

15 Ciśnienie hydrostatyczne



Bez skafandra głębinowego nie udało się do tej pory zanurkować na głębokość 400 m, mimo butli z tlenem. Na czym polega trudność? Przed czym chroni skafander głębinowy? Jak głęboko udało się dotrzeć człowiekowi w statku podwodnym?

Cel lekcji 8

Dowiesz się, czym jest ciśnienie hydrostatyczne, a także od czego zależy.

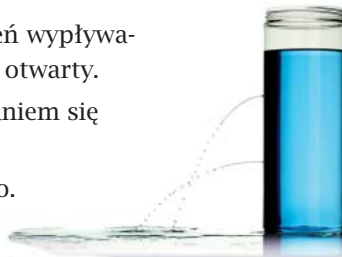
Zmiana ciśnienia wraz z głębokością

Ciśnienie w nieruchomej cieczy nazywamy **ciśnieniem hydrostatycznym** (*hydro* — dotyczący cieczy, *statyczny* — nieruchomy, będący w równowadze). Jak zmienia się ciśnienie podczas zanurzania? Czy zwiększa się wraz z głębokością, czy zmniejsza? A może się nie zmienia?

Doświadczenie

Zmiana ciśnienia hydrostatycznego wraz z wysokością słupa wody

- ① Przygotuj: litrowy przezroczysty plastikowy pojemnik, gwóźdź, wodę i miskę.
- ② W ścianie pojemnika blisko dna zrób otwór.
- ③ Napełnij pojemnik wodą i ustaw tak, by strumień wypływającej wody trafiał do miski. Pojemnik powinien być otwarty.
- ④ Jak zmienia się zasięg strumienia wraz z obniżaniem się poziomu wody w pojemniku?
- ⑤ Wykonaj dodatkowe otwory powyżej pierwszego. Ponownie napełnij pojemnik i obserwuj zmiany strumieni, gdy poziom wody się obniża.



W trakcie doświadczenia obserwujemy, że zasięg strumienia wody zmniejsza się wraz z obniżaniem się słupa wody w pojemniku. Można z tego wywnioskować, że siła

działająca na wypychaną z pojemnika wodę jest coraz mniejsza. Faktycznie siła parcia maleje wraz ze zmniejszaniem się ciśnienia. Stąd wynika, że przy otworze wylotowym ciśnienie maleje, gdy poziom wody się obniża.

Od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne?

Ciśnienie hydrostatyczne **rośnie wraz głębokością**. Im głębiej zanurkujesz, tym bardziej ściśnie cię woda.

Obok przedstawiono trzy identyczne szklanki. W każdej wysokość słupa cieczy jest taka sama. W pierwszej jest woda, w drugiej — olej, w trzeciej — syrop. Największe ciśnienie panuje przy dnie szklanki z syropem, a najmniejsze przy dnie szklanki z olejem. Na ustalonej głębokości **ciśnienie hydrostatyczne jest większe w cieczy o większej gęstości**.



woda	olej	syrop
$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$1310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Największe ciśnienie panuje przy dnie szklanki z syropem, ponieważ ma on największą gęstość.

$$p_h = d \cdot g \cdot h$$

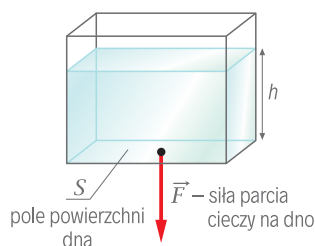
Diagram showing the components of the formula: p_h is labeled 'ciśnienie hydrostatyczne na głębokości h ', d is 'gęstość cieczy', g is 'przyspieszenie grawitacyjne', and h is 'głębokość'.

1 Dla dociekliwych

Wyznamy wartość ciśnienia panującego przy dnie prostokątnego akwarium. Zgodnie z oznaczeniami na rysunku:

$$p_h = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{\overbrace{d \cdot V}^m}{S} \cdot g = \frac{d \cdot \overbrace{S \cdot h}^V}{S} \cdot g = d \cdot g \cdot h$$

Zauważ, że ciśnienie hydrostatyczne w żaden sposób nie zależy od pola powierzchni dna naczynia.



W jeziorze na głębokości h ciśnienie hydrostatyczne p_h będzie takie samo, jak przy dnie prostokątnego akwarium wypełnionego wodą do wysokości h .



Ciśnienie wywierane na rybę na głębokości 30 cm jest takie samo w jeziorze i w akwarium.

