



Wrocław  
University  
of Science  
and Technology

# Fizyka

## semestr zimowy

### 2020/2021

**Grupa B: Piątek, 15:00 - 16:30**

**Grupa A: Piątek, 16:40 - 18:10**

**sala wirtualna**

**– zajęcia online**

**Sylwia Majchrowska**

**[sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl](mailto:sylwia.majchrowska@pwr.edu.pl)**

**<https://majsylw.netlify.app/teaching/>**

**pokój 213, budynek L-1**



# Mechanika płynów

Zmiany ciśnienia potrafią skutkować gammą wielobarwnych zdarzeń. Najbardziej znanym są zmiany pogodowe, czy zatykanie uszu związane ze zmianą wysokości (np. przy wyjeździe w góry czy starcie samolotu). Zmiany ciśnienia sprawiają też, że nurkowie mogą zapaść na bardzo poważną, czasami nawet śmiertelną, chorobę kesonową, której przyczyną jest rozpuszczanie się na dużych głębokościach azotu w wodzie zawartej w ciele i powrót do stanu gazowego po wypłynięciu nurka na powierzchnię. Z ciśnieniem jest związane zjawisko zwane wyporem, które sprawia, że balony na gorące powietrze unoszą się, a statki utrzymują na wodzie. Zanim w pełni zrozumiemy, jaką rolę odgrywa ciśnienie w tych zjawiskach, musimy omówić stany skupienia materii oraz pojęcie gęstości.

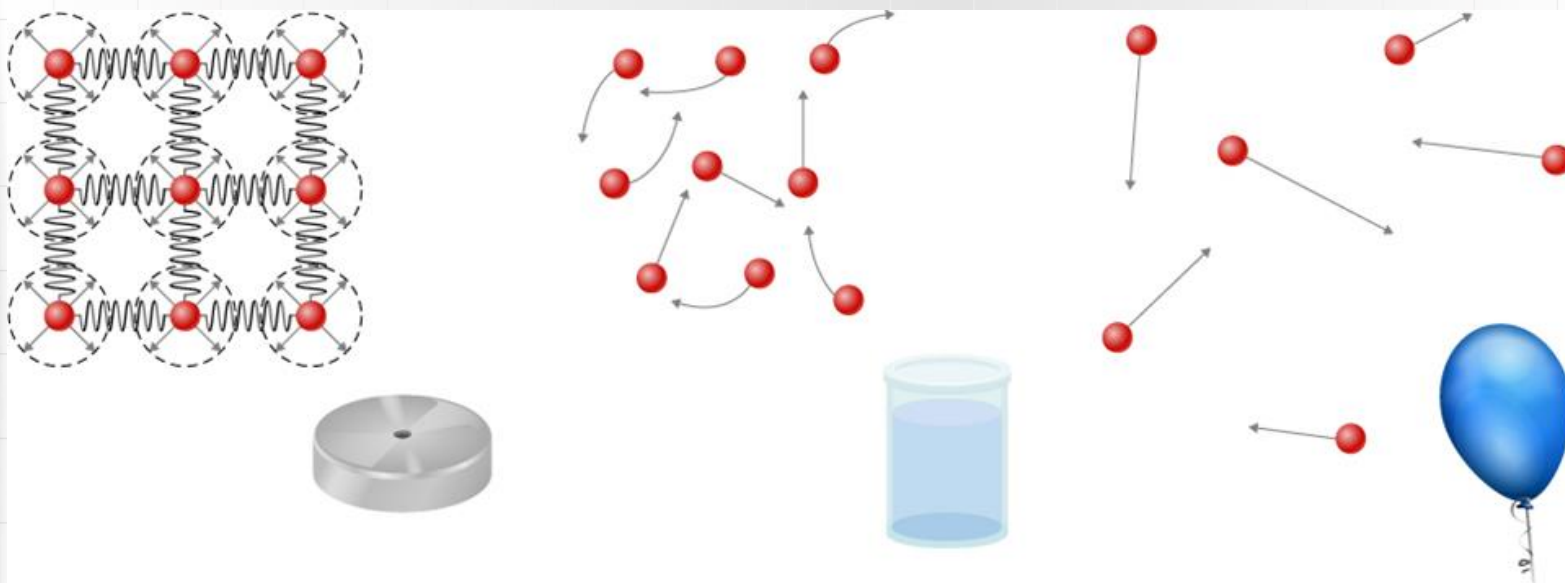


Siła wyporu słonej wody w Morzu Martwym unosi człowieka





# Płyny, a ciała stałe



Ciała stałe są sztywne i mają konkretne kształty oraz określone objętości. Ich atomy lub cząstki znajdują się blisko siebie i oddziałują ze sobą znacznymi. Ciecze i gazy są uważane za płyny, ponieważ poddają się siłom ścinającym, podczas gdy ciała stałe im się opierają. Podobnie jak w przypadku ciał stałych, cząsteczki płynu są związane z sąsiadującymi cząsteczkami, ale łączy je znacznie mniej więzów. Cząsteczki płynów nie są zaczepione w konkretnym miejscu i mogą się przemieszczać względem siebie. Odległości między cząsteczkami są podobne do odległości w ciałach stałych, więc ciecze również mają określoną objętość, ale ich kształt zależy od naczynia, w którym się znajdują. Cząsteczki gazów nie są wzajemnie powiązane i odległości między nimi mogą być bardzo duże. Poruszają się one w taki sposób, aby wypełnić cały pojemnik, w którym się znajdują, dlatego gazy nie mają ani konkretnego kształtu, ani określonej objętości.



# Gęstość

Średnia gęstość substancji lub przedmiotu jest zdefiniowana jako masa przypadająca na jednostkę objętości

$$\rho = \frac{m}{V}$$

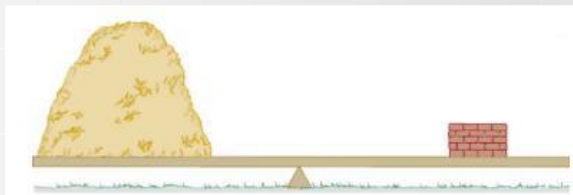
gdzie grecka litera  $\rho$  (rho) oznacza gęstość,  $m$  jest masą, a  $V$  objętością. Jednostką SI gęstości jest  $\text{kg/m}^3$ .

