Ciśnienie hydrostatyczne w obliczeniach

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Gra edukacyjna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela

Źródło: dostępny w internecie: https://pxhere.com/en/photo/892909 [dostęp 19.03.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe?

Do płynów zalicza się ciecze i gazy. Wykazują one w stanie równowagi, w polu grawitacyjnym Ziemi, szereg ciekawych cech. Jednym ze zjawisk z nimi związanych jest występowanie ciśnienia hydrostatycznego. Jest to ciśnienie p wywołane przez płyn i zależne jedynie od wysokości słupa płynu h, przyspieszenia grawitacyjnego g oraz gęstości płynu d. Często wyraża się je wzorem

$$p = dgh \ .$$

Ciekawe jest to, że ciśnienie hydrostatyczne nie zależy od masy płynu (wielkości i kształtu naczynia), a zależy od wysokości słupa płynu h. Można sprawdzić, że w naczyniach o różnym kształcie, do których wlejemy jednakową ciecz i będzie ona miała taką samą wysokość w każdym naczyniu (Rys. a.), ciśnienia wywierane na dno każdego naczynia będą takie same. Jest to ilustracja tzw. paradoksu hydrostatycznego.

Rys. a. Naczynia w różnych kształtach wypełnione wodą

Źródło: dostępny w internecie: https://pixabay.com/pl/photos/laboratorium-aparat-ekwipunek-217041/ [dostęp 19.03.2022], domena publiczna.

Można to sprawdzić doświadczalnie oraz obliczyć w ciekawych przykładach; można też stwierdzić, że jego zakres stosowalności jest ograniczony. Odpowiedzi na pytanie, jak to zrobić, szukaj w tym e-materiale.

Twoje cele

- zdefiniujesz ciśnienie hydrostatyczne,
- dowiesz się, jaka jest wartość ciśnienia normalnego i jak przeliczać jednostki ciśnienia,
- przeanalizujesz różnice między ciśnieniem w zbiornikach otwartych i zamkniętych,
- zrozumiesz znaczenie ciśnienia hydrostatycznego w życiu codziennym i w przyrodzie,
- przekonasz się, że ciśnienie hydrostatyczne nie zależy od wielkości i kształtu naczynia oraz masy płynu.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Ciśnienie p to wielkość skalarna, która dla danej powierzchni S równa jest ilorazowi wartości składowej prostopadłej do S siły $\vec{F}$ przez pole tej powierzchni,

$$p = \frac{F_{\perp}}{|S|} \ .$$

> **Uwaga!**
>
> W dalszej części będziemy opuszczać symbol $|$, uznając, że nie prowadzi to do nieporozumień - wiadomo, że dzielimy przez pole powierzchni, a do powierzchni jako takiej odwołujemy się rzadziej.

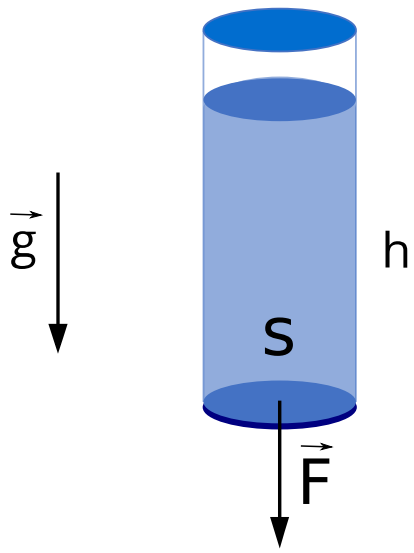
Jednostką ciśnienia jest paskal, $\mathrm{Pa} = \mathrm{N/m}^2$

W zamkniętym naczyniu cylindrycznym o polu powierzchni podstawy S i wysokości h znajduje się płyn o masie m wypełniający to naczynie (Rys. 1.).

Rys. 1. Ciecz w naczyniu zamkniętym

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

W polu grawitacyjnym Ziemi płyn działa na dno naczynia siłą o wartości $F = mg$ (Rys. 2.), co odpowiada ciśnieniu $p = \frac{mg}{S}$.



