

FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pakiet nr 1:

Fizyka w domu

Część 2

dr Dagmara SOKOŁOWSKA

*Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego
Uniwersytet Jagielloński*

Wersja UJ/1.0, marzec 2009

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomaganie pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Materiały do realizacji w czasie zajęć na uczelniach uczelnie przygotowują niezależnie.

<http://feniks.ujk.kielce.pl/>
feniks@th.if.uj.edu.pl

Fizyka w domu

Komentarz dla Nauczyciela



Plan zajęć

Warsztaty z jednego tematu przewidziano na 45 minut.
Przy każdym punkcie podano orientacyjny czas aktywności.

Co już wiemy

Zakładamy, że uczniowie przystępujący do warsztatów posiadają pewną wiedzę, bądź to z lekcji fizyki, bądź z poprzednich zajęć. W tym punkcie podajemy zagadnienia, które uczniowie powinni znać. Nauczyciel może ten fragment wiedzy przekazać na początku zajęć w formie 5 minutowego wykładu przypominającego.

Pytania wstępne




Zajęcia z właściwego tematu rozpoczynają się od pytań dotyczących omawianych później zagadnień. Są to najczęściej pytania związane z doświadczeniem, którego uczniowie nabierają w codziennym życiu lub z sytuacjami, które mogą znać z filmów, książek. Pytania należy skierować do całej grupy – nie należy w tym miejscu dawać gotowych odpowiedzi, jeśli uczniowie ich nie znają, ale pozostawić je otwarte. Jest to swojego rodzaju sondaż wiedzy i doświadczenia uczniów oraz sposób wprowadzenia do tematu warsztatów.

Dodatkowe pytania nauczyciela

W tym punkcie pozostawiamy Nauczycielowi miejsce na zadawanie dodatkowych lub pomocniczych pytań dotyczących danego tematu, a w szczególności fizyki w kontekście życia codziennego.

Doświadczenia z objaśnieniami, komentarzami

Warsztaty oparte są na doświadczeniach, które uczniowie będą wykonywali indywidualnie lub w dwuosobowych grupach. Mogą także zostać zaproponowane eksperymenty, które wykona sam Nauczyciel. Do każdego doświadczenia zostanie podany szczegółowy opis wraz z rozróżnieniem typu aktywności:

- indywidualnie 
- w grupach dwuosobowych 
- przez Nauczyciela 

oraz komentarz dotyczący powiązania prezentowanych w eksperymencie zagadnień z życiem codziennym. Uczniowie powinni wykonać doświadczenia samodzielnie posługując się objaśnieniami (które trzeba w takim przypadku skopiować w odpowiedniej liczbie i rozdać uczniom) lub wykonać je zgodnie z instrukcjami Nauczyciela.

Aby maksymalnie móc wykorzystać czas przeznaczony na warsztaty, na początku każdego zajęcia przyrządy i materiały do eksperymentów powinny zostać przygotowane w odpowiedniej ilości i ułożone na ławkach. Przy każdej ławce powinna pracować para uczniów.

Doświadczenia, które nauczyciel będzie wykonywał samodzielnie powinny być także przygotowane w możliwie maksymalnym stopniu jeszcze przed warsztatami.

Podsumowanie (dodatkowy komentarz, ciekawostki)

Tutaj Nauczyciel znajdzie podsumowanie tematu, ciekawostki itp. Tego dodatkowego komentarza do zajęć nie należy przedstawiać uczniom jako bloku informacji. Powinna to być kanwa do ponownej dyskusji, interakcji.

Pytania końcowe

/Zwłaszcza te, na które uczniowie nie odpowiedzieli na początku/

Pod koniec zajęć należy wrócić do pytań wstępnych i dodatkowych, upewniając się, że na wszystkie te pytania podczas warsztatów znaleziona została odpowiedź. Jest tu także miejsce na indywidualne impresje uczniów: co było zaskakujące, co im się w trakcie zajęć przypomniało w związku z tematem warsztatów.

Fizyka w domu

Komentarz dla Nauczyciela



Literatura dla Nauczyciela

Na końcu materiałów dotyczących danego tematu podajemy literaturę oraz linki w Internecie poszerzającą wiedzę w jego zakresie.

III. Ciśnienie

Co już wiemy (2 min)

- Co to jest ciśnienie?
- W jakich jednostkach mierzy się ciśnienie?

Pytania wstępne (4 min)

- Co to jest ciśnienie atmosferyczne?
- Przy okazji jakich informacji podaje się wartość ciśnienia atmosferycznego?
- Jaki jest orientacyjny przedział wartości ciśnienia atmosferycznego mierzonego w Polsce?
- Co to jest niż, co to jest wyż?
- Do czego służy barometr?
- Jaka jest orientacyjna wartość zalecanego ciśnienia w oponach samochodowych?
- Czy można by napić się przez słomkę do napojów na Księżycu?
- Jak działa przyssawka?
- Dlaczego wynurzający się z głębokości nurek musi regularnie oddychać?

Dodatkowe pytania nauczyciela (2 min)

Doświadczenia z objaśnieniami, komentarzami

Doświadczenie 1: Ciśnienie wywierane przez ciało stałe (3 min)

Doświadczenie 2: Ciśnienie hydrostatyczne w butelce (6 min)

Doświadczenie 3: Słomka do napojów (3 min)

Doświadczenie 4: Szklanka z widokówką (6 min)

Doświadczenie 5: Balonik w butelce (6 min)

Doświadczenie 6: Ciśnienie turgorowe (5 min)

Podsumowanie (dodatkowy komentarz, ciekawostki) (5 min)

Ciśnienie jest wielkością skalarną. W danym miejscu ciśnienie wywierane jest w każdym kierunku w taki sam sposób (ma taką samą wartość: w górę, w dół i na boki). W przyrodzie każde zaburzenie równowagi ciśnień jest niwelowane.

Ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez ciecze i gazy jest równe iloczynowi ich gęstości, wartości przyspieszenia planety oraz wysokości słupa cieczy lub gazu ponad miejscem, w którym ciśnienie jest wyznaczane. Na przykład ciśnienia wody w szerokim wazonie i w wąskiej szklance są takie same, pod warunkiem, że poziomy wody w obu naczyniach są na jednakowej wysokości ponad ich dnami, a zatem ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno nie zależy od pól powierzchni den obu naczyń.

Ciśnienie atmosferyczne ma stosunkowo dużą wartość. Aby organizmy nie zostały zgniecione, wytwarzają one ciśnienie wewnętrzne, równoważące ciśnienie atmosferyczne. Dlatego, gdyby człowiek został wprowadzony do pomieszczenia, w którym znajduje się próżnia - eksplodowałby.

Przyssawka utrzymuje się na powierzchni, ponieważ zostaje wyciśnięta znaczna część powietrza, które początkowo znajdowało się pomiędzy przyssawką a powierzchnią. Zatem pod przyssawką wytwarza się podciśnienie w stosunku do ciśnienia atmosferycznego dociskającego ją z zewnątrz.