**Ciekawostka:** Gęstość wody rośnie ze spadkiem temperatury i osiąga maksimum przy  $4^\circ\text{C}$ , a następnie zmniejsza się ze spadkiem temperatury poniżej  $4^\circ\text{C}$ . Ta cecha gęstości wody wyjaśnia, dlaczego lód tworzy się na powierzchni wody.

Gęstość substancji nie musi być stała w jej objętości. Jeżeli jest stała w całej objętości, to mówimy, że substancja jest jednorodna. Przykładem może być jednolity pręt metalowy. Dla takiej substancji gęstość jest stała w objętości, a gęstość każdej próbki ma taką samą wartość jak średnia. Jeżeli gęstość substancji nie jest stała, to nazywamy ją niejednorodną.

Gęstość jest własnością wymiarową, więc gdy porównujemy gęstości dwóch substancji, musimy wziąć pod uwagę również jednostki. Dlatego do porównywania gęstości stosujemy inną, bezwymiarową cechę nazywaną gęstością względną. Definiujemy ją jako iloraz gęstości materiału i gęstości wody w temperaturze  $4,0^\circ\text{C}$  pod ciśnieniem 1 atm, czyli  $1000\text{kg/m}^3$ .

$$\rho_{\text{względna}} = \frac{\rho_{\text{materiału}}}{\rho_{\text{wody}}}$$



Tona siana i tona cegieł mają tę samą masę, ale siano tworzy większą bryłę, gdyż ma dużo mniejszą gęstość.



# Przykład 12.1

## Obliczanie objętości zbiornika

Zbiornik ma powierzchnię  $50,0 \text{ km}^2$  i średnią głębokość  $40,0 \text{ m}$ . Jaka masa wody znajduje się za tamą?



$$m = \rho V = \rho A h = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 50\,000\,000 \text{ m}^2 * 40 \text{ m} = 200\,000\,000\,000 \text{ m}^3$$

gęstość maleje

Ciało stałe ← Ciecz ← Gaz



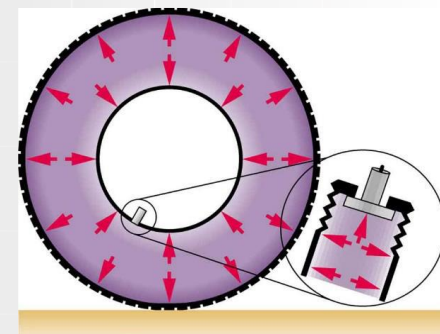
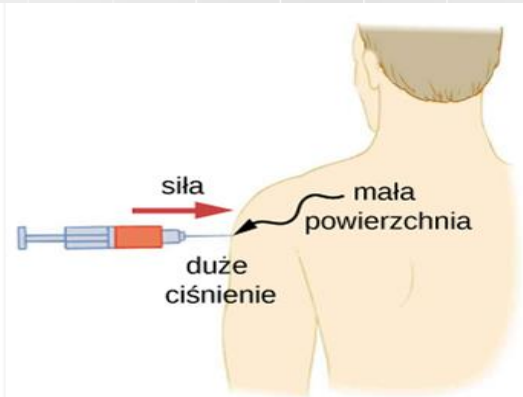
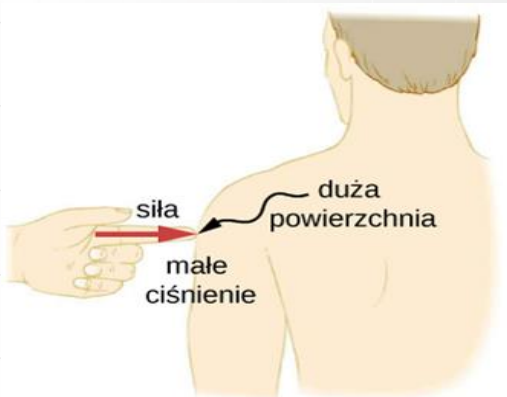


# Ciśnienie

Ciśnienie ( $p$ ) definiujemy jako wartość siły normalnej do powierzchni  $F$  na jednostkę powierzchni  $A$ , do której siła jest przyłożona, czyli:

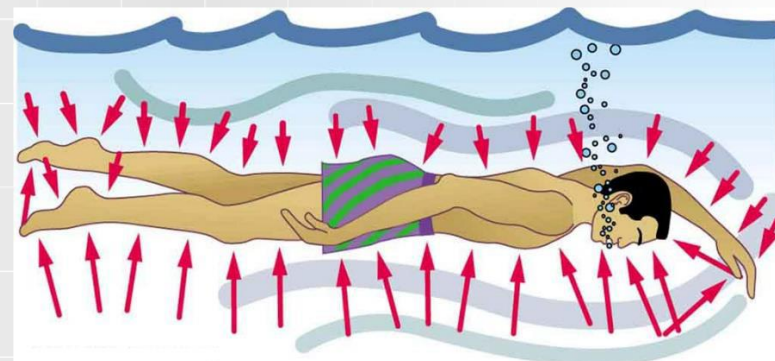
$$p = \frac{F}{A}$$

Ciśnienie w konkretnym punkcie definiujemy jako siłę  $F$ , z jaką płyn działa na nieskończenie mały element powierzchni  $A$ , zawierający ten punkt.



