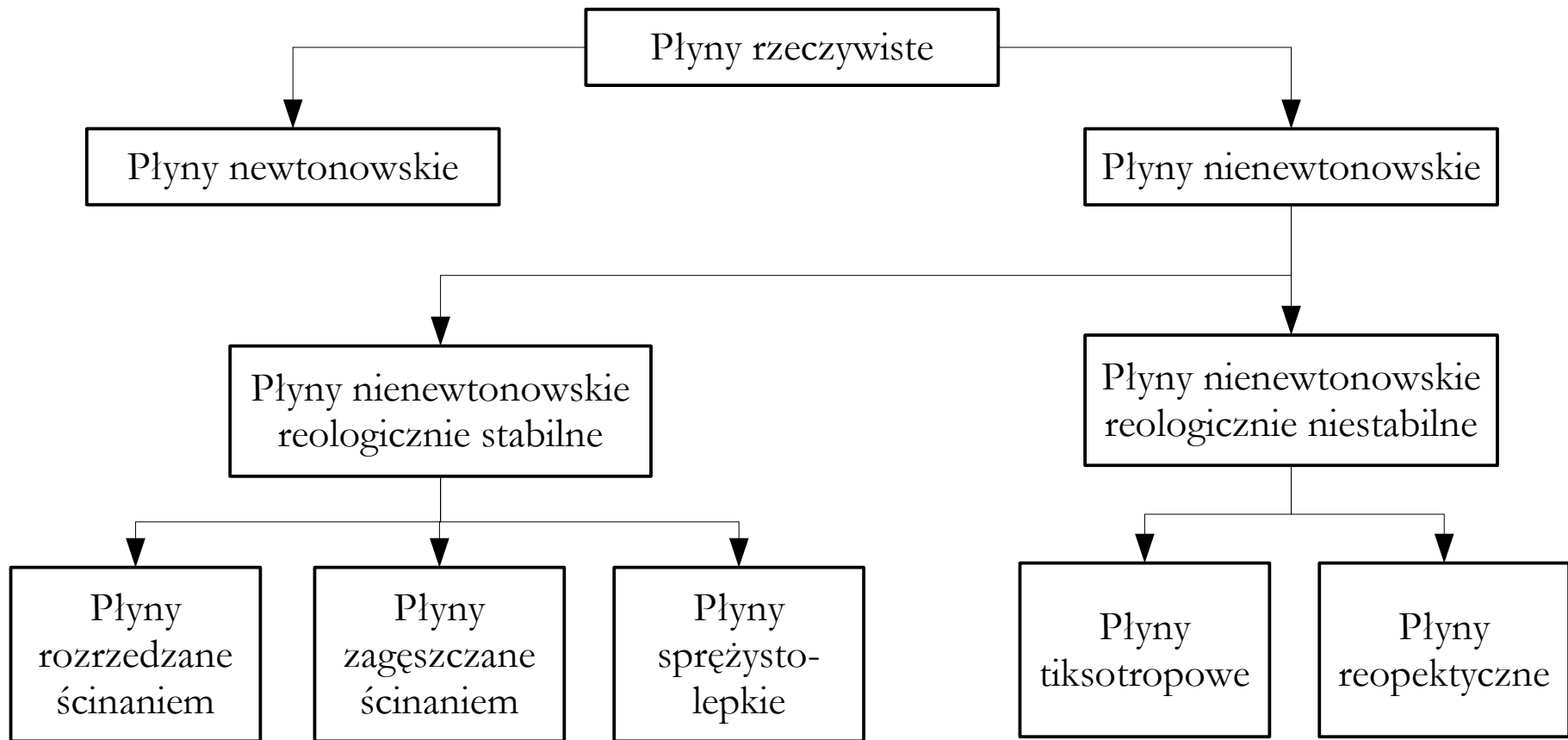
$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1 + \alpha \cdot \Delta T}$$

- gęstość po zmianie temperatury  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