PRZYKŁAD 1. Oblicz ciśnienie hydrostatyczne na głębokości 5 m w nieruchomej, oceanicznej wodzie o gęstości $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Dane:

$h = 5 \text{ m}$ — głębokość

$d = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ — gęstość oceanicznej wody

Szukane:

$p_h = ?$ — ciśnienie hydrostatyczne

Rozwiązanie: $p_h = d \cdot g \cdot h$

$$p_h = 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 5 \text{ m} = 51\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 51\,000 \text{ Pa}$$

Odp. Ciśnienie hydrostatyczne na głębokości 5 m wynosi 51 000 Pa.

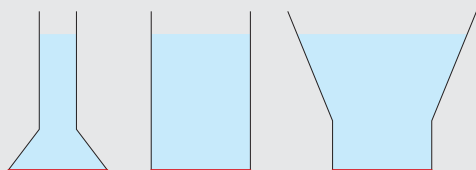
i $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \text{m} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$, podobnie jak $\frac{\cancel{\text{kg}}}{\cancel{\text{m}^3}} \cdot \frac{\cancel{\text{N}}}{\cancel{\text{kg}}} \cdot \cancel{\text{m}} = \frac{\cancel{\text{N}}}{\cancel{\text{m}^2}}$.

ĆWICZENIE 1. Oblicz ciśnienie hydrostatyczne na głębokości 20 m w nieruchomej, jeziornej wodzie o gęstości $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Dowiedz się więcej o ciśnieniu hydrostatycznym

Fakt, że ciśnienie przyrasta wprost proporcjonalnie do głębokości, prowadzi do zaskakujących wniosków. W każdym z naczyń pokazanych na poniższym rysunku ciśnienie przy dnie naczynia będzie takie samo, bo w każdym naczyniu poziom wody znajduje się na takiej samej wysokości nad dnem.

To, że mała porcja wody może wywierać takie samo ciśnienie jak duża porcja wody, jest tak zadziwiające, że nazwano to **paradoksem hydrostatycznym**.

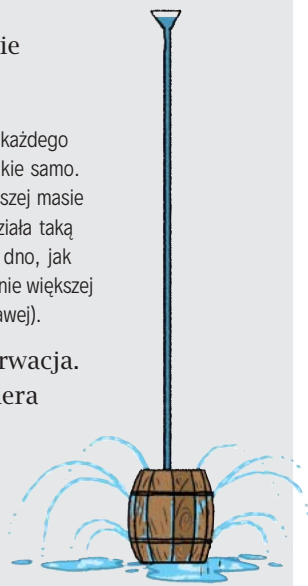


Ciśnienie przy dnie każdego z tych naczyń jest takie samo. Porcja wody o mniejszej masie (naczynie z lewej) działa taką samą siłą parcia na dno, jak porcja wody o znacznie większej masie (naczynie z prawej).

Paradoks hydrostatyczny dobrze ilustruje następująca obserwacja.

Zwykła drewniana beczka wytrzymuje ciśnienie, które wywiera woda znajdująca się w jej wnętrzu. Nawet wtedy, gdy woda wypełnia beczkę po brzegi. Wystarczy jednak do beczki włożyć długą rurkę (np. 15 m) i wypełnić ją wodą. Wysoki słup wody spowoduje tak duży wzrost ciśnienia, że beczka zacznie przeciekać.

Zauważ, że siła parcia cieczy na dno naczynia zależy od pola powierzchni dna naczynia, a także od wysokości słupa cieczy w naczyniu oraz gęstości cieczy.



Ciśnienie zewnętrzne

Jeśli na ciecz poza ciśnieniem hydrostatycznym działa dodatkowo ciśnienie zewnętrzne, np. atmosferyczne, to zgodnie z prawem Pascala należy je dodać. Całkowite ciśnienie na głębokości h to zatem suma ciśnienia hydrostatycznego p_h oraz ciśnienia zewnętrznego:

$$p = p_h + p_{\text{zewnętrzne}}$$

Zamknięta butelka pływa po powierzchni.
Jednak wciągnięta pod wodę zostanie przez nią ściśnięta.



PRZYKŁAD 2. Oblicz ciśnienie na głębokości 5 m w oceanicznej wodzie o gęstości $1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Uwzględnij wpływ ciśnienia atmosferycznego. Możesz skorzystać z wyników uzyskanych w przykładzie 1 (str. 102).