Jednostką SI ciśnienia jest paskal (Pa). Nazwano ją tak na cześć francuskiego matematyka i fizyka Blaise'a Pascala

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$



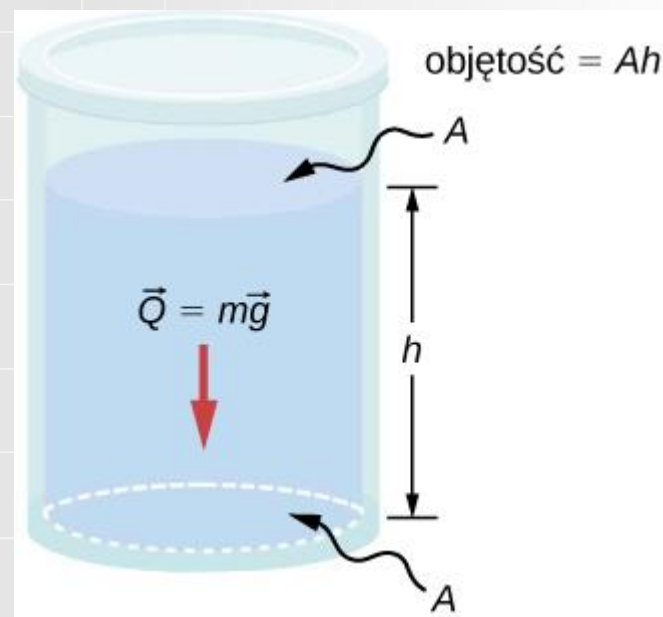


# Zmiany ciśnienia z głębokością w płynie o stałej gęstości

Ciśnienie na pewnej głębokości dla płynu o stałej gęstości równe jest sumie ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia wywieranego przez ciężar płynu, czyli:

$$p = p_0 + \rho h g$$

gdzie  $p$  jest ciśnieniem na rozważanej głębokości,  $p_0$  ciśnieniem atmosferycznym,  $\rho$  gęstością płynu,  $g$  przyspieszeniem ziemskim, a  $h$  głębokością.



<https://www.youtube.com/watch?v=UROJ3b1YL6o>

<https://www.youtube.com/watch?v=EJRaVhpumrE>



# Przykład 12.2

## Jaką siłę musi wytrzymać tama?

Rozważmy ciśnienie i siłę działające na tamę utrzymującą rezerwar wodny (rysunek niżej). Założmy, że tama ma 500 m szerokości, a woda ma głębokość 80,0 m, u podstawy tamy, jak pokazano poniżej.

- (a) Jakie jest średnie ciśnienie na tamę spowodowane naporem wody? (średnia wysokość to 40 m)
- (b) Oblicz siłę wywieraną na tamę.

$$\begin{aligned} a) \quad p &= h\rho g = 40 \text{ m} * 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ &= 392 \text{ kPa} \end{aligned}$$

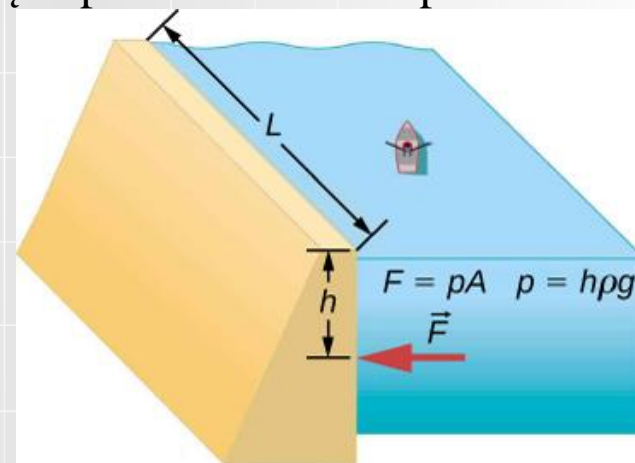
- b) Pole powierzchni tamy wyniesie

$$A = 80 \text{ m} * 500 \text{ m} = 4 * 10^4 \text{ m}^2$$

$$F = pA$$

$$= 3.92 * 10^5 \text{ Pa} * 4 * 10^4 \text{ m}^2$$

$$= 1.57 * 10^{10} \text{ N}$$







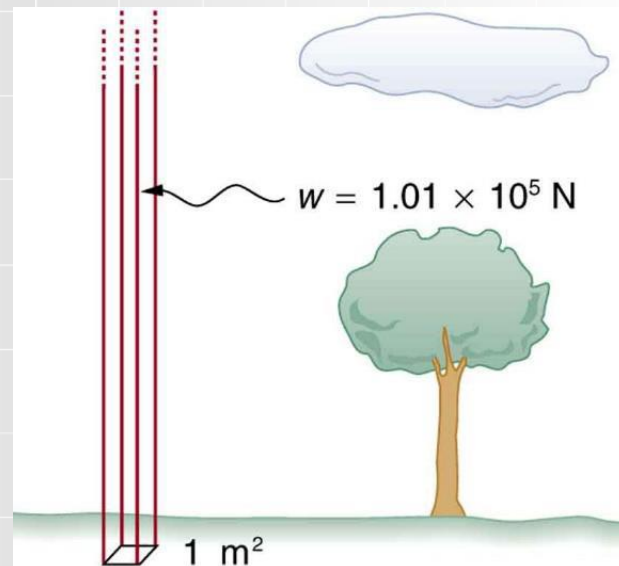
# Ciśnienie atmosferyczne

Ciśnienie atmosferyczne to kolejny przykład nacisku spowodowanego ciężarem płynu (gazu) - a dokładniej w tym przypadku jest to ciężar powietrza występującego powyżej danej wysokości. Ciśnienie atmosferyczne na powierzchni Ziemi zmienia się nieco z powodu przepływ dużych mas powietrza wywoływanych przez ruch obrotowy Ziemi (to też powód tworzenia niżów i wyżów atmosferycznych). Jednakże średnie ciśnienie na poziomie morza jest zadany poprzez standardową atmosferę czyli

$$1 \text{ atmosfera} = P_{\text{atm}} = 1010 \text{ hPa} = 101 \text{ kPa}$$

Większość mierników ciśnienia (manometrów) jest skalibrowana w taki sposób, że wskazują wartość zero pod ciśnieniem atmosferycznym. Ciśnienie odczytane z takiego manometru nazywamy ciśnieniem manometrycznym (ang. gauge pressure) i jest to wartość ciśnienia względem atmosferycznego. Gdy ciśnienie wewnątrz zbiornika jest większe niż ciśnienie atmosferyczne, manometr wskazuje wartość dodatnią.