Ciśnienie wywierane z zewnątrz na nurka jest sumą ciśnienia atmosferycznego powietrza wznoszącego się ponad taflą wody oraz ciśnienia hydrostatycznego słupa wody ponad nurkiem. Na dużych głębokościach, na które schodzą nurkowie, ciśnienie to może bardzo różnić się od ciśnienia atmosferycznego, do którego przyzwyczajony jest ludzki organizm. Aby klatka piersiowa nie została zgnieciona, ciśnienie w płucach musi być równie duże (co zostaje zapewnione dzięki użyciu butli gazowych). Kiedy nurek wypływa na powierzchnię, musi intensywnie oddychać. Wraz z każdym oddechem ciśnienie w jego płucach jest coraz mniejsze i zbliża się do wartości ciśnienia

III. Ciśnienie

atmosferycznego na powierzchni. Jeśli nurek nabrałby powietrza w płuca na dużej głębokości, a następnie wypłynąłby na powierzchnię bez oddychania, jego płuca zostałyby rozerwane.

Pytania końcowe (3 min)

/Zwłaszcza te, na które uczniowie nie odpowiedzieli na początku/

Literatura i linki internetowe dla Nauczyciela

1. Rakiety śnieżne: <http://www.napieraj.pl/xoops/modules/wfsection/article.php?articleid=260>
2. Barometr – zasada działania, przykłady: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Barometr>

III. Ciśnienie

Doświadczenie 1: Ciśnienie wywierane przez ciało stałe



Przyrządy i materiały:

jeden (np. prawy) but z płaskim, szerokim obcasem i jeden (np. lewy) but na wąskim obcasie (najlepiej but na szpilce) o podobnym rozmiarze, płaska miska o średnicy co najmniej 40 cm, piasek

Przygotowanie.

Nasyp piasku do miski, wypełniając ją do połowy wysokości. Wyrównaj powierzchnię piasku na płasko.

Eksperyment.

Jedna osoba obecna na zajęciach ubiera oba buty. Osoba ta najpierw staje na jednej nodze w misce z piaskiem, odciskając w nim ślad podeszwy jednego buta. Następnie ta sama osoba staje na drugiej nodze odciskając w tej samej misce ślad podeszwy drugiego buta.

Obserwacja.

- Który ślad jest głębszy?

Komentarz.

Stojąc na płaskiej powierzchni Ziemi człowiek (i każde inne ciało stałe) wywiera na podłoże nacisk równy co do wartości ciężarowi swojego ciała. Zatem w obu częściach naszego doświadczenia siła nacisku człowieka na piasek ma tę samą wartość. Ponieważ jednak ciśnienie wywierane przez człowieka jest odwrotnie proporcjonalne do pola powierzchni dociskającej, to im mniejsze pole, tym większe ciśnienie. Pole powierzchni szpica obcasa buta na szpilce jest znacznie mniejsze, niż pole powierzchni obcasa szerokiego i płaskiego, dlatego ciśnienie wywierane przez wąski obcas jest znacznie większe niż ciśnienie wywierane przez obcas szeroki. Okazuje się, że im większe ciśnienie (a nie siła nacisku!), tym głębiej obcas zapada się w piasku.

Równie trudnym, co piasek podłożem do poruszania się jest świeży śnieg. Już kilka tysięcy lat temu ludność zamieszkująca Kaukaz wynalazła prototypy rakiet śnieżnych - szerokich, lekkich elementów przywiązywanych do tradycyjnych butów, mających ułatwić maszerowanie po powierzchniach pokrytych grubymi warstwami śniegu. Zastosowanie rakiety śnieżnej zwiększa pole powierzchni styku człowieka ze śniegiem, a tym samym – kilkakrotnie zmniejsza ciśnienie wywierane na śnieg, co z kolei zapobiega nadmiernemu w nim zapadaniu się.

Więcej o dawnych i współczesnych rakietach śnieżnych można przeczytać na przykład na stronie:

<http://www.napieraj.pl/xoops/modules/wfsection/article.php?articleid=260>

Na identycznej zasadzie funkcjonują narty i deski snowboardowe.



Na zdjęciu: Charli Chaplin z tradycyjnymi rakietami śnieżnymi w 1931 roku w Kanadzie (źródło: www.bundesarchiv.de)

III. Ciśnienie

Doświadczenie 2: Ciśnienie hydrostatyczne w butelce



Eksperyment najlepiej wykonać w pomieszczeniu, w którym znajduje się zlew lub umywalka z kranem z bieżącą wodą

Przyrządy i materiały:

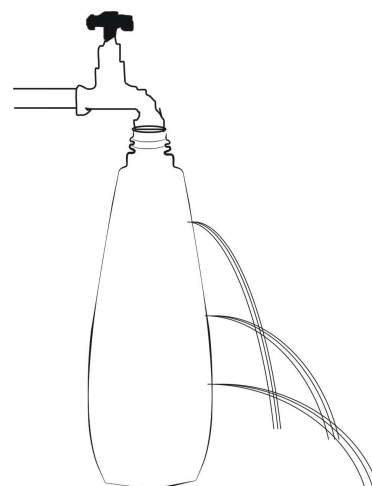
przezroczysta butelka plastikowa o pojemności 1,5 lub 2 litrów, gwóźdź, plastelina, kran z bieżącą wodą, umywalka lub zlew.

Przygotowanie.

Za pomocą gwóźdź wytnij w butelce trzy otwory w jednej linii: jeden w $\frac{1}{4}$ wysokości butelki, drugi w połowie wysokości butelki, trzeci w odległości $\frac{3}{4}$ wysokości butelki (licząc od dna).

Eksperyment.

Postaw butelkę w zlewie. Umocuj otwór butelki i wylot kranu tak, aby woda wpływała do butelki i nie lała się po jej zewnętrznych ściankach (do uszczelnienia połączenia butelki z kranem użyj plasteliny). Otwórz kran tak, aby woda dużym strumieniem wlewała się do butelki; strumień musi być na tyle silny, aby już po chwili woda wypełniła całą butelkę. Zmniejsz nieco strumień wody wypływającej z kranu tak, aby butelka cały czas pozostawała wypełniona.



Uwaga: jeżeli w pomieszczeniu nie ma kranu z bieżącą wodą, to można zalepić otwory w butelce (np. plasteliną), napełnić butelkę całkowicie wodą w łazience szkolnej, a po przeniesieniu butelki do sali, w której odbywają się warsztaty, włożyć butelkę do odpowiednio dużej miski z wodą i odlepić jednocześnie wszystkie trzy otwory; w takiej wersji doświadczenia jednak widoczny jest słabszy efekt niż w wersji podstawowej

Obserwacja.

- Czy strumienie wody wypływające z różnych otworów mają taki sam kształt?
- Czy woda ze strumieni pochodzących z różnych otworów pada w to samo miejsce w umywalce (ma ten sam zasięg)?
- Jak sądzisz, w którym strumieniu woda ma największe, a w którym – najmniejsze ciśnienie? Po czym można to poznać?