# Lepkość

---

**Lepkość** – zdolność płynu do przenoszenia naprężeń stycznych.



# Płyny newtonowskie

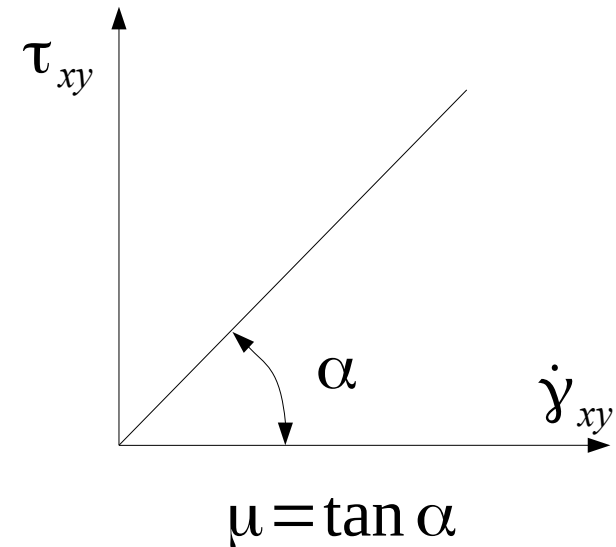
**Płyn newtonowski** – płyn w którym naprężenia styczne są liniową funkcją prędkości ścinania.

$$\tau_{xy} = \mu \dot{\gamma}_{xy} \quad [Pa]$$

$\tau_{xy}$  - naprężenia styczne w płaszczyźnie xy  $[Pa]$

$\dot{\gamma}_{xy}$  - prędkość ścinania w płaszczyźnie xy  $\left[\frac{1}{s}\right]$

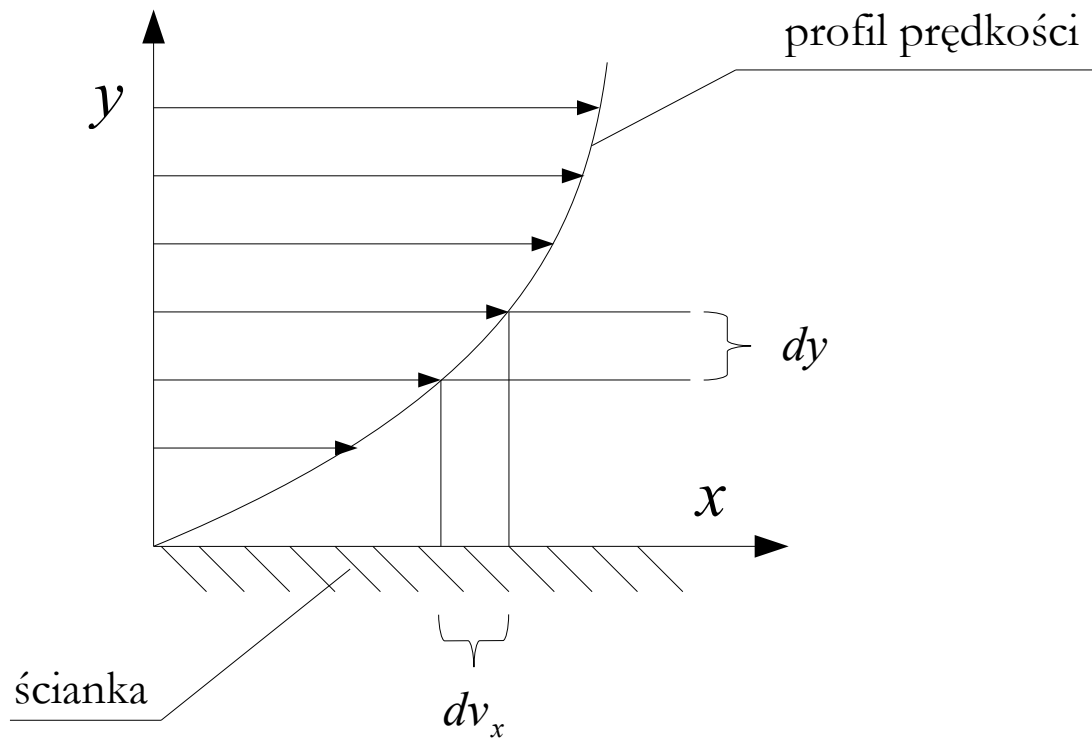
$\mu$  - współczynnik lepkości dynamicznej  $[Pa \cdot s]$



$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \left[\frac{m^2}{s}\right] \quad - \text{kinematyczny współczynnik lepkości}$$