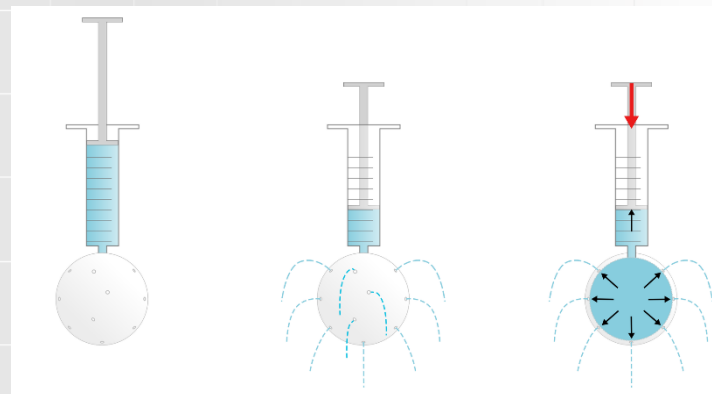
$$\rho_{\text{abs}} = \rho_g + \rho_{\text{atm}}$$



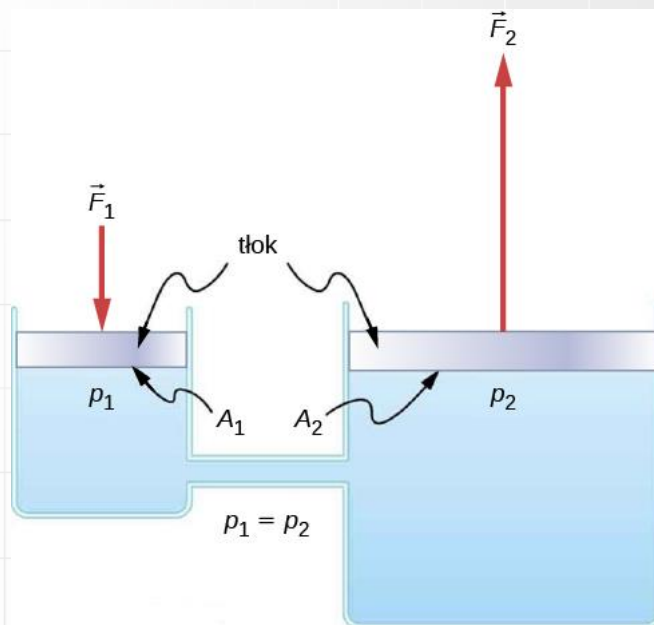


# Prawo Pascala

Zasada Pascala, znana również pod nazwą prawo Pascala, stwierdza, że zmiana ciśnienia przyłożonego do płynu jest przekazywana bez strat do wszystkich jego części i ostatecznie do ścianek naczynia zawierającego płyn. Atomy, które mogą się swobodnie poruszać w naczyniu przekazują ciśnienie do wszystkich części płynu oraz do ścian naczynia. Dowolna zmiana ciśnienia jest przekazywana bez strat.



<https://www.youtube.com/watch?v=kBK-V3NTOn8>



Zgodnie z zasadą Pascala ciśnienie to zostaje przekazane bez strat do wszystkich punktów w płynie oraz do ścian naczynia. W związku z tym ciśnienie  $p_2$  równe  $p_1$  działa również przy drugim tłoku. Otrzymujemy  $p_1 = p_2$  i tym samym  $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ .



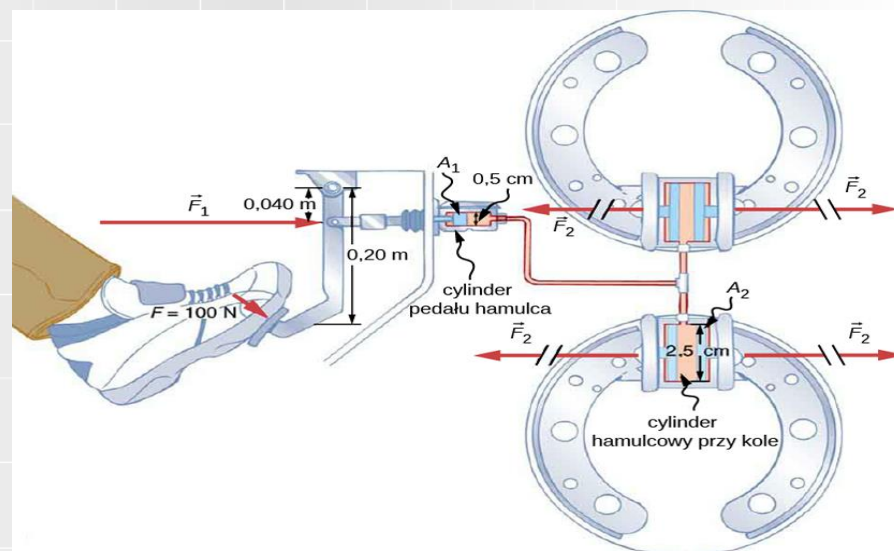
# Przykład 12.3

## Obliczanie siły na cylindry hamulcowe

Założmy, że siłę 100 N przyłożono do pedału hamulca (działającego jako źródło siły hamującej), który działa na cylinder pedału hamulcowego (działający jako główny cylinder) przy użyciu dźwigni. Na cylinder została wywarta siła 500 N. Ciśnienie wytworzone na cylindrze pedału hamulcowego jest przekazywane do cylindrów hamulcowych przy czterech kołach pojazdu. Cylinder pedału hamulcowego średnicę 0,500 cm, a każdy z cylindrów hamulcowych przy kołach ma średnicę 2,50 cm. Oblicz wartość siły  $F_2$  wytworzonej przy każdym z cylindrów hamulcowych przy kołach.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{\pi r_2^2}{\pi r_1^2} F_1 = \\ &= \frac{(1.25 \text{ cm})^2}{(0.25 \text{ cm})^2} * 500 \text{ N} \\ &= 1.25 * 10^4 \text{ N} \end{aligned}$$





# Prawo Archimiedesa

## SIŁA WYPORU

Siła wyporu to skierowana ku górze siła, działająca na każdy obiekt zanurzony w płynie.