Rys. 2. Cylindryczne naczynie zamknięte wypełnione cieczą. Na dno naczynia działa siła nacisku równa co do wartości ciężarowi cieczy.
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ponieważ $m = dV$ (d to gęstość płynu, zaś objętość naczynia to $V = Sh$), ciśnienie płynu przy dnie naczynia wynosi

$$p = dgh \ .$$

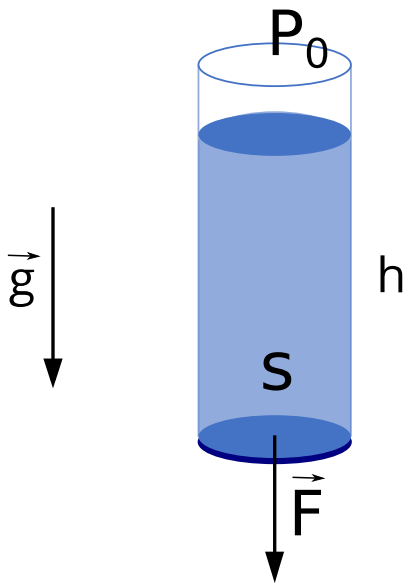
Zależy więc ono tylko od wysokości słupa cieczy w naczyniu i jej gęstości oraz przyspieszenia grawitacyjnego, a nie zależy wprost od ciężaru cieczy. Jest to ciśnienie hydrostatyczne, a dość nieintuicyjny - na pierwszy rzut oka - brak zależności od ciężaru jest powodem określenia tej zależności jako paradoksu hydrostatycznego.

Jeżeli naczynie z płynem będzie otwarte (Rys. 3. i 4.) to ciśnienie wywierane na dno naczynia będzie większe o wartość ciśnienia zewnętrznego, czyli tutaj atmosferycznego p_0:

$$p = dgh + p_0 \ .$$

Rys. 3. Ciecz w naczyniu otwartym

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.



Rys. 4. Ciecz w naczyniu otwartym.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Atmosfera ziemska rozciąga się nad powierzchnią Ziemi na wysokość ponad 100 km. Jako wartość średnią ciśnienia atmosferycznego, tzw. ciśnienie normalne, przyjęto wartość ciśnienia powietrza na poziomie morza,

$$p_0 = 1013\,25\,\mathrm{Pa}\,.$$

Jest to wartość nazywana 1 atmosferą. Inne jednostki to bar i używany w meteorologii hektopaskal (czyli sto paskali) oraz milimetry słupa rtęci, przy czym

$$1\,\mathrm{bar} = 10^5\,\mathrm{Pa}\,, \quad 1\,\mathrm{atm} = 760\,\mathrm{mmHg}\,.$$

Przykład - masa atmosfery ziemskiej

Atmosferę Ziemi stanowi warstwa powietrza utrzymywana przy powierzchni siłami grawitacji. Można oszacować masę atmosfery M, uwzględniając ciśnienie normalne p_0 oraz pole powierzchni Ziemi.

Ponieważ

$$p_0 = \frac{Mg}{4\pi R^2}\,,$$

gdzie g - przyspieszenie ziemskie, R - promień Ziemi, to

$$M = \frac{4\pi R^2}{g} p_0 \approx \frac{12,56 \cdot 4,06 \cdot 10^{13}\,\mathrm{m}^2}{9,80665\,\mathrm{m/s}^2} \cdot 101325\,\mathrm{Pa} \approx 5,27 \cdot 10^{18}\,\mathrm{kg}\,.$$

Stanowi to ok. 1 milionowej masy Ziemi równej ok. $5,795 \cdot 10^{24}$ kg.