Komentarz.

Zasięg strumienia cieczy jest tym większy im większe ciśnienie cieczy wypływającej z otworu. W doświadczeniu można zaobserwować prawidłowość: im wyżej położony otwór, tym zasięg cieczy jest mniejszy, a zatem tym mniejsze ciśnienie cieczy w otworze. Stąd wniosek: ciśnienie hydrostatyczne wody (a także każdej innej cieczy lub gazu) jest tym większe, im wyższy słup wody (cieczy lub gazu) ponad miejscem, w którym ciśnienie jest mierzone. Ciśnienie hydrostatyczne cieczy i gazów nie zależy od pola powierzchni przekroju poprzecznego tej cieczy lub gazu, a jedynie od gęstości tej cieczy lub gazu oraz wspomnianej już wysokości słupa!

Dosyć często (np. w codziennej prognozie pogody) możemy uzyskać informację na temat wartości szczególnego ciśnienia: **ciśnienia atmosferycznego**. Jest to ciśnienie hydrostatyczne słupa powietrza znajdującego się nad powierzchnią Ziemi (i przyciąganego do niej siłą grawitacji). W Polsce wartości tego ciśnienia oscylują wokół 1000 hPa. Jest to ogromna wartość odpowiadająca mniej więcej ciśnieniu, jakie wywierałby samochód osobowy położony na ludzkiej głowie. Ciśnienie atmosferyczne nie zgina jednak ludzkiej głowy, ponieważ jednocześnie organizm wytwarza równoważące ciśnienie wewnętrzne. Ciśnienie to dostosowuje się do zmian zewnętrznego ciśnienia atmosferycznego.



III. Ciśnienie

Najwyższe jak do tej pory ciśnienie atmosferyczne w Polsce odnotowano 16 grudnia 1997 w Suwałkach (1054 hPa), a najniższe 1 marca 2008 roku w Białymstoku (962 hPa). Do pomiaru ciśnienia atmosferycznego służą barometry (<http://pl.wikipedia.org/wiki/Barometr>).

Wyż to taki obszar, w którym panuje wysokie ciśnienie atmosferyczne, zazwyczaj wyższe od 1000 hPa. Im dalej od centrum wyżu, tym ciśnienie niższe. Obszar, w którym panuje niskie ciśnienie (niższe od 1000 hPa) nazywa się **niżem**. Im dalej od centrum niżu, tym ciśnienie wyższe. Różnica ciśnień pomiędzy obszarami wyżu i niżu powoduje powstanie wiatru. Na naszych szerokościach geograficznych wiatry wieją od wyżu do niżu.

III. Ciśnienie

Doświadczenie 3: Słomka do napojów



Przyrządy i materiały:

szklanka, słomka do napojów, woda lub inny napój

Eksperyment.

Wlej napój do szklanki. Napij się napoju przy użyciu słomki.

Obserwacja.

- Co trzeba zrobić, aby napić się przez rurkę?

Komentarz.

Picie przez rurkę polega na wysysaniu powietrza z części rurki wystającej ponad powierzchnię napoju. Spada wówczas ciśnienie powietrza w tej części rurki (powstaje podciśnienie) i w rurce wytwarza się różnica ciśnień pomiędzy dolnym jej końcem, a górnym. Różnica ta musi zostać zniwelowana, dlatego napój wciągany jest do rurki. Słup napoju w rurce wznosi się ponad poziom napoju w szklance i w ten sposób w słomce wytwarza się dodatkowe ciśnienie hydrostatyczne. Jego wartość jest równa różnicy ciśnienia powietrza atmosferycznego i powietrza w rurce. Można powiedzieć, że ciśnienie atmosferyczne wywierane na powierzchnię napoju w szklance wypycha w ten sposób napój do rurki.

Z jak głębokiej studni można się napić w ten sposób wody za pomocą długiej rurki? Ze studni, w której lustro wody znajduje się najwyżej 10,3 m poniżej poziomu naszych ust. W tym granicznym przypadku musi zostać wciągnięte całe powietrze z górnej części rurki (czyli musi zostać wytworzona próżnia!). Wówczas różnica ciśnień jest równa dokładnie ciśnieniu atmosferycznemu, a z drugiej strony – ciśnieniu hydrostatycznemu słupa wody. Jeżeli chcemy wyciągnąć jakiś płyn (np. ropę naftową) z większej głębokości, nie wystarczy metoda zassania, ale muszą zostać użyte pompy tłoczące.

Czy można napić się przez słomkę na Księżycu? Pomijając nawet aspekt czysto techniczny (np. kwestię wyprowadzenia słomki ze skafandra astronauty, bez naruszenia jego szczelności) nie ma możliwości picia przez słomkę na Księżycu, ponieważ ciśnienie atmosferyczne na tym naturalnym satelicie Ziemi ma praktycznie wartość równą zero.

III. Ciśnienie

Doświadczenie 4: Szklanka z widokówką



Przyrządy i materiały:

szklanka, łyżeczka, widokówka, miska, woda w kranu

Eksperyment.

Szklankę napełnij wodą i wstaw do miski dnem w dół. Używając łyżeczki, powoli dolewaj wody do szklanki. Szklanka musi zostać wręcz przepelniona wodą. Przyjrzyj się kształtowi powierzchni wody powyżej brzegu szklanki. Na szklance połóż widokówkę zdjęciem w dół. Dociśnij widokówkę do szklanki. Na pewno trochę wody się wyleje! Przyciskając jedną ręką widokówkę do szklanki, drugą ręką obróć szklankę do góry dnem. Trzymając szklankę nad miską, puść widokówkę. Jeżeli widokówka odpadła, musisz powtórzyć eksperyment jeszcze raz. Być może w szklance było początkowo za mało wody lub widokówka była zbyt słabo dociśnięta do szklanki.



Obserwacja.

- Jaki kształt ma tafla wody w szklance przepelnionej wodą?
- Jak sądzisz, dlaczego widokówka nie spada?

Komentarz.

Przy powolnym dolewaniu wody do szklanki, można ją przepelnąć. Woda nie wylewa się od razu po wypełnieniu szklanki po brzegi. Część wody może utworzyć tzw. **menisk wypukły** ponad brzegiem szklanki. Menisk może powstać, ponieważ cząsteczki wody w szklance silnie przyciągają cząsteczki wody znajdujące się powyżej szklanki.

W naszym otoczeniu znajduje się powietrze. Jest ono rzadkie, ale słupek powietrza ponad naszymi głowami jest bardzo wysoki. Powietrze to dociska nas oraz wszystkie inne przedmioty na Ziemi, wywierając na nas **ciśnienie**. Powietrze ciśnie nas z każdej strony, nie tylko pionowo od góry.