Siła wyporu działająca na zanurzony przedmiot równa się ciężarowi płynu, który jest wyparty przez ten przedmiot. W postaci równania prawo Archimiedesa przedstawia się następująco

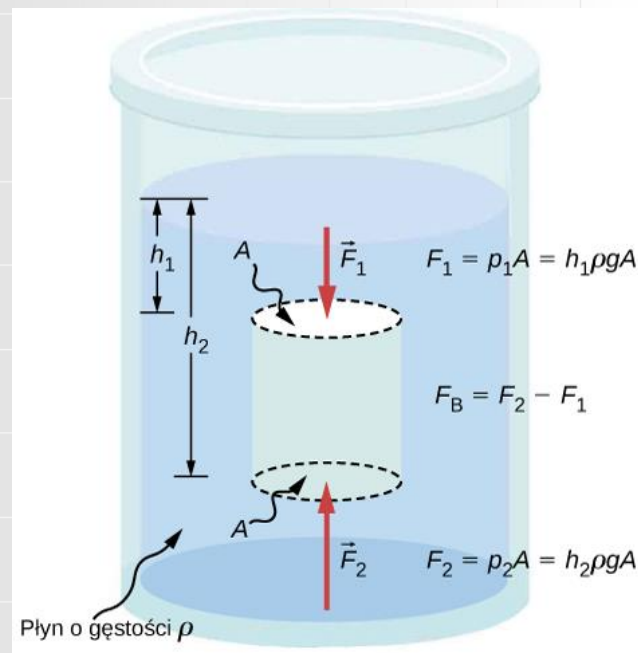
$$F_W = Q_{prz},$$

gdzie  $F_W$  jest siłą wyporu, a  $Q_{prz}$  ciężarem płynu wypartego przez przedmiot.

Rozmiar części obiektu zanurzonej w płynie zależy od tego, jaka jest jego gęstość względem płynu. Możemy wyprowadzić wyrażenie określające, w jakiej części przedmiot jest zanurzony, rozważając te gęstości. Zanurzoną część możemy wyrazić stosunkiem zanurzonej objętości do pełnej objętości przedmiotu, czyli

$$\text{zanurzona część} = \frac{V_{zan}}{V_o} = \frac{V_{pł}}{V_o} = \frac{m_{pł}/\rho_{pł}}{m_o/\rho_o} = \rho_o/\rho_{pł}$$

Zanurzona objętość równa jest objętości wypartego płynu, którą nazwiemy  $V_{pł}$ .





# Przykład 12.4

## Obliczanie średniej gęstości

Założmy, że 60-kilogramowa kobieta unosi się w wodzie słodkiej i 97,0% jej objętości znajduje się pod wodą, gdy jej płuca wypełnione są powietrzem. Jaka jest jej średnia gęstość?

$$\text{zanurzona część} = \frac{\rho_0}{\rho_{pł}}$$

$$\rho_0 = \rho_{osoby} = \text{zanurzona część} * \rho_{pł}$$

$$\rho_{osoby} = 0.97 * 10^3 \frac{kg}{m^3} = 970 \frac{kg}{m^3}$$

Gęstość kobiety jest mniejsza niż gęstość płynu – było to do przewidzenia w obliczu faktu, że unosi się ona na wodzie.





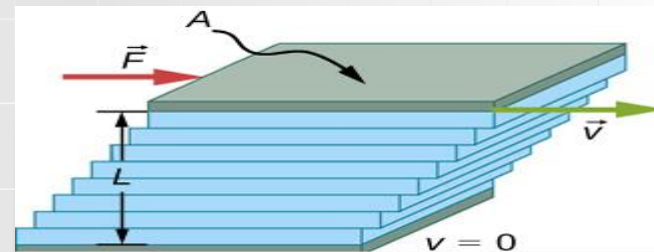
# Lepkość cieczy

Kiedy nalewasz sok do szklanki, płyn porusza się swobodnie i szybko. Ale kiedy wlewasz miód na kromkę chleba, przepływa on powoli i przykleja się do łyżki czy słoika. Różnicę powoduje tarcie, zarówno wewnątrz płynu, jak i pomiędzy płynem a jego otoczeniem. Tę cechę płynów nazywamy lepkością. Sok ma małą lepkość, a miód - dużą.

Precyzyjna definicja lepkości wykorzystuje pojęcie laminarności, czyli przepływu nieturbulentnego. Podczas przepływu laminarnego warstwy płynu poruszają się bez mieszania, a w przypadku przepływu turbulentnego warstwy się mieszają i mogą pojawić się obszary, w których wystąpią znaczne prędkości w kierunku innym niż wypadkowy przepływ.

Miarą lepkości jest współczynnik lepkości płynu definiowany jako

$$\eta = \frac{FL}{vA} \quad \left[ \frac{N}{m^2} = Pa * s \right].$$





# Cechy przepływu płynów

Zajmiemy się teraz dynamiką płynów, czyli będziemy rozważać płyny w ruchu. Nawet najbardziej podstawowy ruch płynu może się okazać bardzo skomplikowany. Z tego powodu w wielu przykładach ograniczymy nasze rozważania do płynów idealnych. Płyn idealny jest to płyn o pomijalnej lepkości.