Dla zainteresowanych

Jednak nie jest to koniec analizy. Można na podstawie założeń tego rozumowania i uzyskanego wyniku oszacować średnią gęstość powietrza. Jego „kształt" to - w przybliżeniu - wydrążona kula o promieniach wewnętrznym R oraz zewnętrznym $R + h_A$. Objętość powietrza wynosi zatem

$$V = \frac{4}{3}\pi[(R + h_A)^3 - R^3]\,,$$

wobec tego

$$d = \frac{M}{V} = \frac{4\pi R^2}{\frac{4}{3}\pi[(R + h_A)^3 - R^3]} \frac{p_0}{g}\,.$$

Po uproszczeniu uzyskujemy

$$d = \frac{3p_0}{g} \frac{R^2}{3R^2 h_A + 3Rh_A^2 + h_A^3} = \frac{p_0}{gh_A} \frac{1}{1 + x + \frac{1}{3}x^2}\,,$$

gdzie $x = h_A/R \approx 1,6\%$. Widać więc, że w mianowniku spokojnie możemy opuścić wyraz kwadratowy w tej zmiennej, otrzymując w grubym przybliżeniu

$$d \approx \frac{p_0}{gh_A} \approx 0.1\,\mathrm{kg/m}^3\,.$$

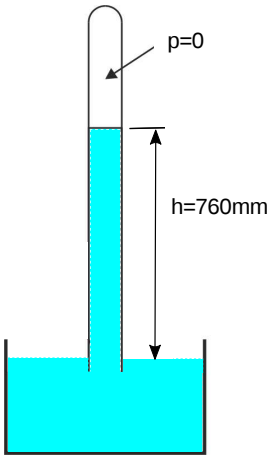
Jest to wynik o rząd wielkości mniejszy od gęstości powietrza na poziomie morza, ale nie należy go od razu odrzucać - trzeba pamiętać o fakcie, że gęstość tu występująca jest

średnią gęstością w zakresie wysokości od 0 do h_A. Okazuje się jednak, że nawet orientacyjne próby uwzględnienia tu zależności $d(h)$ (z pomocą wzoru barometrycznego) nie dają żadnych widocznych - przy tej dokładności - poprawek. Powinniśmy jednak uświadomić sobie, że nasze rozumowanie w ogóle nie uwzględnia ciśnienia powietrza wynikającego z jego własności jako gazu, a nie jest ono zbiorem nieruchomych cząstek.

Więcej o ciśnieniu wywołanym chaotycznymi ruchami cząstek w gazach dowiesz się z e-materiału *„Teoria kinetyczno-molekularna gazu doskonałego”.*

Przykład - prawo Archimedesa

Istnienie ciśnienia atmosferycznego wykazał doświadczalnie Torricelli w XVII wieku. Wykazał, że słup rtęci w naczyniu zamkniętym o wysokości $760\ \mathrm{mm}$ równoważy ciśnienie atmosferyczne o wartości $1013\ 25\ \mathrm{Pa}$. Wyjaśnił, że rtęć w probówce podtrzymywana jest przez ciśnienie atmosferyczne. Wysokość słupa rtęci zależy od wartości tego ciśnienia. Jest to zasada działania barometru rtęciowego (Rys. 5.).