W szklance przepelnionej wodą nie ma w ogóle powietrza. Po dociśnięciu widokówki do szklanki, powietrze nie może się także samo do niej dostać. Kiedy obracamy szklankę do góry dnem i nie przytrzymujemy już widokówki palcem, od góry na widokówkę naciska słupek wody (wywierając ciśnienie hydrostatyczne), a od dołu – tylko powietrze dociska widokówkę. Wartość ciśnienia powietrza jest tak duża, że widokówka nie odpada od szklanki.

Kiedy widokówka odpadnie? Gdy pomiędzy widokówkę a wodę dostanie się powietrze. Wówczas od góry widokówkę dociskać będzie i woda i powietrze, a od dołu – tylko powietrze, dlatego widokówka cała odklei się od szklanki, a wraz z nią gwałtownie wyleje się woda.

III. Ciśnienie

Doświadczenie 5: Balonik w butelce



Przyrządy i materiały:

1 balonik, butelka o pojemności 1,5 -2 litra, słomka do napojów

Przygotowanie.

Nadmuchaj balonik i wypuść z niego powietrze kilka razy.

Eksperyment.

- Włóż balonik do butelki, trzymając jego wylot palcami tak, aby balonik nie wpadł do wnętrza. Spróbuj nadmuchać balonik. Wypuść powietrze z balonika.
- Wprowadź do butelki słomkę do napojów obok balonika, tak, aby nie wpadła do środka, a jej koniec wystawał ponad otwór butelki. Cały czas trzymaj i słomkę i balonik. Spróbuj nadmuchać balonik.

Obserwacja.

- Kiedy dmuchanie balonika było łatwiejsze: bez słomki czy z użyciem słomki?
- Ile miejsca w butelce zajął nadmuchiwany balonik w pierwszej, a ile w drugiej części eksperymentu?

Komentarz.

W naszym otoczeniu znajduje się powietrze atmosferyczne, które wywiera na nas ze wszystkich stron ciśnienie. Mimo, że tego nie odczuwamy, ciśnienie to jest bardzo duże, (mniej więcej takie, jak ciśnienie wywierane przez stojący kilogramowy słupek, którego podstawka jest kwadratem o boku 1 cm). Aby nadmuchać balonik musimy pokonać siłę pochodzącą z zewnątrz od nacisku powietrza na balonik oraz siłę sprężystości gumy balonika.

„Pustą” butelkę całkowicie wypełnia powietrze o takim samym ciśnieniu, jak powietrze atmosferyczne w naszym otoczeniu. Gdy do butelki wprowadzimy balonik i zaczynamy w niego dmuchać, to niemal natychmiast balonik wypełnia bardzo szczelnie wlot otworu butelki. Rozszerzający się balonik zajmuje miejsce powietrza wewnątrz butelki, dlatego samo powietrze musi być coraz bardziej ściskane, przez co wzrasta jego ciśnienie. Bardzo szybko dalsze nadmuchiwanie staje się niemożliwe, bo powietrze znajdujące się w butelce pod balonikiem wywiera na niego zbyt duże ciśnienie i nie pozwala mu się rozszerzyć.

Jeżeli jednak obok balonika wprowadzimy do butelki otwartą rurkę (np. słomkę do napojów), to podczas dmuchania balonika część powietrza z butelki będzie ulatywać przez rurkę. Pozostałe w butelce powietrze będzie miało cały czas ciśnienie zbliżone do atmosferycznego, dlatego bez kłopotu nadmuchaemy balonik.

III. Ciśnienie

Doświadczenie 6: Ciśnienie turgorowe



Przyrządy i materiały:

5 drewnianych zapałek, czysty kroplomierz (zakraplacz do oczu lub pipetę), woda z kranu, płaski talerzyk

Przygotowanie.

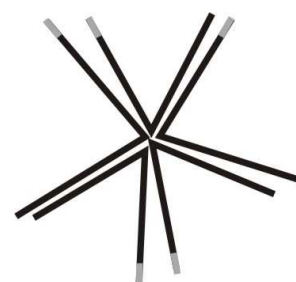
Zgnij każdą zapałkę dokładnie w połowie, ale tak, aby jej całkowicie nie złamać!

Eksperyment.

Ułóż wszystkie zapałki na talerzyku tak, aby się stykały punktami zgięć.

Zapałki powinny utworzyć pięciopromienną figurę, jak na obrazku.

Użyj kroplomierza i umieść 4 krople wody w samym środku, pomiędzy punktami zgięć zapałek. Obserwuj zapałki przez minutę.



Obserwacja.

- Jaką figurę utworzyły zapałki po kilku minutach od wkroplenia wody?

Komentarz.

Zapałki są zrobione z drewna. Drewno jest zbudowane z komórek roślinnych. Podczas suszenia drewna, większość wody obecna pomiędzy komórkami wydostaje się na zewnątrz, pozostawiając puste przestrzenie (kanały) pomiędzy komórkami. Gdy wkrapiamy wodę pomiędzy zapałki, woda wciągana jest do tych bardzo wąskich, pustych kanałów dzięki tak zwanemu **efektowi kapilarnemu**. Efekt kapilarny polega na pełznięciu cieczy po ściankach kanałów. Im cieńszy kanał, tym silniejsza tendencja cieczy do pełznięcia. Między innymi dzięki temu efektowi rośliny transportują wodę z korzeni, poprzez łądygę do wszystkich swoich części (nawet na bardzo duże wysokości, jak w przypadku drzew).

Zginając zapałkę, zginamy komórki i kanały wewnątrz drewna. Po dostaniu się wody do wnętrza zapałki, ciśnienie wody stara się przywrócić początkowy kształt kanałom międzykomórkowym i komórkom. Takie ciśnienie cieczy przywracające pierwotny kształt nazywa się **ciśnieniem turgorowym**. W naszym doświadczeniu ciśnienie turgorowe było wystarczająco duże, aby nieco wyprostować zapałki, które dzięki temu utworzyły po krótkiej chwili kształt gwiazdy.

Żywe organizmy roślinne (zwłaszcza te małe) wykorzystują ciśnienie turgorowe do utrzymywania stale tego samego kształtu komórek i kanałów międzykomórkowych. Roślina, której nie jest dostarczana wystarczająca ilość wody, więdnie (mięknie), ponieważ ciśnienie wewnętrzne nie jest wystarczające do zachowania jej świeżego kształtu.

IV. W wodzie i w powietrzu

Co już wiemy (2 min)

- Co to jest ciśnienie?
- Co to jest ciśnienie hydrostatyczne?
- Co to jest siła grawitacji? Jaki jest kierunek i zwrot tej siły?
- Do czego służy barometr?

Pytania wstępne (4 min)

- Jakich podnośników używa się do podnoszenia aut w warsztatach samochodowych?
- Jaki rodzaj hamulców dociska klocki tarczowe do kół samochodowych? Z jakich elementów składa się ten układ hamulcowy? Jak działa hamulec w samochodzie?
- Co to jest wieża ciśnień?
- Jak działa odkurzacz?
- Dlaczego helikopter może wznosić się pionowo w górę?
- Dlaczego samolot lata?
- W jaki sposób wylać benzynę z baku samochodu?