Objętość płynu przepływającego w pewnym miejscu przez powierzchnię w jednostce czasu zwana jest strumieniem (ang. flow rate)  $Q$  lub bardziej precyzyjnie, strumieniem objętościowym. Może być on zapisany jako:

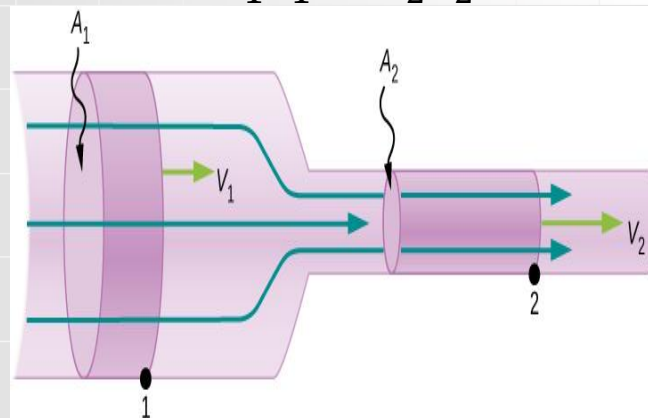
$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

i dla strumienia objętościowego  $Q = Av$ ,

gdzie  $V$  jest objętością, a  $t$  upływem czasu,  $A$  powierzchnią przez którą przepływa płyn z daną prędkością  $v$ . Jednostką SI strumienia objętościowego jest  $\text{m}^3/\text{s}$ , ale w powszechnym użyciu jest kilka innych jednostek, takich jak na litry na minutę ( $\text{l}/\text{min}$ ).

równanie ciągłości

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



Gdy rura się zwęża, ta sama objętość rozkłada się na większej długości. Aby ta sama objętość minęła powierzchnie w punktach 1 i 2 w tym samym czasie, prędkość musi być większa w punkcie 2. Proces ten jest odwracalny: jeżeli płyn porusza się w przeciwnym kierunku, jego prędkość maleje ze wzrostem szerokości rury.

Przepływ jest ciągły, ponieważ nie ma w nim żadnych źródeł ani odpływów, które dodają lub usuwają masę, więc masa wpływająca do rury musi być równa masie z niej wypływającej



# Przykład 12.5

## Obliczenie prędkości płynu przy wylocie węża

Dysza węża o średnicy 0,500 cm doczepiona jest do węża ogrodowego o promieniu 0,900 cm. Strumień objętościowy przez wąż i dyszę wynosi 0,500 l/s.

Oblicz prędkość wody

(a) w wężu i

(b) przy wylocie

Do opisanego węża użyjemy indeksu 1, a dla dyszy indeksu 2.

$$a) v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi r_1^2} = \frac{0.5 \frac{l}{s} * 10^{-3} \frac{m^3}{l}}{3.14 * (9 * 10^{-3} m)^2} = 1.96 \frac{m}{s}$$

$$b) A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} v_1 = \frac{r_1^2}{r_2^2} v_1 = \frac{(0.9 \text{ cm})^2}{(0.25 \text{ cm})^2} * 1.96 \frac{m}{s} = 25.5 \frac{m}{s}$$

Dysza powoduje przyspieszenie strumienia, kierując wodę przez otwór o mniejszej powierzchni.



# Równanie Bernoulliego

Równanie ciągłości określa związek pomiędzy prędkością cieczy, a przekrojem strugi. Zmiana prędkości oznacza ruch z przyspieszeniem, co musi wiązać się z działaniem siły, zaś siłę w przypadku płynów wygodniej jest zastąpić ciśnieniem. Ciśnienie może być różnego pochodzenia, na przykład atmosferyczne lub hydrostatyczne (związane z położeniem) albo wywierane z zewnątrz np. przez tłok

Dla nieściśliwego płynu bez tarcia, suma ciśnień statycznego i dynamicznego zachowana jest nie tylko w czasie, ale również wzdłuż linii prądu:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y + p = \text{constant}$$



Pierwszy człon po lewej stronie równania związany jest z ruchem cieczy i nazywamy jest ciśnieniem dynamicznym, drugi odpowiada energii potencjalnej jednostkowej masy cieczy i jest ciśnieniem hydrostatycznym, trzeci jest ciśnieniem zewnętrznym. Równanie Bernoulliego określa związek pomiędzy tymi wielkościami.



# Przykład 12.6

## Obliczanie ciśnienia: dysza węża strażackiego

Wężę strażackie używane w dużych pożarach mają wewnętrzną średnicę 6.40 cm. Załóżmy, że strumień objętościowy w takim wężu ma wartość 40.0 l/s, pod ciśnieniem manometrycznym równym  $1,62 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ . Wąż sięga do wysokości 10,0 m wzdłuż drabiny i kończy się dyszą o wewnętrznej średnicy 3,00 cm. Jakie jest ciśnienie w dyszy?

indeks 1 odnosi się do warunków na poziomie ziemi, a indeks 2 do warunków przy dyszy

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

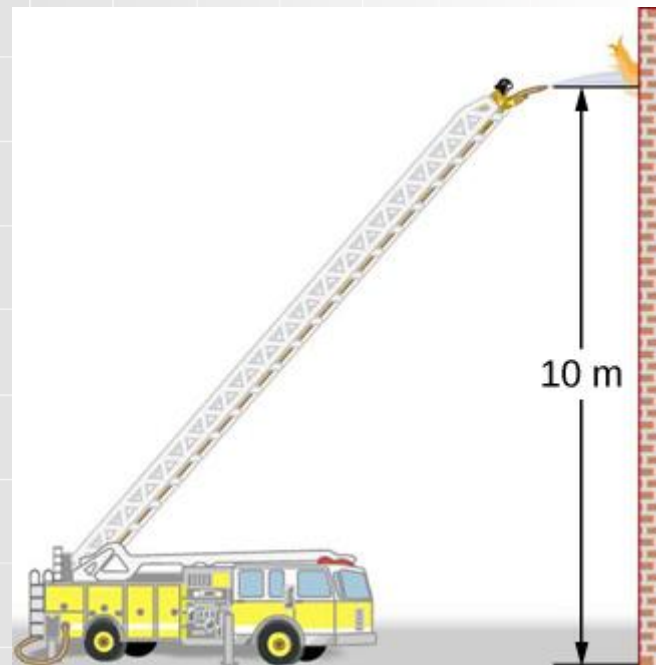
$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{40 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \cdot (3.2 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2} = 12.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = 56.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$p_2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) + \rho g h_2$$

$$= 1.62 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} + \frac{1}{2} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left( -3049.8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \right)$$

$$- 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10 \text{ m} = -2900 \text{ N/m}^2$$



Uzyskana wartość jest ciśnieniem manometrycznym, ponieważ wyjściowe ciśnienie również było podane względem ciśnienia atmosferycznego.





