

Zabawy z fizyką? – ciśnienie atmosferyczne¹

Jerzy Jarosz, Aneta Szczygielska²

Nauczanie przyrody w szkole wymaga budowania w świadomości uczniów jak największej liczby odniesień łączących posiadaną wiedzę z obserwacjami i doświadczeniami życia codziennego. Wiele spośród tych obserwacji i potocznych poglądów nabytych i ugruntowanych wcześniej, wymaga zweryfikowania i zastąpienia rzetelną, usystematyzowaną wiedzą. W rezultacie, bazując na tak zorganizowanej wiedzy, tworzony jest spójny obraz otaczającej nas rzeczywistości. Aby osiągać ten cel trzeba przedstawiać rzeczy tak prostymi jak naprawdę są.

Najlepszym narzędziem, które umożliwia to nauczycielowi jest dobrze zaplanowany, rzeczywisty eksperyment wykonywany podczas lekcji. Zadaniem tych eksperymentów jest nie tylko weryfikowanie posiadanej wiedzy, ale przede wszystkim powinny one służyć jako baza umożliwiająca wprowadzanie nowych pojęć, zasad i ogólnych praw przyrody. Uczniowie powinni próbować samodzielnie werbalizować obserwacje dokonywane w czasie eksperymentów, dyskutować je, stawiać hipotezy, łączyć z już posiadaną wiedzą i w końcu formułować ostateczne wnioski „odkrywając” nowe zależności, zjawiska i prawa.

Taki sposób organizowania procesu uczenia zwiększa zaangażowanie, poziom motywacji i aktywność uczniów. W konsekwencji osiągana jest znacznie wyższa skuteczność nauczania. W szerszej perspektywie, ucząc przyrody, należy wszędzie tam gdzie tylko jest to możliwe nawiązywać do wielkich, znanych eksperymentów historycznych, które wyznaczały kiedyś kierunki rozwoju nauki. Pozwala to na budowanie szerokiego, uporządkowanego obrazu dzisiejszej wiedzy o świecie jako rezultatu rozwijającej się myśli naukowej. Wiele z tych eksperymentów może zostać z powodzeniem powtórzone na lekcji.

¹ Materiały VI Ogólnopolskiego Forum Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych „Człowiek w środowisku przyrodniczym. Relacje. Konflikty. Współdziałanie. Wyzwania”, 17-18.09.2005, Sosnowiec.

² Dr Jerzy Jarosz, dr Aneta Szczygielska, Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii, Uniwersytet Śląski.

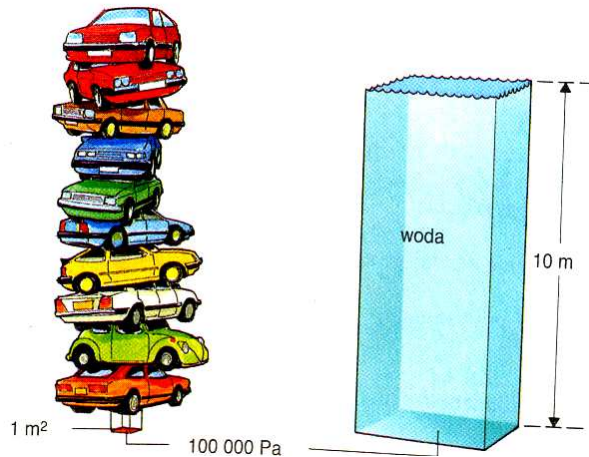
Jako piękny przykład może posłużyć tutaj, należący już do kanonu kultury ogólnej, historyczny eksperyment przeprowadzony przez burmistrza Magdeburga Ottona von Guericke w 1654 roku. Eksperyment ten w bardzo prosty i spektakularny sposób dowiódł po raz pierwszy, że atmosfera ziemiska wywiera duże ciśnienie na wszystko co znajduje się na powierzchni Ziemi. Zetknął on dwie półkule z brązu o średnicy około 0,5 m tak, że utworzyły kulę. By zapobiec przedostawaniu się powietrza do wnętrza kuli, użył naoliwionej uszczelki skórzanej. Po wypompowaniu powietrza spomiędzy półkul przylegały one do siebie tak mocno, że osiem par koni mogło je rozerwać z najwyższym trudem.