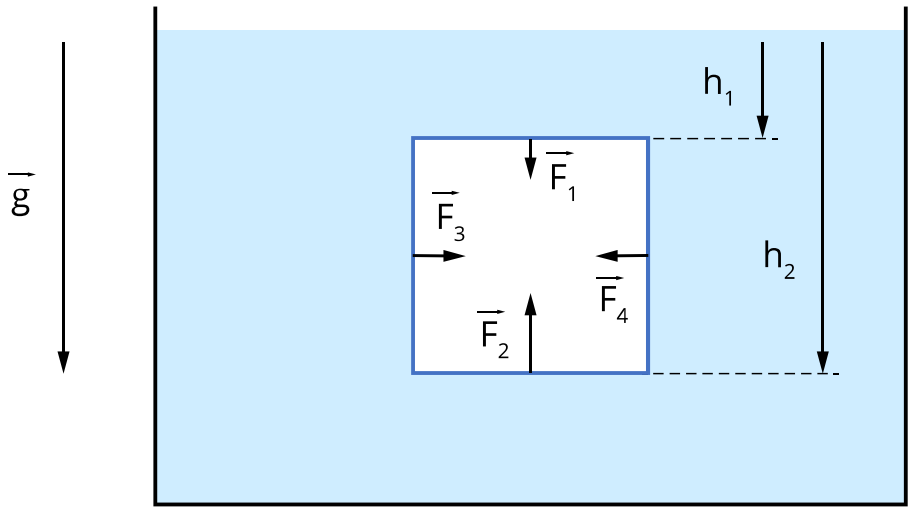


Rys. 5. Schemat działania barometru rtęciowego. W wyniku parcia słupa rtęci, jej część wypływa z probówki. Nad słupem rtęci tworzy się próżnia, tzw. próżnia Torricellego. Po ustaleniu się równowagi w rurce pozostaje część rtęci; jej wysokość nad powierzchnią rtęci na zewnątrz jest niezależna od długości rurki (o ile rurka jest odpowiednio długa!), tylko od ciśnienia atmosferycznego.
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Doświadczenia Torricellego zainspirowały Pascala do zbadania zależności ciśnienia od wysokości. Ponieważ ciśnienie zależy od wysokości słupa powietrza znajdującego się powyżej miejsca, w którym je mierzymy, więc wysoko w górach będzie ono niższe niż na poziomie morza.

Płyny oddziałują na zanurzone w nich ciała siłami nacisku (parcia) skierowanymi prostopadle do powierzchni tych ciał. W jednorodnej cieczy ciśnienie jest jednakowe

w punktach leżących na jednakowej wysokości nad Ziemią. Im głębiej zanurzymy obiekt w cieczy, tym ciśnienie to jest większe. Ta właściwość prowadzi do powstania siły wyporu. Rozważmy siły nacisku działające na sześcian o długości krawędzi a umieszczony w cieczy o gęstości d (Rys. 6.).



Rys. 6. Siły nacisku działające na sześcian zanurzony w cieczy. Siły $\vec{F}_3$ oraz $\vec{F}_4$ działają na ścianki boczne; ich wartości są jednakowe, a zwroty przeciwne. Siły $\vec{F}_1$ oraz $\vec{F}_2$ także mają przeciwne zwroty, jednak ich wartości są różne.
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

W płynie na różnych głębokościach panuje różne ciśnienie hydrostatyczne - im głębiej, tym ciśnienie to jest większe. Na ścianki boczne zanurzonego ciała działają siły o takich samych wartościach i przeciwnych zwrotach, które się kompensują. Inaczej jest ze ściankami górną i dolną. Ciecz wywiera większe ciśnienie na podstawę dolną zanurzonego ciała niż na powierzchnię górną. Wypadkowa działających tu sił to właśnie siła wyporu, wielkość zbadana pierwotnie przez Archimedesa.

Siła nacisku cieczy $\vec{F}_1$ na górną ściankę, na głębokości h_1 ma wartość

$$F_1 = dgh_1a^2 \ ,$$

analogicznie, dla dolnej ścianki na głębokości h_2,

$$F_2 = dgh_2a^2 \ .$$

Wypadkowa tych sił jest skierowana do góry i ma wartość $F = F_2 - F_1$, a ponieważ $h_2 - h_1 = a$, to

$$F = dga^3 \ .$$

Siła wyporu równa jest więc ciężarowi cieczy zawartej w objętości zanurzonego ciała i nie zależy od masy ciała, a jedynie od jego objętości. Prawo Archimedesa głosi, że na każde ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu cieczy, skierowana ku górze, a więc przeciwnie niż ciężar ciała, i równa co do wartości ciężarowi cieczy wypartej przez to ciało, co zapisujemy jako

$$F_w = dgV \ ,$$

gdzie V to objętość zanurzonej części ciała (może być ona równa jego całkowitej objętości).

> **Problem 1**
>
> Siła wyporu zależy od gęstości cieczy, w której zanurzamy ciało. Oszacuj średnie zanurzenie człowieka, pływającego w rtęci (oczywiście ubranego w odpowiedni skafander i wyposażonego w aparat oddechowy, by uniknąć zatrucia).