Dodatkowe pytania nauczyciela (2 min)

Doświadczenia z objaśnieniami, komentarzami

Doświadczenie 1: Podnośnik hydrauliczny (2 min)

Doświadczenie 2: Hydrauliczny układ hamulcowy (3 min)

Doświadczenie 3: U - rurka (5 min)

Doświadczenie 4: Akwedukty w starożytnym Rzymie (4 min)

Doświadczenie 5: Przeciąg (2 min)

Doświadczenie 6: Wiatr pod mostem (3 min)

Doświadczenie 7: Huragan i samoloty (5 min)

Doświadczenie 8: Rozpylacz (5 min)

Doświadczenie 9*: Barometr wodny (ok. 30 min)

Podsumowanie (dodatkowy komentarz, ciekawostki) (5 min)

Prawo Pascala i prawo naczyń połączonych dotyczą cieczy, natomiast prawo ciągłości i prawo Bernoulliego dotyczą zarówno cieczy jak i gazów. Wszystkie te prawa znajdują szerokie zastosowanie w urządzeniach i zjawiskach życia codziennego, związanych z hydrostatyką, hydrodynamiką i aerodynamiką.

Również fizjologia człowieka oparta jest częściowo na tych prawach. Gdy kaszлемy, wypuszczamy powietrze z dużą prędkością przez tchawicę i dochodzące do niej oskrzela, przy czym jednocześnie nie usuwany jest nadmiar śluzu zalegającego w drogach oddechowych. Mianowicie: bierzemy głęboki wdech, zatrzymujemy powietrze w płucach, zamykamy górną głośnię (mały otwór w krtani), ściskamy płuca (zwiększamy ciśnienie zawartego w nich powietrza), a jednocześnie częściowo zatykamy tchawicę i oskrzela, żeby zwęzić drogi oddechowe. Następnie gwałtownie otwieramy głośnię i wypuszczamy powietrze. Szybkość powietrza wydostającego się z naszych płuc podczas normalnego oddychania jest równa około 45 m/s, ale podczas kaszlu szybkość ta wzrasta do 330 m/s, czyli niemalże osiąga prędkość dźwięku w powietrzu!

Pytania końcowe (3 min)

/Zwłaszcza te, na które uczniowie nie odpowiedzieli na początku/

IV. W wodzie i w powietrzu

Literatura i linki internetowe dla Nauczyciela

3. Prawo Pascala: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/brake1.htm>
4. Hamulec hydrauliczny: <http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/brake3.htm>
5. Barometr – zasada działania, przykłady: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Barometr>
6. Jak powstaje studnia artezyjska? http://pl.wikipedia.org/wiki/Niecka_artezyjska
7. Wody artezyjskie: http://pl.wikipedia.org/wiki/Wody_artezyjskie
8. Akwedukt: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Akwedukt>
9. Lewar hydrauliczny: http://portalwiedzy.onet.pl/33129,,,lewar_hydrauliczny_haslo.html
10. O fizjologii kaszlu na podstawie: D. Halliday, R. Resnick, J. Walter „Podstawy fizyki”, t.2, str.91 (PWN, Warszawa 2005)
11. Jak działa odkurzacz? M. Rozenbajgier, R. Rozenbajgier „Fizyka dla gimnazjum”, t.2, str.156 (Zamkor, 2006)
12. Helikopter: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Helikopter>



Doświadczenie 1: Podnośnik hydrauliczny



Niezbędne bezpośrednie połączenie z Internetem.

Przyrządy i materiały:

komputer podłączony do Internetu.

Eksperyment.

Otwórz stronę internetową:

<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/brake1.htm>

na której znajdują się trzy demonstracje.

- Prosty układ hydrauliczny (Simple Hydraulic System)
- Złożony układ hydrauliczny (Master and Slave Hydraulic System)
- Prawo Pascala dla prasy hydraulicznej (Hydraulic Multiplication)

Każdą demonstrację można uruchomić za pomocą czerwonej strzałki „Apply Force”.

Komentarz.

- Prosty układ hydrauliczny

Podstawowa zasada działania prostego układu hydraulicznego jest oparta na **prawie Pascala**: Dodatkowe ciśnienie wywierane na **nieściśliwą ciecz**, (spowodowane siłą nacisku o dowolnym kierunku), jest w każdym miejscu jednakowe. W tym przykładzie widzimy najprostszą realizację tej zasady. Naciskając na lewy tłok w dół, wywieramy pewne **dotatkowe** ciśnienie na ciecz znajdująca się pod tłokiem. Ciśnienie to jest przenoszone do każdego punktu nieściśliwej cieczy i dodaje się do ciśnienia hydrostatycznego w dowolnym miejscu. Dzięki temu prawy tłok podnosi się do góry, gdyż od spodu działa na niego większe ciśnienie niż od góry. Ponieważ oba tłoki mają jednakowe pole powierzchni, prawy tłok zostanie podniesiony dokładnie o tyle, o ile został obniżony lewy tłok.

Szczególnie „mocną stroną” prawa Pascala jest fakt, iż w takim układzie system połączenia cylindrów może mieć dowolnych kształt i wielkość.

- Złożony układ hydrauliczny

Rury prowadzące od jednego cylindra do drugiego mogą się także rozdzielać, a prawo Pascala będzie w dalszym ciągu obowiązywać – jak to można zaobserwować w drugiej demonstracji. Jeżeli pola powierzchni tłoka naciskanego i tłoka podnoszącego się nie są jednakowe, siły działające na oba tłoki nie mają takich samych wartości.

- Prawo Pascala dla prasy hydraulicznej

Dobierając odpowiednio stosunek pól powierzchni obu tłoków, możemy odpowiednio zmniejszać lub zwiększać siłę nacisku na drugi tłok. Na tej zasadzie działają hydrauliczne: prasy, podnośniki oraz hamulce. Ponieważ ciśnienia działające na oba tłoki są zawsze takie same, to: $p_1 = p_2$, a zatem

$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$, a stąd już wprost wynika, że $\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$. Wartość siły podnoszącej prawy tłok jest tyle razy

większa od wartości siły, którą naciskaliśmy na lewy tłok, ile razy pole powierzchni prawego tłoka jest większe od pola powierzchni lewego tłoka. (Zauważ, że w demonstracji średnica prawego tłoka jest trzy razy większa od średnicy lewego tłoka.)



Doświadczenie 2: Hydrauliczny układ hamulcowy



Niezbędne bezpośrednie połączenie z Internetem.

Przyrządy i materiały:

komputer podłączony do Internetu.

Eksperyment.

Otwórz stronę internetową:

<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/brake3.htm>

na której znajduje się demonstracja zasady działania prostego hydraulicznego układu hamulcowego.