# Płyny newtonowskie

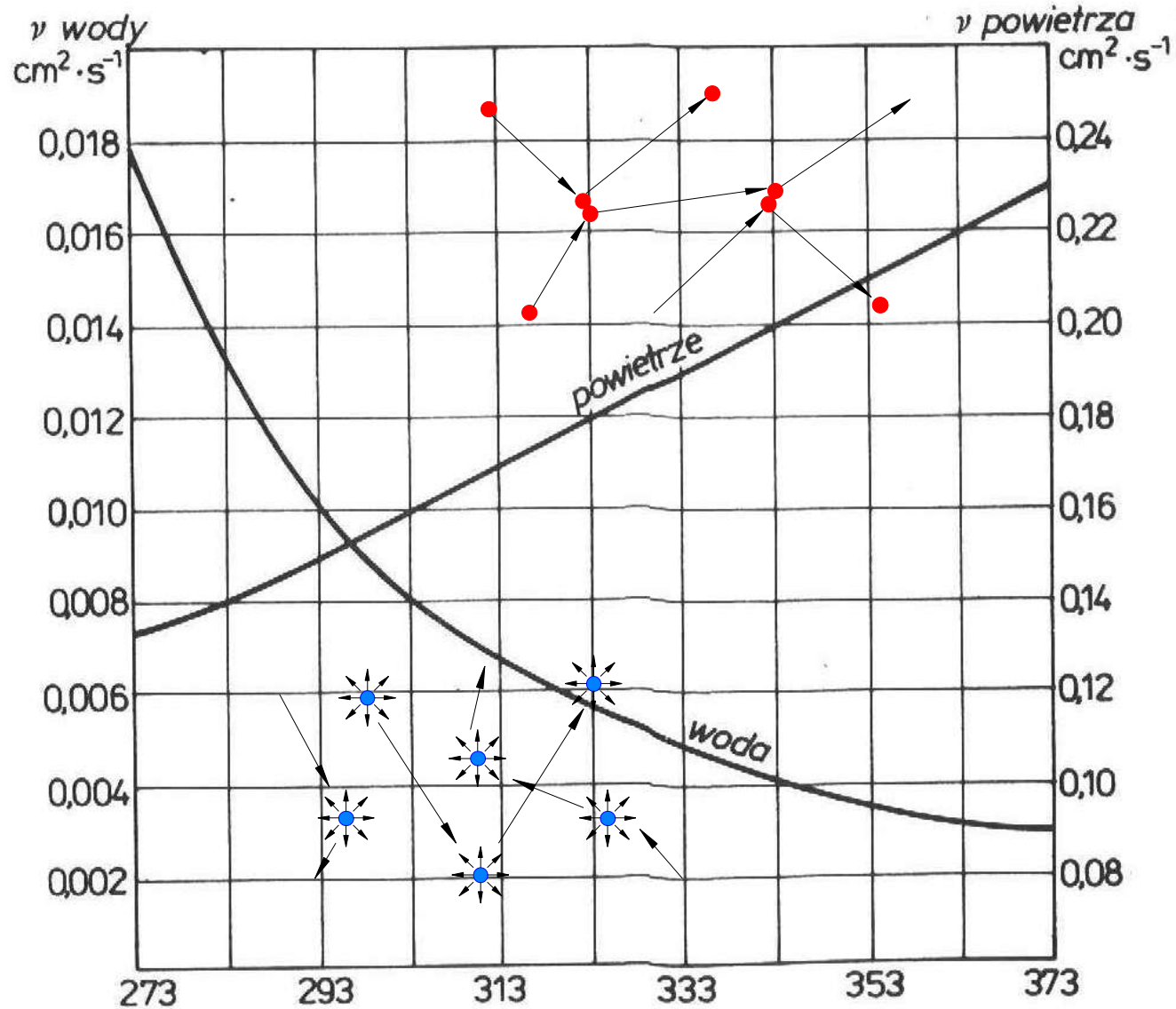
**Prędkość ścinania** – miara lokalnego gradientu prędkości w kierunku (lub kierunkach) prostopadłym do kierunku ruchu płynu.