> **Problem 2**
>
> Na pewnej planecie wśród istot wyżej rozwiniętych krąży do dziś legenda o starożytnym robocie, który spacerował po płynnej lawie. Robot był skonstruowany z lekkiej stali z dodatkiem tytanu i wolframu, więc na pewno nie groziło mu stopienie. Oblicz, jaka musiałaby być gęstość d tej lawy, żeby zanurzył się podczas tego przejścia na głębokość, która - przy zadanej konstrukcji - odpowiadałaby $n = 3\%$ jego objętości. Średnia gęstość robota to $d' = 2,137\,\mathrm{g/cm^3}$. Grawitacja przy powierzchni planety odpowiada przyspieszeniu $g = 6,66\,\mathrm{m/s^2}$.

Przykład - dno Rowu Mariańskiego

Obliczmy ciśnienie wody na dnie Rowu Mariańskiego ($h = 10911\,\mathrm{m}$ p.p.m.). Woda morska ma gęstość $d_w = 1030\,\mathrm{kg/m^3}$, przyspieszenie grawitacyjne g = 9,80665 $\mathrm{m/s^2}$. Ile razy to ciśnienie jest większe od ciśnienia atmosferycznego?

Rozwiązanie: Wiemy, że

$$p(h) = d_w g h + p_0 \ ,$$

więc po podstawieniu danych liczbowych dostajemy

$$p = 110\,311\,693\,\mathrm{Pa} \approx 110,3\,\mathrm{MPa} \ .$$

(Wartość podawana w literaturze wynosi $110,2\,\mathrm{MPa}$.) Zatem

$$\frac{p}{p_0} \approx 1089 \ .$$

Rów Mariański badany był z wykorzystaniem specjalnie w tym celu zbudowanego batyskafu załogowego. Wysoka wartość ciśnienia hydrostatycznego (ponad 1000 razy większa od ciśnienia atmosferycznego) spowodowałaby zgniecenie zwykłego okrętu podwodnego.

Słowniczek

Ciśnienie hydrostatyczne

(ang. *hydrostatic pressure*) – ciśnienie w spoczywającej cieczy znajdującej się w polu grawitacyjnym.

Ciśnienie normalne

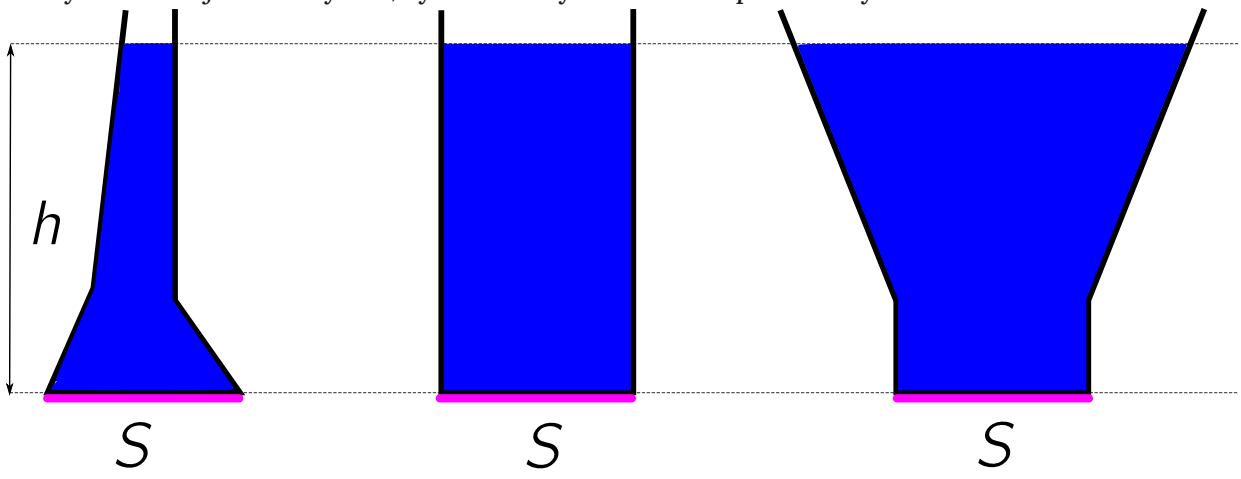
(ang. *normal pressure*) – ciśnienie równe 101 325 Pa, czyli 1 atmosferze fizycznej, jeden z parametrów warunków normalnych. W przybliżeniu odpowiada ciśnieniu atmosferycznemu.