Demonstrację można uruchomić za pomocą czerwonej strzałki „Apply Brake”.

Komentarz.

Najprostszy hydrauliczny układ hamulcowy składa się z pedału hamulca połączonego z ramieniem, cylindra z tłokiem, przewodu hamulcowego, drugiego cylindra z tłokiem, klocków hamulcowych oraz płynu hamulcowego (nieściśliwej cieczy), znajdującego się w cylindrach i łączącym je przewodzie.

Naciskając na pedał działamy siłą o wartości F . Pedał i tłok cylindra przyłączone są do tego samego ramienia obrotowego. Ponieważ pedał znajduje się od osi obrotu w odległości cztery razy większej niż tłok cylindra, wartość siły naciskającej na tłok pierwszego cylindra jest cztery razy większa niż wartość siły przyłożonej do pedału, czyli wynosi $4F$. Tłok w cylindrze pierwszym ma średnicę trzy razy mniejszą niż tłok w cylindrze drugim, dlatego zgodnie z prawem Pascala wartość siły działającej na tłok w cylindrze drugim jest $3^2=9$ razy większa niż wartość siły przyłożonej do tłoka pierwszego i wynosi $4F \cdot 9$. Ostatecznie w układzie pokazanym na schemacie siła działająca na klocki hamulcowe jest 36 razy większa od siły nacisku na pedał hamulca.



Doświadczenie 3: U - rurka

Przyrządy i materiały:

przezroczysty, giętki wężyk o długości ok. 1m, woda z kranu, olej

Eksperyment.

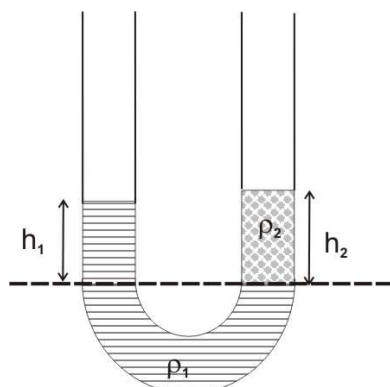
- Napełnij wężyk wodą mniej więcej w połowie. Wygnij wężyk w kształcie litery U i przytrzymaj otwarte końce wężyka na tej samej wysokości. Zaobserwuj wzajemne położenie poziomów wody w obu ramionach U – rurki. Następnie powoli pociągnij jeden koniec wężyka do góry, drugi pozostawiając w położeniu początkowym. Zaobserwuj wzajemne położenie poziomów wody w obu ramionach U – rurki.
- Do jednego z ramion wężyka wlej olej. Wygnij powrotem wężyk tworząc U – rurkę. Zaobserwuj wzajemne położenie: poziomu oleju w jednej części rurki i poziomu wody w drugiej części rurki.

Obserwacja.

- Jaka jest wzajemna wysokość słupa wody oraz słupa oleju powyżej poziomu, na którym obie te ciecze się stykają w jednym z ramion wężyka?

Komentarz.

Wzajemne ułożenie cieczy jest uwarunkowane prawem naczyń połączonych:

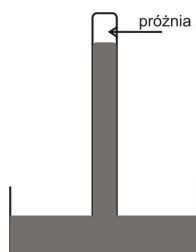
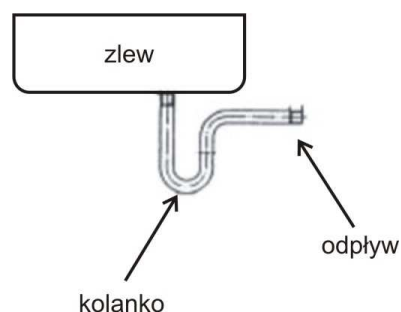


$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

Wysokości słupów cieczy są mierzone powyżej poziomu styku obu cieczy w jednym z ramion U – rurki. Im gęstsza ciecz, tym jej poziom w rurce wyższy.

Wiele urządzeń (system kanalizacyjny) i przedmiotów codziennego użytku (czajniki, imbryki) zostało zaprojektowanych z uwzględnieniem prawa naczyń połączonych. Na przykład: tuż pod zlewami i umywalkami znajdują się najczęściej rurki zagięte w charakterystyczny sposób, pokazany na rysunku.

Powstałe w ten sposób „kolanko” zatrzymuje najświeższą partię wody, która spływa ze zlewu i po zakręceniu kranu nie zdąży wspiąć się do odpływu. Woda ta izoluje mieszkanie od przykrych zapachów, które mogłyby wydobywać się z rury odpływowej.



Prawo naczyń połączonych jest też podstawą działania najprostszego barometru rtęciowego, w którym jednym naczyniem jest rurka z rtęcią o długości około 1 m, a drugim – szerokie naczynie zawierające rtęć oraz słup powietrza ponad tym naczyniem. Rurkę całkowicie wypełniamy rtęcią, zatykamy od góry, obracamy do góry dnem i wstawiamy do naczynia z rtęcią. Z rurki wypłynie tyle rtęci, aby ciśnienie hydrostatyczne pozostałej w niej rtęci równoważyło ciśnienie atmosferyczne. Nad słupkiem rtęci w rurce powstaje próżnia.

Spróbuj znaleźć w domu inne przedmioty lub urządzenia, których zasada działania, bądź funkcja użytkowa opiera się na prawie naczyń połączonych.

IV. W wodzie i w powietrzu

Doświadczenie 4: Akwedukty w starożytnym Rzymie



Przyrządy i materiały:

butelka o pojemności 1,5-2 litra, wypełniona wodą w $\frac{3}{4}$ objętości, przezroczysty, giętki wężyk o długości 1 m, krzesło

Eksperyment.

- Butelkę postaw na krześle. Włóż do butelki jeden koniec wężyka, a drugi opuść swobodnie w dół.

Obserwacja.

Czy woda wypływa przez wężyk?

- Wciągnij nieco powietrza z rurki tak, aby poziom wody w rurce podniósł się powyżej górnego otworu butelki.

Obserwacja.

Czy teraz woda wypływa przez wężyk? Jak długo?

- Sprawdź, czy woda będzie wypływać niezależnie od tego, czy dolny koniec znajduje się poniżej, czy powyżej lustra wody w butelce.

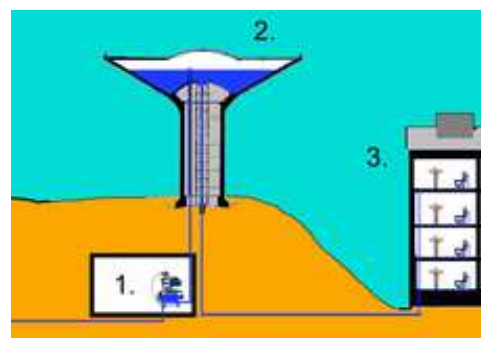
Komentarz.