# Napięcie powierzchniowe

Napięcie powierzchniowe to zjawisko fizyczne występujące na styku powierzchni cieczy z ciałem stałym, gazem lub inną cieczą, dzięki któremu powierzchnia ta zachowuje się jak sprężysta błona. O napięciu powierzchniowym możemy mówić także o wielkości energii, jaka przypada na jednostkę powierzchni

$$\gamma = \frac{\Delta W}{\Delta A}$$

lub równoważnie o wielkości siły napięcia powierzchniowego działająca równoległe do powierzchni cieczy do długość odcinka na którym działa siła

$$\gamma = \frac{F}{l}$$

Przyczyną istnienia napięcia powierzchniowego są siły przyciągania pomiędzy molekułami cieczy.



<https://www.youtube.com/watch?v=DQwvEZvdY7E>  
<https://www.youtube.com/watch?v=vjK9oPuoooY>



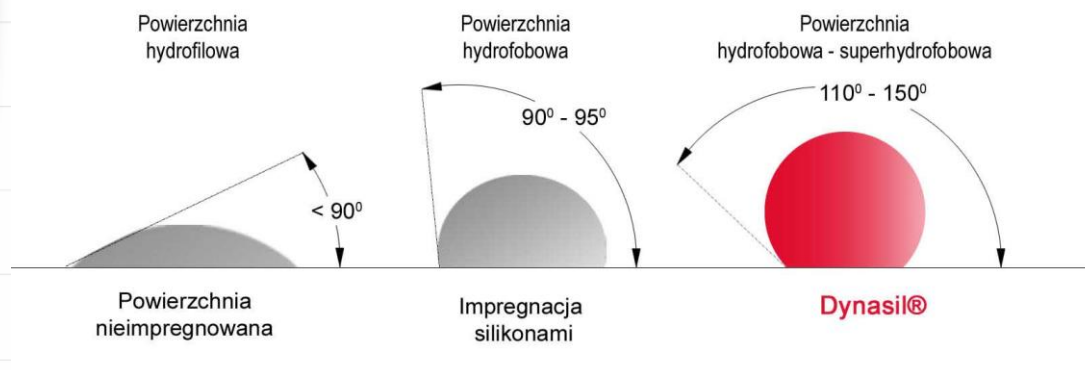
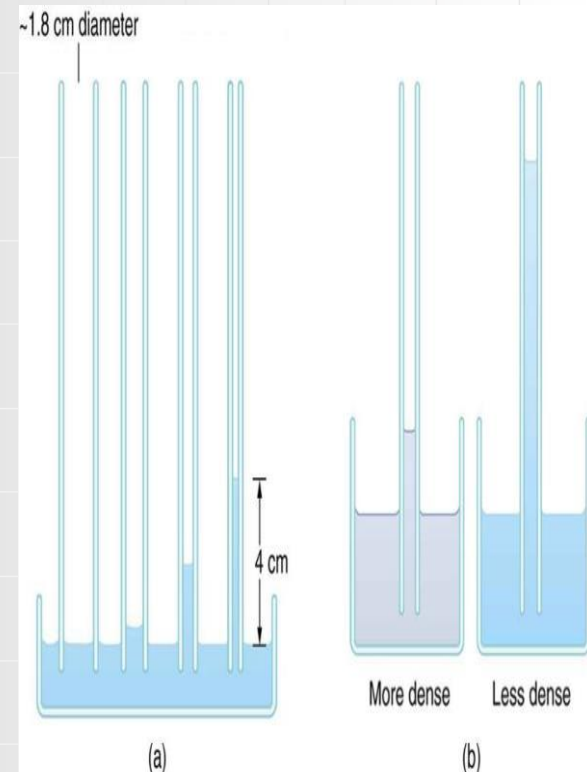


# Zjawiska kapilarne

To szereg zjawisk związanych z zachowaniem par i cieczy, a pojawiających się dla wielu obiektów o małym rozmiarze (np. rurki kapilarne, porowate powierzchnie) i silnie zależne od tego wymiaru, przy kącie zwilżania powyżej 90 stopni. W zależności od kąta zwilżania zjawisko może się pojawiać lub zanikać, promień rurki kapilarnej ma wpływ na wysokość wznoszenia cieczy.

Powierzchnia wody tuż przy ścianie tworzy ze ścianką kąt  $\theta$ . Pionowa składowa tej siły równoważy siłę ciężaru cieczy, z czego wynika wysokość podciągania kapilarnego

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}.$$





# Przykład 12.7

## Siły kapilarne wewnątrz roślin

Oblicz promień kapilary, która byłaby w stanie wymóc podnoszenie kapilarne wody w 100 m sekwoi, zakładając, że gęstość płynącej cieczy wynosi  $1050 \text{ kg/m}^3$ , kąt zwilżania  $0^\circ$ , a napięcie powierzchniowe  $0.0728 \text{ N/m}$ .