Dane:

$p_h = 51\,000 \text{ Pa}$ — ciśnienie hydrostatyczne (wynik uzyskany w przykładzie 1)

$p_{\text{atm}} = 100\,000 \text{ Pa}$ — ciśnienie atmosferyczne (zob. str. 91)

Szukane:

$p = ?$ — całkowite ciśnienie na głębokości 5 m

Rozwiązanie: $p = p_h + p_{\text{atm}}$

$$p = 51\,000 \text{ Pa} + 100\,000 \text{ Pa} = 151\,000 \text{ Pa}$$

Odp. Ciśnienie na głębokości 5 m wynosi 151 000 Pa.

ĆWICZENIE 2. Oblicz ciśnienie na głębokości 20 m w nieruchomej, jeziornej wodzie o gęstości $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Uwzględnij wpływ ciśnienia atmosferycznego. Możesz skorzystać z wyników uzyskanych w ćwiczeniu 1 (str. 102).

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Beczka*

Oblicz ciśnienie hydrostatyczne przy dnie beczki wypełnionej do wysokości 1 m:

a) olejem o gęstości $900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,

b) syropem o gęstości $1310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,

c) benzyną o gęstości $750 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Zadanie 2. *Jezioro*

Oblicz ciśnienie panujące w nieruchomej, jeziornej wodzie o gęstości $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ na głębokości:

a) 10 m

b) 50 m

c) 105 m

Uwzględnij ciśnienie atmosferyczne równe 1010 hPa.

Zadanie 3. *Takie samo ciśnienie*

Na zdjęciu pokazano naczynia zawierające tę samą ciecz.



Ciśnienie tuż przy dnie w każdym naczyniu jest takie samo. Wynika to z faktu, że:

- A. naczynia mają taką samą objętość,
- B. w każdym naczyniu słup cieczy ma taką samą wysokość,
- C. dna naczyń mają takie samo pole powierzchni,
- D. porcja cieczy w każdym naczyniu ma taką samą masę.

Zadanie 4. *Rów Mariański*

Najgłębsze miejsce na Ziemi — Głębia Challenger w Rowie Mariańskim znajduje się około 10,9 km poniżej poziomu morza. Ludzie docierali tam kilkukrotnie. Przyjmij, że gęstość oceanicznej wody wynosi $1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

- a) Oblicz ciśnienie działające na batyskaf na dnie Rowu Mariańskiego. Pomiń wpływ ciśnienia atmosferycznego.
- b) Ile razy ciśnienie otrzymane w podpunkcie a) jest większe od ciśnienia atmosferycznego o wartości 100 000 Pa?
- c) Uzasadnij, dlaczego w podpunkcie a) można było pominąć wpływ ciśnienia atmosferycznego.



Zadanie 5. *Bez pancerza i z pancerzem*

Nurkowie z butlą z tlenem, ale bez ochrony ciała przed ciśnieniem wody, mogą zanurzyć się na głębokość około 300 m. W specjalnych skafandrach głębinowych nurkowie pracują na głębokościach do 700 m. Oblicz, ile razy ciśnienie na głębokości 700 m jest większe od ciśnienia na głębokości 300 m. Przyjmij, że gęstość wody to $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Pomiń wpływ ciśnienia atmosferycznego.



Skafander głębinowy

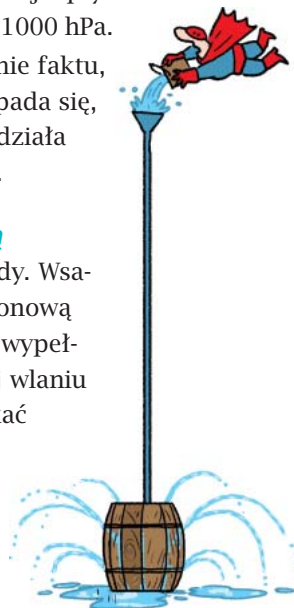
Zadanie 6. *Freediving*

Rekordziści uprawiający freediving (czyt. fridajwing), czyli nurkowanie na wstrzymanym oddechu, bez butli z tlenem, potrafią zanurkować na głębokość ponad 100 m.

- a) Oblicz wartość siły parcia działającej na kwadratowy fragment pleców nurka o wymiarach $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ na głębokości 100 m, w wodzie o gęstości $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Uwzględnij wpływ ciśnienia atmosferycznego 1000 hPa.
- b) Zaproponuj wyjaśnienie faktu, że ciało nurka nie zapada się, mimo że z zewnątrz działa na nie duże ciśnienie.