Rurka całkowicie wypełniona cieczą łącząca dwa naczynia i biegnąca przynajmniej częściowo ponad lustrami wody w tych naczyniach nazywana jest lewarem hydraulicznym. Służy ona do przelewania cieczy z jednego naczynia do drugiego. Stosując lewar hydrauliczny można na przykład wylać benzynę z baku, co innymi sposobami jest bardzo trudne lub wręcz niemożliwe.

Prawo naczyń połączonych zastosowali z powodzeniem już starożytni Rzymianie, budując akwedukty – kanał wodociągowy, rurociąg podziemny lub nadziemny, doprowadzający wodę z odległych źródeł na ogół do miast przy wykorzystaniu siły ciężenia ziemskiego. Był on umieszczony na arkadach – ogromnych, malowniczych budowlach przeprowadzanych nad rzekami lub nierównościami terenu. Spadek wysokości kanałów w rzymskich akweduktach wynosił zaledwie kilkadziesiąt centymetrów na kilometr, dzięki czemu można było doprowadzać wodę nawet ze źródeł odległych od miasta o kilkadziesiąt kilometrów. Więcej o akweduktach można przeczytać na: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Akwedukt>.

Dzięki akweduktom woda była dostarczana m.in. do słynnych fontann rzymskich.

W nowoczesnych sieciach wodociągowych również korzysta się z prawa naczyń połączonych. Woda pobierana ze zbiornika słodkowodnego jest pompowana do wieży ciśnień, w której zbiornik zapasu wody znajduje się powyżej wszystkich odbiorców zasilanej przez system sieci wodociągowej. Wówczas woda z wieży ciśnień może swobodnie spływać w dół przewodami wodociągowymi i płynąć nawet kanałami prowadzonymi pod ziemią, albowiem zgodnie z prawem naczyń połączonych i tak w dowolnej pionowej rurze (na przykład rurach doprowadzających wodę do mieszkań na piętrach) będzie ona mogła osiągnąć poziom najwyższy, zgodnie z zasadą wyrównywania poziomów z poziomem wody w wieży ciśnień.



Schemat wieży ciśnień (źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Wieża_ciśnienia)

1. Stacja pomp
2. Wieża ciśnień
3. Odbiorcy

IV. W wodzie i w powietrzu

Doświadczenie 5: Przeciąg



Przyrządy i materiały:

długa strzykawka, woda z kranu, zlew lub miska

Eksperyment.

Napełnij strzykawkę wodą. Powoli dociskając tłok strzykawki, obserwuj szybkość wody wypływającej z wąskiego otworu.

Obserwacja.

- Co się szybciej porusza: tłok strzykawki, czy woda wypływająca z wąskiego otworu strzykawki?

Komentarz.

Wzrost wartości prędkości wody w wąskim wylocie strzykawki jest zgodne z **prawem ciągłości**.

Inną zasadą wynikającą wprost z tego prawa jest zwiększenie prędkości cieczy lub gazu, w wąskim tunelu lub korycie. Na przykład, gdy rzeka płynie szerokim korytem, wartość jej prędkości jest mała, natomiast, gdy koryto tej rzeki się zwęża, wzrasta wartość prędkości nurtu rzeki.

Na tej samej zasadzie tworzą się przeciągi. Gdy otworzysz w pomieszczeniu okno i drzwi naprzeciwko siebie, tworzysz tunel. Wówczas nawet spokojny ruch powietrza na zewnątrz budynku przeradza się w odczuwalny wiatr wewnątrz pomieszczenia, ponieważ część szerokiej strugi powietrza napierającej na budynek gwałtownie zmniejsza swoją szerokość, chcąc przecisnąć się na drugą stronę budynku przez tunel wytworzony w mieszkaniu. Podobne zjawisko zachodzi w przejściach podziemnych, w przesmykach pod mostami itp.

IV. W wodzie i w powietrzu

Doświadczenie 6: Wiatr pod mostem



Przyrządy i materiały:

6 grubych książek, kartka papieru A4, stół, suszarka do włosów

Przygotowanie.

Ułóż książki poziomo w dwa stosy o jednakowej wysokości, znajdujące się w odległości ok. 15 cm od siebie. Połóż kartkę papieru jednocześnie na obu stosach, tworząc z niej „most”.

Eksperyment.

Włącz suszarkę do prądu. Skieruj suszarkę pod kartkę leżącą na książkach. Strumień powietrza z suszarki powinien przepływać mniej więcej w połowie odległości pomiędzy kartką a blatem stołu.

Obserwacja.

- Co się dzieje z kartką papieru?
- Jak sądzisz, gdzie ciśnienie jest wyższe: pod czy nad kartką?

Komentarz.

Ciśnienie w obszarze szybko płynącego powietrza (pod kartką) jest niższe niż ponad tym obszarem, gdzie powietrze się nie porusza lub ruch powietrza jest powolny (zgodnie z prawem Bernoulliego). Różnica ciśnień jest na tyle duża, że kartka wyraźnie zagina się do dołu.

Podobną zasadę wykorzystuje się w odkurzaczu. Silnik elektryczny napędza wentylator, który obracając się z dużą szybkością, obniża ciśnienie za zbiornikiem na śmieci (papierową torebką). Ciśnienie przed torebką papierową jest większe (i równe ciśnieniu atmosferycznemu) i to ono wypcha śmieci do wnętrza odkurzacza. Na tej samej zasadzie obracający się wirnik helikoptera obniża ciśnienie ponad nim, umożliwiając wznoszenie się helikoptera w pionie.

IV. W wodzie i w powietrzu

Doświadczenie 7: Huragan i samoloty



Przyrządy i materiały:

Elementy, z których można skonstruować pionowe ściany budynku (np. dwa pudełka po DVD albo dwie grube książki, albo zestaw klocków plastikowych lub drewnianych), kartka z bloku technicznego wielkości A4, suszarka do włosów

Przygotowanie.

Ustaw pionową konstrukcję ścian budynku. Ściany nie muszą być ze sobą połączone, ale muszą stać na tyle stabilnie, aby się nie wywracały pod wpływem strumienia powietrza z suszarki. Zegnij kartkę papieru na pół, tworząc w ten sposób dach. Połóż dach na konstrukcji budynku.

Eksperyment.

Włącz suszarkę i skieruj strumień powietrza powyżej dachu. Dostosuj położenie suszarki, prędkość strumienia oraz kierunek strumienia tak, aby po chwili dach oderwał się od konstrukcji ścian.

Obserwacja.

- Z której strony najpierw podniósł się dach do góry: od strony strumienia suszarki, czy od przeciwnej?

Komentarz.

Struga wiatru opływającego budynek zwęża się w pobliżu jego dachu i zgodnie z prawem ciągłości nabiera większej prędkości. Jeśli wiatr sam z siebie jest już huraganowy, jego prędkość w górnej części budynku jest bardzo duża. Zgodnie z prawem Bernoulliego w szybko poruszającym się strumieniu cieczy lub gazu panuje niższe ciśnienie niż w strumieniu poruszającym się wolniej. Tuż ponad dachem panuje zatem znacznie niższe ciśnienie niż na poziomie pod dachem. Wytworzona różnica ciśnień powoduje powstanie siły skierowanej pionowo w górę, zwanej **siłą nośną**. W przypadku wiatrów silnych z natury (takich jak huragany), siła ta jest na tyle duża, że może oderwać dach od budynku.