Ciśnienie atmosferyczne

(ang. *atmospheric pressure*) – stosunek wartości siły, z jaką słup powietrza atmosferycznego naciska na powierzchnię Ziemi (lub innej planety), do powierzchni, na jaką ten słup naciska.

Paradoks hydrostatyczny

(ang. *hydrostatic paradox*) – ciśnienie na dnie naczynia nie zależy wprost od ciężaru cieczy zawartej w naczyniu, tylko od wysokości słupa cieczy nad dnem.



Różne naczynia o jednakowych podstawach z taką samą cieczą. Różna jej ilość, a więc masa, ilustruje paradoks hydrostatyczny.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Paradoks

(ang. *paradox*) - rozumowanie błędne (albo prawidłowe oparte na błędnych przesłankach), prowadzące do wniosku sprzecznego ze zdrowym rozsądkiem ew. prawdą przyrodniczą bądź matematyczną. Tłumaczenie i traktowanie paradoksów silnie zależy od dyscypliny, w której wystąpią. W matematyce prowadzi do ujawnienia błędu, w naukach przyrodniczych może doprowadzić do obalenia teorii opisującej dane

zjawisko bądź podważyć metodę jego badania w doświadczeniu. W naukach humanistycznych może stać się nawet zaczątkiem nowej „szkoły”.

(Źródłosłów: od greckiego *παρά (para)* - *oboczny, różny od*, *δοξος (doksos)* - opinia. W starogreckim *παράδοξος* oznaczało *dziwny, niespodziewany*.

Atmosfera Ziemi

(ang. *Earth's atmosphere*) – powłoka gazowa otaczająca Ziemię, utrzymywana przy powierzchni przez grawitację. Pozwala także na istnienie wody w stanie ciekłym, różnorodnego życia na Ziemi, dostarczając substancji niezbędnych do jego podtrzymania i chroniąc przed promieniowaniem ultrafioletowym Słońca.

Siła wyporu

(ang. *buoyant force*) – siła działająca na ciało zanurzone w płynie, czyli w cieczy lub gazie. Siła wyporu równa jest co do wartości ciężarowi płynu wypartego przez zanurzone w nim ciało i jej zwrot jest przeciwny do zwrotu siły ciężkości.

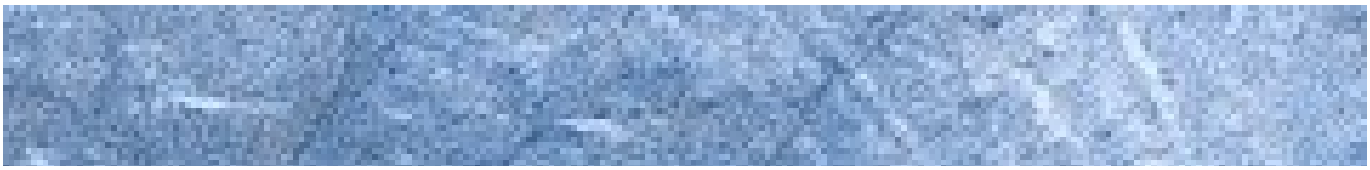
Rów Mariański

(ang. *Mariana Trench*) – najgłębszy (głębokość do (10911 ± 40) m p.p.m.) znany rów oceaniczny na Ziemi, położony w zachodniej części Oceanu Spokojnego.

Gra edukacyjna

Gra edukacyjna „Nurkowanie”

Rozpocznij swoją przygodę z nurkowaniem od suchej zaprawy w postaci pytań. Quiz jest wyprawą po różnych głębokościach nurkowania, od basenu po prawdziwe morskie głębiny. Powodzenia!



Test

Gra edukacyjna "Nurkowanie"

Rozpocznij swoją przygodę z nurkowaniem od suchej zaprawy w postaci ciekawej gry. Quiz jest wyprawą po różnych głębokościach nurkowania, od basenu po prawdziwe morskie głębiny. Powodzenia!