Eksperymenty związane z ciśnieniem atmosferycznym, jego wielkością, wpływem na nasze życie a także wykorzystaniem w życiu codziennym należą niewątpliwie do najbardziej spektakularnych, zaskakujących i ciekawych pokazów fizycznych.

Żyjemy na dnie oceanu powietrznego. Atmosfera Ziemi sięga odległości około 3000 km ponad jej powierzchnię. Podobnie jak ciśnienie hydrostatyczne jest wynikiem ciężaru wody w jeziorze, tak i gazy, które wchodzi w skład atmosfery ziemskiej poddane są działaniu pola grawitacyjnego Ziemi i wywierają na jej powierzchnię ciśnienie zwane ciśnieniem atmosferycznym. Ciśnienie to, w danym miejscu Ziemi, ulega ciągłym zmianom, jednak jego średnia wartość (na poziomie morza) wynosi 101325 Pa i jest równoważna ciśnieniu hydrostatycznemu słupa rtęci o wysokości 760 mm. Dlatego wartość ciśnienia atmosferycznego często podaje się w mmHg. Ciśnienie 760 mmHg odpowiada jednostce ciśnienia zwanej atmosferą fizyczną (normalną) (1Atm): $1\text{Atm} = 760\text{mmHg} \cong 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Ze zmianami wartości ciśnienia atmosferycznego spotykamy się na co dzień w prognozach pogody i tak przywykliśmy do podawanych tam wartości, że nie zastanawiamy się, z jakim rzeczywistym naciskiem atmosfery mamy do czynienia żyjąc na Ziemi. Czy 1 Atm, 1013 hPa to nacisk duży czy mały? Tak przyzwyczailiśmy się do niewidocznego powietrza, że czasami zapominamy, iż ma ono swój ciężar. Jak możemy się o tym przekonać? Zdefiniujmy 1 Atm jako nacisk siły równej ciężarowi 1 kg na powierzchnię 1cm^2 . Jeśli pomnożymy ten nacisk przez średnią powierzchnię ciała człowieka, która wynosi około $1,5 \text{ m}^2$ czyli 15000 cm^2 to okaże się, że atmosfera naciska na nas siłą 15 000 kG tj. ciężarem 15 ton (Rys. 1) ! Jest to niewątpliwie ogromny ciężar! Jednak nie jest przez nas w ogóle zauważany. Jest to możliwe dzięki temu, że panujące we wnętrzu naszych

organizmów ciśnienie krwi, gazów i płynów ustrojowych ma w przybliżeniu taką samą wartość jak ciśnienie otaczającego nas powietrza.



Rys 1. Czemu równoważne jest ciśnienie wywierane na nas przez atmosferę? („Vademecum ucznia Fizyka” S. Pople, P. Whitehead)

Wszystkie przytoczone fakty możemy stosunkowo łatwo zilustrować eksperymentalnie. Zaczniemy od szkolnej wersji doświadczenia z „Półkulami Magdeburgskimi”.

Doświadczenie 1

Do doświadczenia potrzebne będą dwa gumowe przepychacze łaźniakowe i plastikowa płytki (okrągła lub kwadratowa).



Fot 1 „Pod ciśnieniem” – Osobliwości Świata Fizyki 2006

Wystarczy po obu stronach płytki przymocować przepychacze usuwając spod ich gumowej kopuły powietrze i doświadczenie gotowe!

Półkule Magdeburgskie jak malowane! Uczniowie, próbując rozdzielić wykonane w ten sposób półkule, osobiście przekonają się o wielkości siły z jaką działa nasza atmosfera.