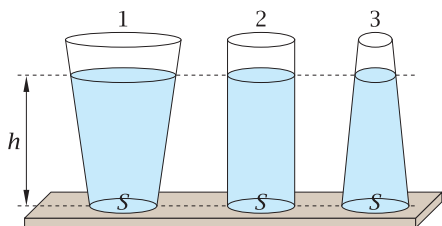
Zadanie 7. *Beczka z rurką*

W beczce było 100 l wody. Wsadzono do niej cienką pionową rurkę o długości 15 m i wypełniono ją 2 l wody. Po jej wlewniu beczka zaczęła przeciekać i pękać. Oblicz zmianę ciśnienia w beczce, którą spowodował słup wody w rurce. Gęstość wody to $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Zadanie 8. Naczynia o różnym kształcie

Naczynia pokazane na rysunku mają taką samą masę oraz dna o takim samym polu powierzchni S . Słup wody w każdym naczyniu ma tę samą wysokość.



W miejscu $?$ wstaw znak: $<$, $>$ lub $=$.

- a) Oznaczmy przez m_1 , m_2 , m_3 masy porcji wody w naczyniach 1, 2, 3. Wtedy:

$$m_1 \text{ ? } m_2 \qquad m_2 \text{ ? } m_3 \qquad m_1 \text{ ? } m_3$$

- b) Oznaczmy przez F_{n1} , F_{n2} , F_{n3} wartości sił nacisku naczyń 1, 2, 3 (wraz z zawartą w nich wodą) na blat. Wtedy:

$$F_{n1} \text{ ? } F_{n2} \qquad F_{n2} \text{ ? } F_{n3} \qquad F_{n1} \text{ ? } F_{n3}$$

- c) Oznaczmy przez p_1 , p_2 , p_3 ciśnienia tuż przy dnach w naczyniach 1, 2, 3. Wtedy:

$$p_1 \text{ ? } p_2 \qquad p_2 \text{ ? } p_3 \qquad p_1 \text{ ? } p_3$$

- d) Niech F_1 , F_2 , F_3 oznaczają wartości sił parcia wody na dna naczyń 1, 2, 3. Wtedy:

$$F_1 \text{ ? } F_2 \qquad F_2 \text{ ? } F_3 \qquad F_1 \text{ ? } F_3$$

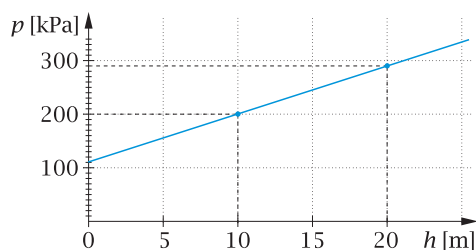
Zadanie 9. Wzrost ciśnienia

Nurek powoli opada w wodzie o gęstości $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

- a) O ile wzrasta ciśnienie działające na nurka, gdy zanurza się on o 1 m głębiej?
- b) Czy niezbędna jest znajomość aktualnej głębokości nurka, aby udzielić odpowiedzi na pytanie w podpunkcie a)?
- c) Czy niezbędna jest znajomość ciśnienia atmosferycznego, aby udzielić odpowiedzi na pytanie w podpunkcie a)?

Zadanie 10. Zbiornik z ropą naftową

W głębokim zbiorniku znajduje się ropa naftowa. Wykres przedstawia zależność ciśnienia p od głębokości h w zbiorniku.



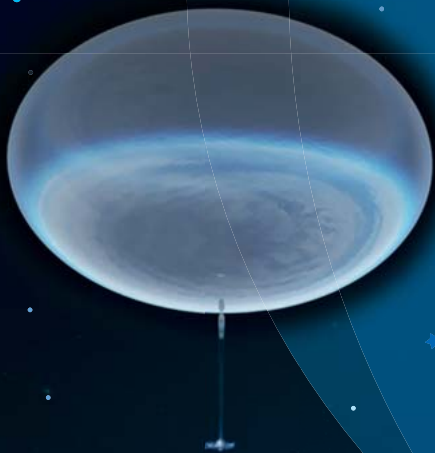
- a) Określ wartość ciśnienia powietrza, które znajduje się nad ropą.
- b) Oblicz, o ile zwiększa się ciśnienie, gdy głębokość wzrasta o 10 m.
- c) Oblicz gęstość ropy.

i 1 kPa (1 kilopaskal) to 1000 Pa.



Jak myślisz?

- Dlaczego gęstość powietrza w atmosferze zmniejsza się wraz z wysokością?
- Pod jakim ciśnieniem akwalung dostarcza nurkowi gaz?
- Dlaczego nurkowie używający akwalungów powinni bardzo powoli wynurzać się po przebywaniu na dużej głębokości, a nurkujący na wstrzymanym oddechu mogą wypływać bardzo szybko?
- Dlaczego woda wypływa z kranu?
- Czy można zmierzyć ciśnienie atmosferyczne za pomocą wody?