$$\dot{\gamma}_{xy} = \frac{dv_x}{dy}$$



# Płyny newtonowskie

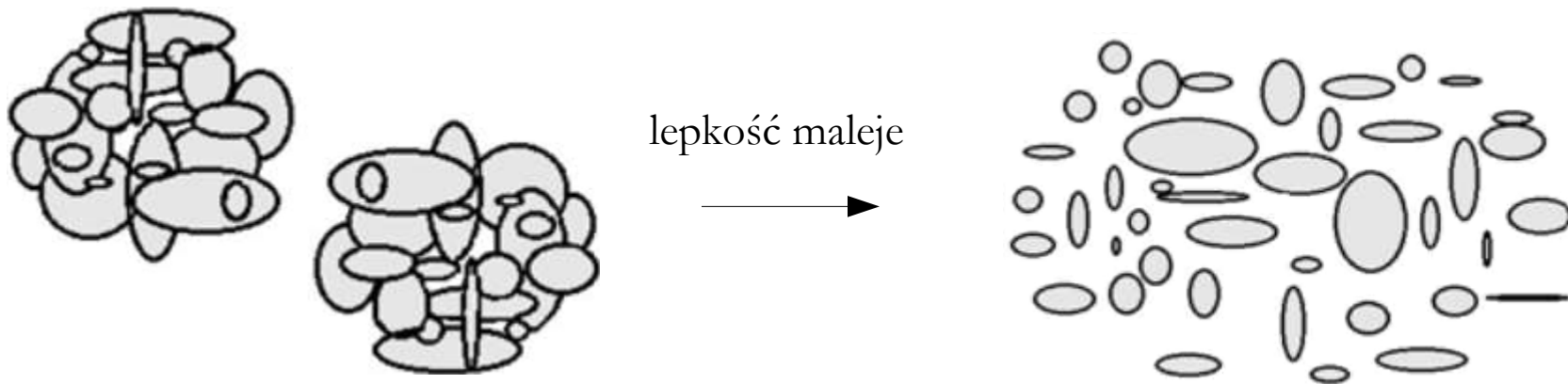


Współczynnik lepkości dynamicznej w funkcji temperatury

# Płyny nienewtonowskie reologicznie stabilne

---

**Płyny rozrzedzane ścinaniem** (pseudoplastyczne) mają skłonność, w wyniku oddziaływania międzycząsteczkowego, do tworzenia się zespołów cząsteczek. Na skutek wzrostu prędkości ścinania, wzrasta wartość naprężenia a co za tym idzie utworzone zespoły międzycząsteczkowe rozpadają się i lepkość cieczy spada. Czasami rozpad rozpoczyna się dopiero po osiągnięciu tzw. granicy płynięcia.