Poziom trudności:

łatwy

Limit czasu:

2 min

Twój ostatni wynik:

-

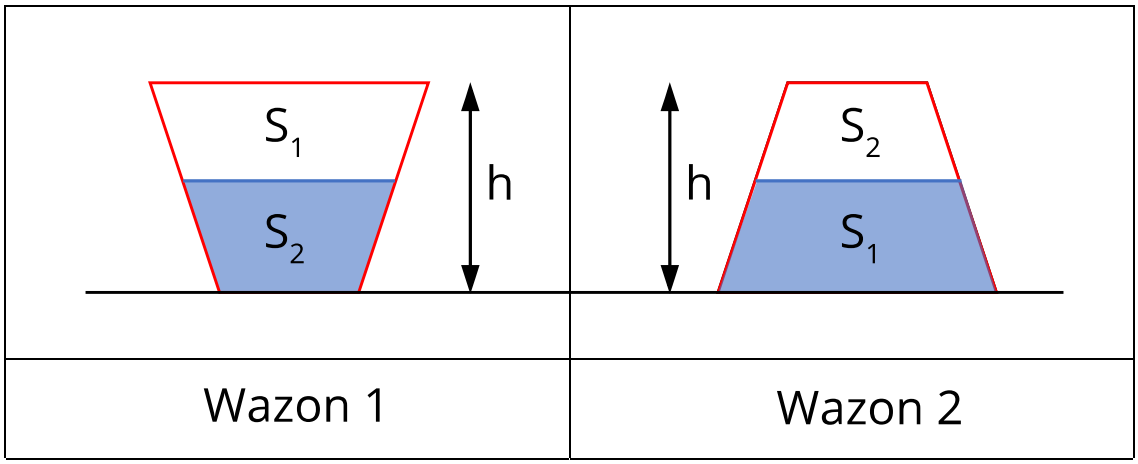
Uruchom

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Dwa różne wazony mają kształt stożka ściętego o polach podstawy S_1 i S_2, ($S_1 > S_2$) i wysokości h. Wazony napełniono wodą do połowy wysokości. Jakie będzie ciśnienie hydrostatyczne wody na poziomie dna tych wazonów?



- W wazonie 1 ciśnienie jest większe, gdyż $S_2 < S_1$
- W wazonie 2 ciśnienie jest większe, gdyż większa jest w nim masa wody
- Ciśnienia hydrostatyczne w wazonach są równe.

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 2

Do cylindrycznego naczynia o przekroju $15\,\mathrm{cm}^2$ wlano kolejno dwie niemieszające się ciecze. Najpierw wodę do wysokości $h_w = 30\ \mathrm{cm}$, a następnie warstwę nafty o grubości (wysokości) $h_n = 10\ \mathrm{cm}$. Oblicz ciśnienie przy dnie naczynia, przyjmując gęstość wody $d_w = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$ oraz gęstość nafty $d_n = 800\,\mathrm{kg/m^3}$. Wartości ciśnienia atmosferycznego oraz przyspieszenia ziemskiego znajdziesz w tablicach albo w części "Przeczytaj".

- 10502,7 Pa
- 105027 hPa
- 1050,27 hPa

Ćwiczenie 3

Oblicz ciśnienie atmosferyczne nad powierzchnią wody w zbiorniku, jeśli ciśnienie na dnie zbiornika o głębokości $h = 1{,}5\ \mathrm{m}$ wynosi $p = 1{,}15 \cdot 10^5\ \mathrm{Pa}$. Przyjmij, że gęstość wody wynosi $d = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$, a przyspieszenie ziemskie $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$

$p =$ [ ] $\cdot 10$ [ ] Pa.

Ćwiczenie 4

Ciecz z cylindrycznego naczynia przelano do innego naczynia (również cylindrycznego) o dwa razy mniejszym promieniu podstawy. Ile razy wzrosło ciśnienie hydrostatyczne cieczy na dno naczynia?

Ciśnienie wzrosło [ ] razy.

Ćwiczenie 5

Gdy zmieszano dwie ciecze o takich samych objętościach, otrzymano mieszaninę o gęstości d_{V}. Gdy te same ciecze zmieszano tak, że miały takie same masy, to uzyskana mieszanina miała gęstość d_{M}. Wyraź gęstości tych cieczy, d_1 oraz d_2, za pomocą danych zadania. Przyjmij, że ciecze te się mieszają, ale nie występuje przy tym zjawisko kontrakcji objętości.