Balon stratosferyczny umożliwia loty na wysokości około 20–40 km nad ziemią. Balony takie są przeważnie wykorzystywane do badań pogody, promieniowania kosmicznego lub zapewniania dostępu do internetu. Na ziemi balon jest napełniany niewielką porcją gazu (wodoru lub helu) i na początku lotu wygląda na prawie pusty. Wraz ze wzrostem wysokości spada ciśnienie atmosferyczne działające od zewnątrz na powłokę balonu. Na przykład na wysokości 20 km ciśnienie atmosferyczne wynosi tylko około 50 hPa. Ciśnienie gazu zawartego w powłoce balonu jest wtedy wystarczające, by nadąć balon w pełni.



W 2012 r. **batyskaf** pilotowany przez reżysera Jamesa Camerona (czyt. dżejmsa kamerona) zszedł na głębokość 10,9 km poniżej poziomu morza w Głębi Challenger w Rowie Mariańskim. Skulony pilot siedział we wnętrzu stalowej kuli o średnicy 1,1 m. Kabina pilota była obudowana wytrzymałym korpusem wykonanym z tworzywa sztucznego o gęstości mniejszej niż gęstość wody. Konstrukcja została specjalnie zaprojektowana, by nie zapadać się pod wpływem ciśnienia. Jednak korpus o wysokości 7,3 m i tak skurczył się o około 6 cm. Aby rozpocząć wynurzenie, pilot odrzucił balast. Zastanów się, dlaczego poszukiwano materiału o małej gęstości, który trudno ścisnąć.



Lekcja dodatkowa. Naczynia połączone



Przedstawiona na zdjęciu konstrukcja, ustawiona powyżej okolicznych zabudowań, to wieża ciśnień. Do takiej wieży wpom-powywano wodę i podłączano ją do sieci wodociągowej. W ten sposób, gdy ktoś odkręcał kurek, woda leciała z jego kranu. Jak dokładnie działała taka wieża?

Jak ciśnienie wpływa na poziom cieczy?

Dlaczego w dole wykopanym na plaży gromadzi się woda? W jakim celu budowano wieże ciśnień? Jak zbudować przyrząd do pomiaru ciśnienia atmosferycznego (barometr hydrostatyczny)? Wszystkie te pytania wiążą się z ustalaniem się poziomu cieczy w **naczyniach połączonych**, czyli takich, między którymi ciecz może swobodnie przepływać.

Cel lekcji

Dowiesz się, jak ciśnienie wpływa na zachowanie się cieczy w połączonych naczyniach oraz jakie mają one zastosowania.

Doświadczenie

Wygięty wąż, czyli naczynia połączone

- ① Przygotuj wodę oraz przezroczysty wąż o długości 1 m i średnicy wewnętrznej co najmniej 1 cm.
- ② Nalej wody do węża tak, żeby wypełniony był mniej więcej w połowie.
- ③ Wygnij wąż w kształt litery U. Powoli podnoś i opuszczaj każdy z końców.
- ④ Wygnij wąż w kształt fali (litery W bez załamania). Podnoś i opuszczaj końce i środkowy fragment tak, by do środkowego fragmentu nie dostało się powietrze.
- ⑤ Jak zachowują się poziomy wody? Czy któryś jest wyżej?

Wygięty wąż jest najprostszym przykładem naczyń połączonych. Gdy końce węża nie są zatkane, to woda w każdym z nich znajduje się zawsze na tej samej wysokości.

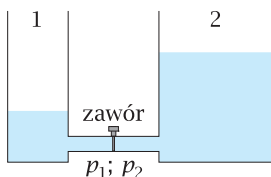


Przykład naczyń połączonych.

W otwartych naczyniach połączonych ciecz przepływa w taki sposób, że jej **poziom ustala się na takiej samej wysokości** w każdym z naczyń.

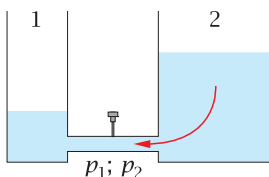
Aby zrozumieć dlaczego tak się dzieje, przyjrzyjmy się dwóm naczyniom połączonym rurką z zaworem (zob. poniższe rysunki). Na początku zawór jest zamknięty (Rys. A) i w prawym naczyniu poziom wody znajduje się wyżej niż w lewym naczyniu.

Ciśnienie z prawej strony zaworu jest większe niż ciśnienie z lewej strony. Wynika to z faktu, że w prawym naczyniu jest wyższy słup wody niż w lewym. Po otwarciu zaworu ciecz dąży do wyrównania ciśnień. Woda będzie przepływać rurką z prawego naczynia do lewego (Rys. B).