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r} \rightarrow r = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g h} = \frac{2 * 0.0728 \frac{\text{N}}{\text{m}} * \cos 0^\circ}{1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 100 \text{ m} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1.41 * 10^{-7} \text{ m}$$

Główną funkcją drewna (ksylem) jest rozprowadzanie wody i rozpuszczonych w niej soli mineralnych, pobieranych przez korzenie, po całej roślinie. Najmniejsze rozmiary promienia kanałów w drewnie wynoszą  $2.5 * 10^{-5} \text{ m}$ , czyli ok. 180 razy większe niż wynikałoby z przeprowadzonych obliczeń – wniosek same siły kapilarne nie wystarczą aby doprowadzić wodę do korony sekwoi.





# Słowniczek

## **ciśnienie (ang. pressure)**

– siła na jednostkę powierzchni wywierana prostopadle do powierzchni, na którą działa

## **ciśnienie absolutne (ang. absolute pressure)**

– suma ciśnienia manometrycznego i atmosferycznego

## **ciśnienie manometryczne (ang. gauge pressure)**

– ciśnienie względem ciśnienia atmosferycznego

## **gęstość (ang. density)**

masa na jednostkę objętości substancji lub obiektu

## **gęstość względna (ang. specific gravity)**

– iloraz gęstości obiektu do gęstości płynu (zwykle wody)

## **lepkość (ang. viscosity)**

– miara wewnętrznego tarcia w płynie

## **płyny (ang. fluids)**

– ciecze i gazy; stan płynny poddaje się siłom ścinającym

## **podnośnik hydrauliczny (ang. hydraulic jack)**

– maszyna prosta używająca cylindrów o różnych średnicach do przekazywania sił



# Słowniczek

## **prawo Pascala (ang. Pascal's principle)**

– zmiana ciśnienia przyłożonego do płynu jest przekazywana bez strat do wszystkich części płynu i ostatecznie do ścianek obejmującego płyn naczynia

## **prawo Archimedesesa (ang. Archimedes' principle)**

– siła wyporu działająca na obiekt równa jest ciężarowi wypartego płynu

## **płyn idealny (ang. ideal fluid)**

– płyn o pomijalnej lepkości

## **przepływ laminarny (ang. laminar flow)**

– typ przepływu płynu, podczas którego warstwy płynu się nie mieszają

## **przepływ turbulentny (ang. turbulent flow)**

– typ przepływu płynów, podczas którego warstwy płynu mieszają się zawracając i tworząc wiry

## **poziomy przepływ płynu (ang. Bernoulli's principle)**

– przepływ płynu bez zmiany wysokości, zapisywany przez równanie Bernoulliego dla stałej wysokości:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

## **wznoszenie kapilarne**

– zdolność materiału do podciągania wody ku górze za pomocą sił kapilarnych





# Słowniczek

## **napięcie powierzchniowe**

– zjawisko fizyczne występujące na styku powierzchni cieczy z ciałem stałym, gazem lub inną cieczą, dzięki któremu powierzchnia ta zachowuje się jak sprężysta błona.

## **równowaga hydrostatyczna (ang. hydrostatic equilibrium)**

– stan, w którym płyn się nie porusza, czyli gdy jest statyczny

## **równanie Bernoulliego (ang. Bernoulli's equation)**

– równanie wynikające z zastosowania prawa zachowania energii do nieściśliwego płynu z pominięciem tarcia:  $p_1 + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{const.}$ , w całej objętości płynu

## **siła wyporu (ang. buoyant force)**

– wypadkowa siła skierowania ku górze, działająca na obiekt zanurzony w płynie, wywołana różnicami ciśnienia na różnych głębokościach

## **strumień objętościowy (ang. flow rate)**

– to stosunek objętości  $V$ , która przepływa przez powierzchnię w pewnym punkcie, w czasie  $t$ , w jakim płyn przepływa -  $Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ .

## **turbulencja (ang. turbulence)**

– przepływ płynu, w którym jego warstwy mieszają się w wyniku powstania wirów i zwrotów prędkości



# Powtórzenie materiału

## 15.01.2021

1. Kinematyka i dynamika punktu materialnego.
2. Rzut ukośny i pionowy, spadek swobodny ciała.
3. Ruch po okręgu.
4. Dynamika bryły sztywnej.
5. Ciężenie powszechne.
6. Ruch harmoniczny.
7. Fale mechaniczne.
8. Dźwięk.
9. Mechanika płynów.



# Praca domowa

## - wytyczne

1. Format: plik pdf lub skan/zdjęcie (upewnij się, że Twoje pismo jest czytelne!)
2. Czytaj uważnie polecenia i wykonuj zawarte w nich zadania.
3. Pamiętaj aby **podpisać** swoją pracę.
4. Do rozwiązania dołącz:
  1. Rysunek – szkic sytuacji przedstawionej w zadaniu lub wykres wraz z danymi z zadania.
  2. Obliczenia – razem z przekształceniami wzorów, jeśli jest to konieczne.
  3. Wnioski sformułowane na podstawie dokonanej analizy.
5. Pamiętaj aby przesłać rozwiązania w terminie na adres email prowadzącej.



Wrocław  
University  
of Science  
and Technology

# Terminy

		PAŹDZIERNIK					LISTOPAD					GRUDZIEŃ				STYCZEŃ				LUTY			
PN	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	1 Pn N	8	15	22	
WT	29	6	13	20	27	3	10	17	24	1	8	15	22 Śr P	29	5	12	19	26	2	9	16	23	
ŚR	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	3	10	17	24	
CZ	1	8	15	22	29	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	4	11	18	25	
PT	2 Pn	9 Wt P	H1 16	H2 23	H3 30	H4 6	H5 13 Śr P	TEST 20	27	H6 4	H7 11	H8 18	25	1	H9 8	H10 15	Egzamin 22	29	5	12	19	26	
SO	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30	6	13	20	27	
N	4	11	18	25	1	8	15	22	29	6	13	20	27	3	10	17	24	31	7	14	21	28	
P - PARZYSTY N - NIEPARZYSTY	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	

H6: 15.01.21 godz. 12:00

Email: [sylvia.majchrowska@pwr.edu.pl](mailto:sylvia.majchrowska@pwr.edu.pl)