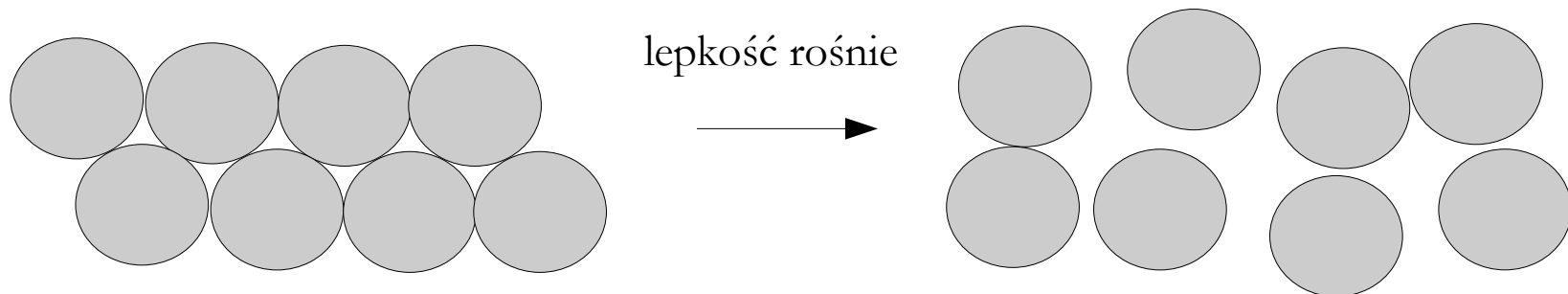
Cząstki w spoczynku

Cząstki w ruchu

# Płyny nienewtonowskie reologicznie stabilne

---

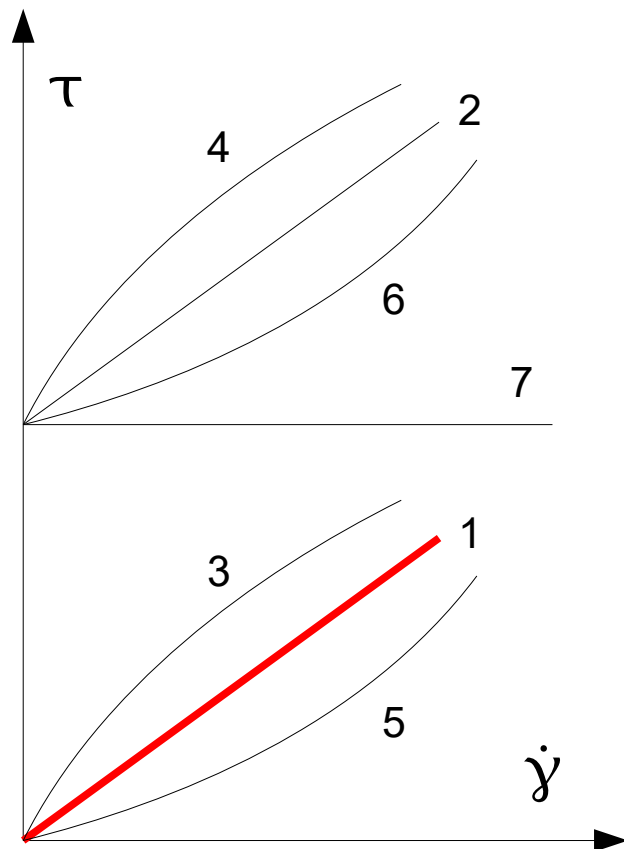
**Płyny zagęszczane ścinaniem** (dylatacyjne) w stanie spoczynku są silnie upakowane. Przy małej wartości szybkości ścinania, siły tarcia między cząstkami są małe, ponieważ znajdująca się między nimi ciecz działa jak smar. Wraz ze wzrostem szybkości ścinania następuje przemieszczanie się drobin, co skutkuje wzrostem odległości między nimi. Ciecz nie jest w stanie zapełnić zwiększonej przestrzeni międzyziarnowej i właściwości smarnej cieczy ulegają zmniejszeniu.



Cząstki w spoczynku

Cząstki w ruchu

# Płyny reologicznie stabilne



1 – płyn newtonowski (woda, benzyna, oleje)

2 – płyn Bingham – jest to płyn, który do pewnej wartości sił stycznych zachowuje się jak ciało stałe. Dopiero po przekroczeniu tej wartości następuje zniszczenie struktury wewnętrznej i rozpoczyna się przepływ według liniowej zależności między naprężeniami stycznymi a prędkością ścinania.

3 – płyn rozrzedzany ścinaniem (polimery, krew, część farby, większość emulsji, ścieki, smary) – jest to płyn, w którym lepkość zmniejsza się wraz ze wzrostem gradientu prędkości.