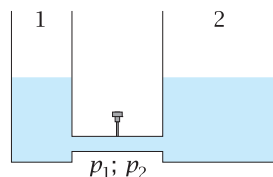


Rys. A. Zawór zamknięty.

$$p_1 < p_2$$



Rys. B. Po otwarciu zaworu woda przepływa do lewego naczynia.



Rys. C. Po ustaniu przepływu.

$$p_1 = p_2$$

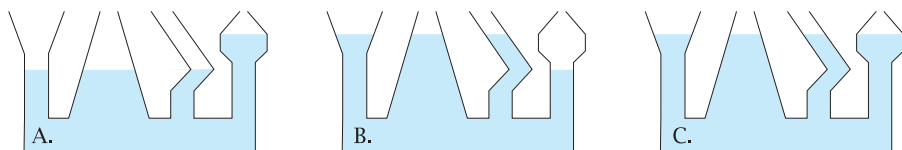
Przepływ ustanie, gdy poziom wody w naczyniach będzie taki sam (Rys. C). Gdyby teraz zamknąć zawór, to ciśnienie po obu jego stronach byłoby takie samo. W stanie równowagi, gdy nie następuje przepływ, w dowolnych punktach prawego i lewego naczynia, na tych samych wysokościach ciśnienie jest takie samo.

PRZYKŁAD 1. Które ze zdjęć czajniczka jest prawdziwe, a które są fotomontażem. Dlaczego? Przyjmij, że pokrywka czajniczka nie jest szczelna, a prawdziwe zdjęcie wykonano po ustaniu przepływu herbaty.



Odp. Prawdziwe jest środkowe zdjęcie. Tylko na nim poziom herbaty jest taki sam w głównej części czajniczka i w dzióbku.

ĆWICZENIE 1. Na którym rysunku poprawnie zaznaczono poziom wody w naczyniach połączonych po ustaniu przepływu?



Kartonik z sokiem i słomka to też przykład naczyń połączonych. Gdy ściśniesz kartonik, poziom soku w słomce będzie wyższy niż w pozostałej części kartonika. Z kolei, gdy wdmuchniesz powietrze do słomki, poziom soku w słomce będzie niższy niż w kartoniku.

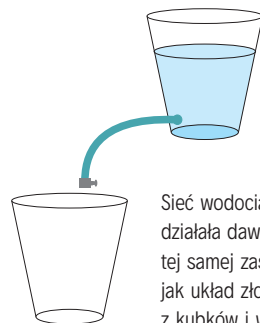
Poziom cieczy w naczyniach połączonych jest na tej samej wysokości, jeśli ciśnienie zewnętrzne, np. ciśnienie atmosferyczne działające na ciecz, jest takie samo. Jeśli w którymś z naczyń zmienimy ciśnienie powietrza nad cieczą, to poziom cieczy w tym naczyniu będzie inny.



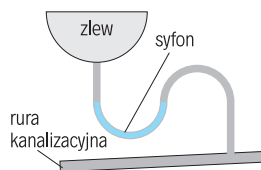
Ciśnienie zewnętrzne może zmienić poziom cieczy w części naczyń połączonych.

Zastosowania naczyń połączonych

Na poniższym rysunku z prawej strony są przedstawione dwa kubki. Ten znajdujący się wyżej jest wypełniony cieczą. Czy wiesz, jak zachowa się ciecz, gdy zawór zostanie otwarty? Na dokładnie takiej samej zasadzie działały dawne wieże ciśnieni. Wpompowywano wodę do umieszczonego wysoko zbiornika i gdy tylko któryś z odbiorców sieci wodociągowej odkręcał kurek, woda płynęła z kranu.



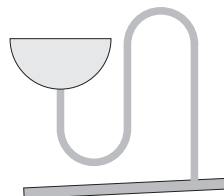
Sieć wodociągowa działała dawniej na tej samej zasadzie, jak układ złożony z kubków i wężyka.



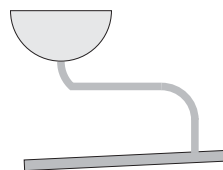
Innym przykładem zastosowania naczyń połączonych jest syfon. Odpływy zlewów są podłączone do kanalizacji za pomocą syfonów. Ich zadaniem jest zapobieganie przedostawaniu się gazów z kanalizacji do pomieszczenia.