Ćwiczenie 6

Szklanka napełniona jest wodą, ale w różny sposób przedstawiony na zdjęciach 1 i 2. Jakie jest ciśnienie przy dnie szklanki – na zdjęciu 1, a jakie na talerzyku – na zdjęciu 2?

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.	Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
Zdjęcie 1. Szklanka napełniona wodą, typowo ustawiona na talerzyku, dnem do dołu.	Zdjęcie 2. Odwrócona, do góry dnem, szklanka z wodą ustawiona na talerzyku.

Ćwiczenie 7

Znajdź wysokość słupa wody, który w naczyniu zamkniętym zrównoważy ciśnienie atmosferyczne. Gęstość wody $d = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$, przyspieszenie grawitacyjne $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$, ciśnienie normalne $p_0 = 101325\ \mathrm{Pa}$.

m.

Ćwiczenie 8

Atmosfera rozciąga się na wysokość ponad $100\ \mathrm{km}$. Oszacuj wartość jej wysokości, gdyby gęstość atmosfery była stała i równa tej na poziomie morza, $d = 1{,}255\,\mathrm{kg/m^3}$. Wartości ciśnienia normalnego i przyspieszenia ziemskiego znajdziesz w poprzednich zadaniach, tablicach, ew. w dziale "Przeczytaj".

Odp. _____ m.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Elżbieta Szerewicz
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Ciśnienie hydrostatyczne w obliczeniach**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne:** I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości. II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania - wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 1) przedstawia jednostki wielkości fizycznych, opisuje ich związki z jednostkami podstawowymi; przelicza wielokrotności i podwielokrotności; 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. II . Mechanika. Uczeń: 24) posługuje się pojęciem ciśnienia hydrostatycznego i stosuje je do obliczeń; analizuje równowagę cieczy w naczyniach połączonych.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	**Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:** • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. definiuje, czym jest ciśnienie hydrostatyczne; 2. stosuje ciśnienie hydrostatyczne w obliczeniach; 3. analizuje różnice między ciśnieniem w zbiornikach otwartych i zamkniętych; 4. określa znaczenie ciśnienia hydrostatycznego w przyrodzie i w życiu codziennym.
Strategie nauczania:	strategia obserwacyjna - dostrzeganie i definiowanie problemów oraz odkrywanie rzeczywistości
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach; praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Ciśnienie hydrostatyczne w obliczeniach”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Nauczyciel odwołuje się do potocznej wiedzy uczniów o ciśnieniu hydrostatycznym. Uczniowie dzielą się swoim doświadczeniem na temat nurkowania lub fascynacji łodziami podwodnymi.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel wyprowadza wzór na ciśnienie hydrostatyczne. Uczniowie podejmują dyskusję na jego temat. Nauczyciel tłumaczy, czym jest paradoks hydrostatyczny. Uczniowie napełniają wodą rurki o różnym kształcie do jednakowego poziomu wysokości. Nauczyciel wyjaśnia, czym jest pomiar przy pomocy barometru i jak jest on skonstruowany. Uczniowie obliczają masę atmosfery ziemskiej - rozwiązują zadanie rachunkowe. Następnie uczniowie i nauczyciel przechodzą do gry. Nauczyciel ustala punktację do gry (np. 0–5). Uczniowie oceniają swoje rozwiązania quizu.	
Faza podsumowująca:	
W ramach utrwalenia zdobytych wiadomości uczniowie rozwiązują zadania 1, 2, 3.	
Praca domowa:	
Zadania z zestawu ćwiczeń: obowiązkowo zadanie 8, ponadto: zadanie o treści następującej: Ustaw na talerzyku, do góry dnem, szklankę napełnioną wodą. Zrób zdjęcie, jeśli się uda. Wyjaśnij zachowanie wody.	

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Multimedium bazowe można wykorzystać na lekcji i połączyć z wykonaniem zadań oraz przedyskutowaniem wyników. Może też być wykorzystane przez uczniów po lekcji do powtórzenia i utrwalenia materiału.