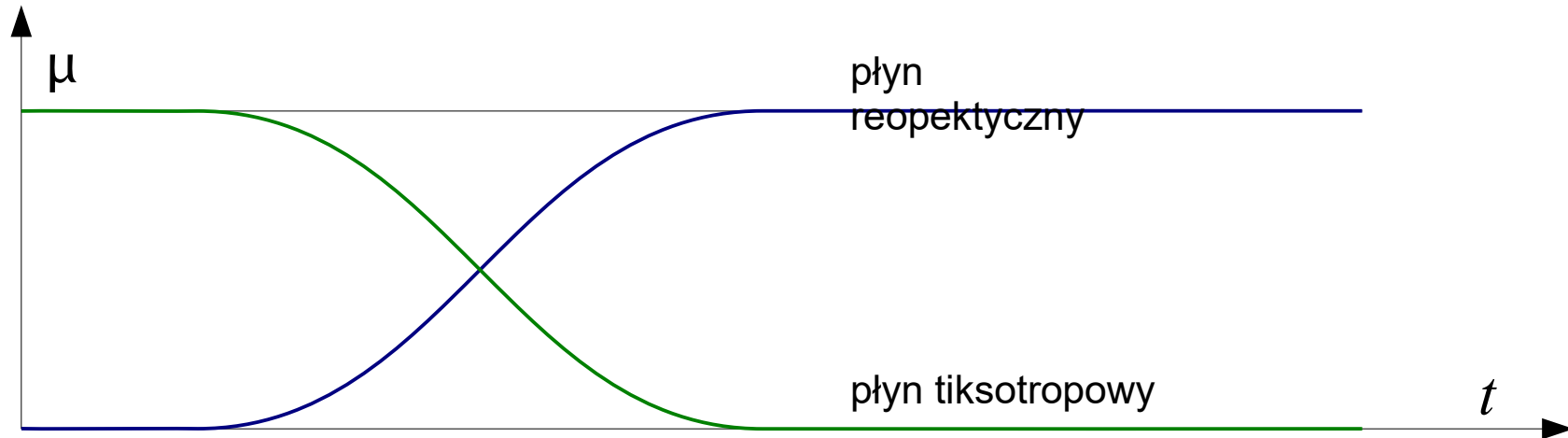
4 – płyn rozrzedzany ścinaniem z granicą płynięcia – jak (3), z tym, że do pewnej wartości sił stycznych zachowuje się jak ciało stałe.

5 – płyn zagęszczany ścinaniem (mieszanki piasku i wody, piaski lotne) – jest to płyn, w którym lepkość wzrasta wraz ze wzrostem gradientu prędkości.

6 – płyn zagęszczany ścinaniem z granicą płynięcia – jak (5), z tym, że do pewnej wartości sił stycznych zachowuje się jak ciało stałe.

7 – idealny pseudoplastik – jest to płyn, w którym lepkość nie zależy od prędkości ścinania.

# Płyny reologicznie niestabilne



**płyny tiksotropowe** (większość farb, żel silikonowy, mleko, atrament, smary) – płyny, w których lepkość dynamiczna zmniejsza się z czasem.

**płyny reopektyczne** (beton, asfalt, gipsy w wodzie, kleje, melasy, krochmal) – płyny, w których lepkość dynamiczna zwiększa się wraz z upływem czasu.