Siła nośna jest jednak na ogół siłą bardzo pożyteczną, wykorzystywaną na przykład w locie przez ptaki i samoloty. Skrzydło ptaka i samolotu jest tak wyprofilowane, że od spodu jego powierzchnia jest płaska, a od góry – wypukła. Struga powietrza opływająca skrzydło musi pokonać znacznie większą drogę powyżej niż poniżej tego skrzydła. Dlatego prędkość strugi nad skrzydłem jest większa niż pod nim. Powstaje różnica ciśnień i wynikająca z niej siła nośna skierowana do góry. Siła nośna jest tym większa im większa wartość prędkości względnej powietrza i samolotu. Dlatego samolot, żeby w ogóle oderwać się od pasa startowego, musi się najpierw na nim rozpędzić do znacznej prędkości.

IV. W wodzie i w powietrzu



Doświadczenie 8: Rozpylacz

Przyrządy i materiały:

słomka do napojów, szklanka z wodą pitną, nożyczki

Przygotowanie.

Słomkę do napojów natnij w około 1/3 długości i zegnij pod kątem prostym.

Eksperyment.

Krótszy koniec pionowo ustawionej części rurki umieść w wodzie. W poziomo ustawioną (dłuższą) część rurki dmuchaj tak, aby szybkość strugi powietrza przepływającej przez rurkę była jak największa.

Obserwacja.

- Co się dzieje z wodą w pionowej części rurki?

Komentarz.

Struga powietrza o dużej szybkości obniża ciśnienie nad otworem powstałym po przecięciu rurki. Na skutek tego podnosi się poziom wody w krótkiej rurce. Jeśli szybkość strugi jest odpowiednio duża, woda może nawet wytrysnąć przez otwór, dostając się w obszar strugi. Wówczas jest ona rozpylana na drobne kropelki.

Doświadczenie jest demonstracją zasady działania najprostszego rozpylacza.

IV. W wodzie i w powietrzu

Doświadczenie 9*: Barometr wodny



Eksperyment należy wykonać w budynku o wysokości co najmniej 12 m z klatką schodową

Przyrządy i materiały:

przezroczysty, giętki wężyk z tworzywa o długości około 11 m, 3 litry wody mineralnej, wąskie wiadro o pojemności co najmniej 3 l, klatka schodowa w budynku o wysokości co najmniej 12 m.

Przygotowanie.

Znajdź takie miejsce w budynku, z którego będzie można poprowadzić wężyk pionowo w dół z kondygnacji wznoszącej się ok. 11 metrów nad poziomem parteru – na parter.

Uwaga: jeżeli warunki w budynku nie pozwalają na poprowadzenie wężyka dokładnie pionowo w dół, to wężyk musi być odpowiednio dłuższy.

Ustaw wiadro w najniższym punkcie klatki schodowej. Nalej wody mineralnej do wiadra.

Jedna osoba wychodzi na kondygnację leżącą około 11 m nad poziomem parteru i trzymając jeden koniec wężyka spuszcza drugi koniec pionowo w dół na parter. Osoba ta będzie potrzebowała asystenta na najwyższej kondygnacji. Trzecia osoba umieszcza dolny koniec wężyka w wiadrze z wodą i musi pilnować, aby ten koniec podczas całego doświadczenia pozostał zanurzony w wodzie. Pozostałe osoby powinny zostać rozstawione mniej więcej w równych odstępach na klatce schodowej pomiędzy parterem a kondygnacją, na której znajduje się górny koniec wężyka.

Eksperyment.

Na umówiony sygnał osoba stojąca na najwyższej kondygnacji zaczyna wysysać powietrze z rurki tak, jakby chciała się napić przez słomkę. Za każdym razem, gdy będzie chciała odpocząć, musi szczelnie zatkać koniec rurki palcem. Może także wymieniać się przy tej czynności z asystentem. W miarę wciągania powietrza z wężyka osoby stojące wzdłuż klatki schodowej powinny głośno raportować fakt dotarcia poziomu wody w wężyku do ich stanowiska.

Obserwacja.

- Na jaką maksymalną wysokość wzniósł się poziom wody w wężyku?

Komentarz.

Wężyk, wiadro i słup powietrza ponad wiadrzem to układ naczyń połączonych. Stosuje się zatem do nich prawo naczyń połączonych.

Podobnie jak podczas picia wody przez słomkę, wciągając powietrze przez wężyk, zmniejszamy ciśnienie powietrza na jednym końcu wężyka, podczas, gdy na drugi koniec wężyka wywierane jest ciśnienie atmosferyczne (plus ciśnienie hydrostatyczne pochodzące od słupa wody znajdującego się powyżej tej części wężyka, która zanurzona jest w cieczy). Wyrównanie ciśnień pomiędzy dwoma końcami wężyka następuje dzięki wznoszeniu się wody wewnątrz wężyka, zgodnie z równaniem:

ciśnienie powietrza w górnej części wężyka + ciśnienie hydrostatyczne słupa wody w wężyku (powyżej tafli wody w wiadrze) = ciśnienie atmosferyczne

Ciśnienie atmosferyczne nie zmienia się podczas doświadczenia. Wartości ciśnień występujących po lewej stronie równania zmieniają się w miarę wysysania powietrza z wężyka: ciśnienie powietrza w górnej części wężyka maleje i jednocześnie ciśnienie hydrostatyczne słupa wody w wężyku rośnie, bo poziom wody podnosi się. Maksymalna wysokość tafli wody w wężyku zostanie osiągnięta, gdy w górnej części wężyka praktycznie nie będzie już powietrza. Wówczas ciśnienie atmosferyczne będzie równe ciśnieniu hydrostatycznemu słupa wody:

$$P_{\text{atm}} = \rho_{\text{wody}} \cdot g \cdot h, \text{ skąd można obliczyć wysokość tego słupa: } h = \frac{P_{\text{atm}}}{\rho_{\text{wody}} \cdot g}.$$

W zależności od wartości ciśnienia atmosferycznego podczas doświadczenia wysokość słupa może się nieznacznie wahać, ale w Polsce będzie to zawsze w granicach: 9,8 - 10,7m. Od sprawności

IV. W wodzie i w powietrzu

osoby wysysającej powietrze zależy, czy uda się podczas tego doświadczenia osiągnąć wartość z tego przedziału.

Jeżeli istnieje możliwość pozostawienia tego barometru wodnego w budynku na dłużej, można go użyć do wyznaczania ciśnienia przez kilka kolejnych dni lub tygodni. Wówczas po wysaniu powietrza z górnej części wężyka, należy go szczelnie zakleić plasteliną oraz wyskalować.