PRZYKŁAD 2. Co się stanie, gdy w instalacji przedstawionej na schemacie obok zlew w całości zostanie napełniony wodą? Czy odpływ będzie działać poprawnie? Uzasadnij swoją odpowiedź.

Odp. W tej instalacji woda w ogóle nie będzie spływać rurami. Gdy zlew zostanie wypełniony, woda zacznie przelewać się jego brzegami na podłogę.

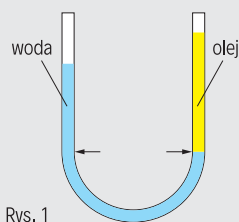


ĆWICZENIE 2. Czy instalacja przedstawiona obok na schemacie będzie zapobiegać przedostawaniu się gazów z kanalizacji do pomieszczenia? Uzasadnij swoją odpowiedź.

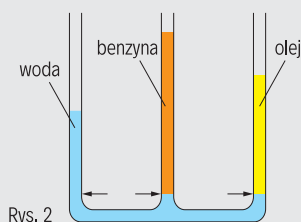


Dowiedz się więcej o naczyniach połączonych

Gdy do naczyń połączonych wlejemy olej oraz wodę, sytuacja będzie wyglądać tak, jak na poniższym Rys. 1. Poziom oleju będzie powyżej poziomu wody. Poziomy różnych, niemieszających się cieczy ustalają się w naczyniach połączonych tak, by na granicy między cieczami ciśnienie wywierane przez ciecz z jednego naczynia było równe ciśnieniu wywieranemu przez ciecz z każdego z pozostałych naczyń. Gęstość oleju jest mniejsza od gęstości wody, dlatego słup oleju musi być wyższy od słupa wody wywierającego takie samo ciśnienie.



Słup oleju i słup wody, mimo że różnych wysokości, wywierają takie samo ciśnienie na punkty oznaczone strzałkami.

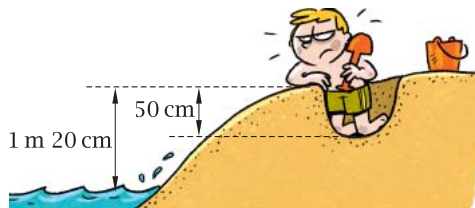


Jaką gęstość ma znajdująca się pośrodku benzyna w porównaniu z gęstością wody i oleju?

Na rysunkach różnice poziomów są powiększone. W rzeczywistości słup oleju jest o około 10%, a benzyny — o około 30% wyższy niż słup wody wywierający takie samo ciśnienie.

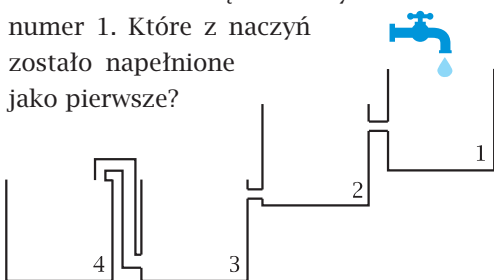
Zadanie 1. Dół

Chłopiec kopie dół na plaży. Postanowił, że będzie kopać tak długo, aż w dole pojawi się woda. Korzystając z informacji na rysunku, oblicz, o ile centymetrów musi pogłębić swój dół, żeby osiągnąć cel.



Zadanie 2. Labirynt naczyń połączonych

Przyjrzyj się poniższemu schematowi naczyń połączonych. Powolnym strumieniem woda lała się do naczynia numer 1. Które z naczyń zostało napełnione jako pierwsze?

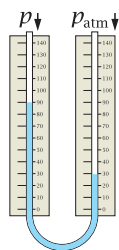


i Woda z kranu płynie dużo wolniej, niż wycieka z rurki naczynia nr 1 i pozostałych rurek.

Zadanie 3. U-rurka

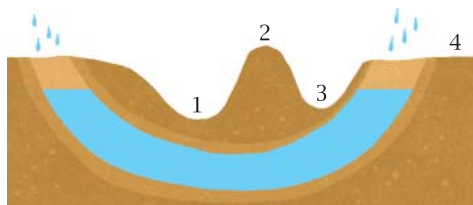
W rurce przedstawionej na rysunku znajduje się woda. W lewym ramieniu na powierzchnię wody działa ciśnienie p , a w prawym — ciśnienie atmosferyczne p_{atm} . Skoro woda nie porusza się, to:

- A. $p > p_{\text{atm}}$ B. $p = p_{\text{atm}}$ C. $p < p_{\text{atm}}$



Zadanie 4. Studnia artezyjska

Poniższy schemat przedstawia wody artezyjskie znajdujące się pomiędzy nieprzepuszczalnymi warstwami skał. Po wykonaniu pionowego odwiertu w odpowiednim miejscu, woda będzie samoczynnie wypływać na powierzchnię (jak fontanna).