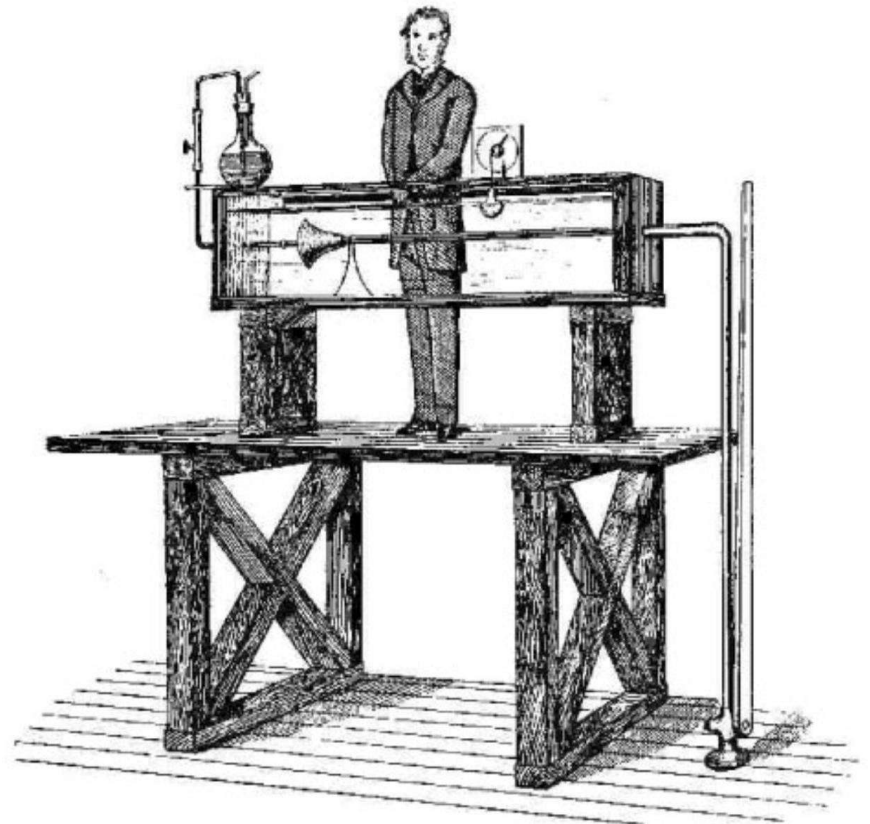
# Pojęcie turbulencji

---

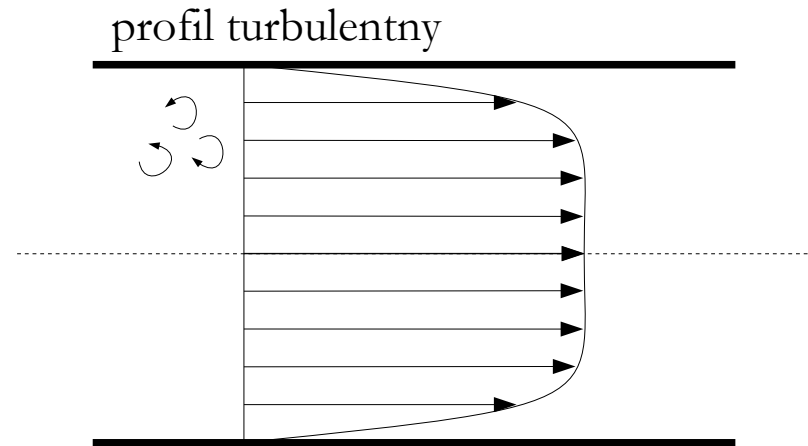
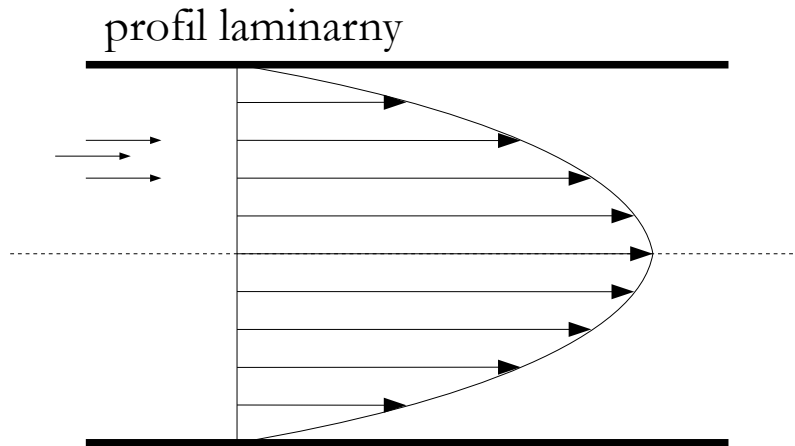
**Turbulencja** – fluktuacje pola prędkości (o różnych skalach przestrzennych) istotnie wpływające na zachowanie się płynu.



Osborne Reynolds (1842-1912)  
i jego słynne stanowisko badawcze



# Ruch laminarny i turbulentny



$$Re = \frac{c \cdot l}{\nu} = \frac{c \cdot d}{\nu}$$

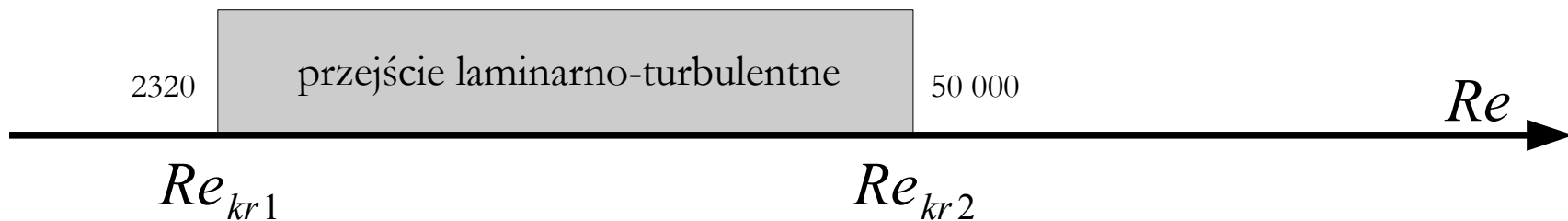
dla rury o przekroju kołowym

$$Re_{kr1} < 2320$$

- przepływ laminarny

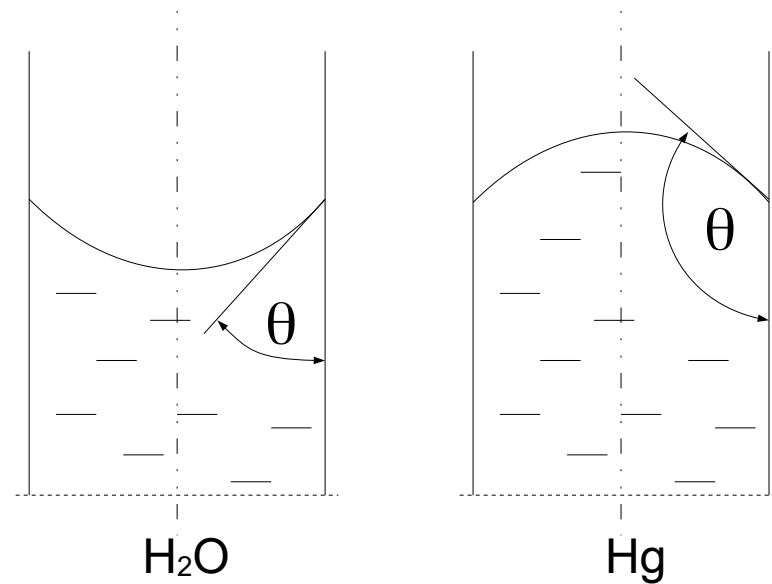
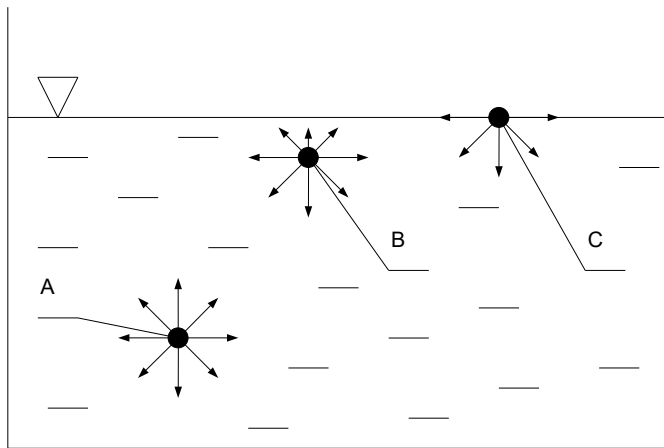
$$Re_{kr1} > 2320$$

- przepływ turbulentny



# Napięcie powierzchniowe

**Napięcie powierzchniowe** – zjawisko polegające na powstaniu dodatkowych sił na powierzchni niemieszających się płynów, wynikające z oddziaływania międzycząsteczkowego.





# Podsumowanie

---

## Zagadnienia:

Płyn, ciecz, gaz, para, ciągłość, płynność, liczba Knudsen, podział mechaniki płynów, temperatura, rodzaje energii kinetycznej cząstek, skale temperatur, ciśnienie, nadciśnienie, podciśnienie, ciśnienie względne i bezwzględne (całkowite), ciśnienie statyczne, ciśnienie dynamiczne, ciśnienie całkowite, gęstość, ciężar, ciężar właściwy, objętość właściwa, współczynnik ściśliwości, temperaturowy współczynnik rozszerzalności, lepkość, modele płynów, płyny newtonowskie, współczynnik lepkości dynamicznej, kinematyczny współczynnik lepkości, płyny reologicznie stabilne, płyny reologicznie niestabilne, turbulencja, ruch laminarny i turbulentny, profil prędkości, liczba Reynoldsa, krytyczne wartości liczby Reynoldsa, napięcie powierzchniowe.

UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY IN OLSZTYN  
The Faculty of Technical Sciences  
POLAND, 10-957 Olsztyn, M. Oczapowskiego 11  
tel.: (48)(89) 5-23-32-40, fax: (48)(89) 5-23-32-55  
URL: <http://www.uwm.edu.pl/edu/sobieski/> (in Polish)

---

**Dziękuję za uwagę**

**Wojciech Sobieski**

---

Olsztyn, 2013-2015