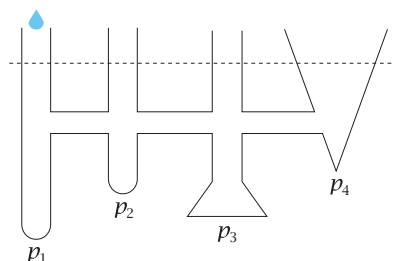


i Na wody podziemne działa ciśnienie atmosferyczne — powietrze ma dostęp do przestrzeni między warstwami, tak jak deszcz.

- Wskaż, w których z miejsc oznaczonych liczbami warto zrobić pionowy odwiert.
- Wskaż, w którym z tych miejsc pionowy odwiert może być najkrótszy.

Zadanie 5. Ciśnienie w naczyniach

Oto schemat naczyń połączonych:



Do lewego naczynia lano wodę do czasu, gdy poziom wody w naczyniach ustalił się na wysokości przerywanej linii. Za pomocą symboli p_1 , p_2 , p_3 , p_4 oznaczono ciśnienie panujące przy dnie każdego z naczyń. Uporządkuj ciśnienia panujące przy dnie naczyń w kolejności od najniższego na najwyższego.

Zadanie 6. *Poidło dla ptaków*

Proste poidło można skonstruować z odwróconej butelki o sztywnych ściankach i miseczki. Gdy poziom wody w miseczce obniży się poniżej otworu butelki, wtedy do butelki dostanie się pęcherzyk powietrza i wypłynie z niej porcja wody.

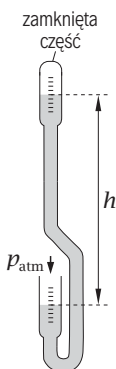


Woda wypływa do miseczki, ponieważ ciśnienie w butelce chwilowo:

- A. się zwiększa
- B. się zmniejsza

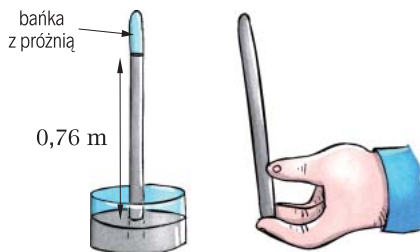
Zadanie 7. *Barometr hydrostatyczny*

Barometr hydrostatyczny służy do pomiaru ciśnienia atmosferycznego. W górnej, zamkniętej części powstaje próżnia. Lewe ramię rurki jest otwarte. Rurkę wypełniono rtęcią o gęstości $13\,500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Oblicz różnicę h poziomów rtęci. Przyjmij $p_{\text{atm}} = 1013 \text{ hPa}$.



Zadanie 8. *Słup rtęci i Torricelli*

W XVII wieku Evangelista Torricelli (czyt. ewangelista toricelli) wpadł na ciekawy pomysł. Napełnił rtęcią długą rurkę zamkniętą z jednej strony, zatkał palcem wylot, a potem zanurzył ją w otwartym naczyniu także z rtęcią. Słup rtęci w rurce opadł, ale tylko do poziomu około 0,76 m ponad lustro rtęci w naczyniu.

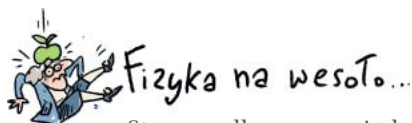


W górnej części rurki powstała bańka z próżnią. Próżnia nie wywiera ciśnienia (nie ma co go wywierać). Zgodnie z prawem naczyń połączonych wysokość słupa rtęci musiała być taka, by zrównoważyć ciśnienie atmosferyczne wypychające rtęć do rurki. Gęstość rtęci to $13\,500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

- a) Oblicz ciśnienie atmosferyczne w miejscu eksperymentu Torricellego.
- b) Co by się stało, gdyby zamknąć doświadczenie Torricellego szczelnie kloszem i wypompować z niego całe powietrze?



- Co to znaczy „poziom morza”?
- Czym zastąpiono wieże ciśnień? W jaki sposób obecnie woda jest „pompowana” do naszych kranów?
- Jak spuścić paliwo z baku samochodu tylko za pomocą wężyka?



Stary wędkarz opowiada młodszemu kolegom o swoich legendarnych dokonaniach.
— A z tego tam jeziora to kiedyś wyciągnąłem takiego suma, że woda w okolicznych studniach obniżyła się o pół metra!