Usuwać pomiędzy przepychaczy i płytki powietrze sprawiamy, że ciśnienie gazu (powietrza) pod gumowymi membranami jest mniejsze od działającego z zewnątrz ciśnienia atmosferycznego. Ciśnienie atmosferyczne „dociska” przepychacze-półkule do plastikowej płytki, aby je rozdzielić musimy użyć odpowiednio dużej siły.

Kolejnym doświadczeniem obrazującym „miażdżące” siły ciśnienia jest „doświadczenie z puszką”.

Doświadczenie 2

Do doświadczenia potrzebujemy pustą aluminiową puszkę po napoju (0,33 lub 0,5 l), naczynie np. miskę z chłodną wodą, palnik gazowy, zapalniczki i szczypce do trzymania puszek.

Podgrzewając niewielką ilość wody w puszcze usuwamy z jej wnętrza znajdujące się tam powietrze, puszka wypełnia się parą wodną. Gdy wewnątrz pozostaną już tylko resztki wody i para wodna, szybkim ruchem obracamy puszkę do góry dnem i zanurzamy ją otworem w chłodnej wodzie. Efekt jest zaskakujący... puszka zostaje gwałtownie zgnieciona!



Fot 2 „Pod ciśnieniem” – Osobliwości Świata Fizyki 2006

Należy zauważyć, że ścianki puszki zostały wgniecione z wszystkich stron, co wskazuje na to, że ciśnienie wywierane na puszkę (i na nas również) jest takie samo z każdej strony. Jest to zgodne z Prawem Pascala, mówiącym, że ciśnienie w płynie (czyli w gazie lub w cieczy) rozchodzi się równomiernie we wszystkich kierunkach. Zanurzając puszkę w chłodnej wodzie sprawiamy, iż zawarta w niej para wodna skrapla się bardzo gwałtownie (skroplona ciecz zajmuje znacznie mniejszą objętość niż gaz) i w puszcze ciśnienie spada poniżej atmosferycznego. Ciśnienie atmosferyczne z łatwością radzi sobie ze ściankami puszki, zgniatając je, tak szybko, że przez otwór do środka puszki zostaje „wtłoczona” tylko niewielka ilość wody. Można powiedzieć, że natura dąży do wyrównania ciśnień na zewnątrz i wewnątrz puszki, zgniatając puszkę i napełniając ją wodą, zmniejsza jej objętość co w konsekwencji zwiększa ciśnienie wewnątrz puszki, wyrównując je z ciśnieniem atmosferycznym panującym na zewnątrz. Podobne doświadczenie można przeprowadzić ze znacznie większymi pojemnikami (np. ze stalowymi beczkami po oleju napędowym), w każdym przypadku atmosfera bez problemów radzi sobie z najtwardszą nawet blachą. Dowodzi to niewątpliwie wielkich „możliwości” ciśnienia atmosferycznego.

Dążenie do równowagi w przyrodzie zobrazować może kolejne doświadczenie.

Doświadczenie 3

Potrzebujemy wysoką szklankę lub kolbę, płaski talerz, świeczkę typu tee-light, wodę (najlepiej zabarwioną np. kolorowym tuszem), zapalki.



Fot 3 „Pod ciśnieniem” – Osobliwości Świata Fizyki 2006

Po wylaniu niewielkiej ilości wody na talerz (tak aby pokryła powierzchnię talerza) zapalamy świeczkę i stawiamy ją na środku talerza w wodzie. Przykrywamy świeczkę obróconą do góry dnem szklanką lub kolbą i obserwujemy eksperyment. Spod kolby (szklanki) zaczynają wydobywać się bąbelki gazu, po chwili świeczka gaśnie, a do kolby w niezrozumiały sposób zostaje wtłoczona woda, która unosi świeczkę do góry, niczym wodna winda.

Bąble powietrza wydobywające się z wnętrza kolby związane są z rozszerzalnością termiczną gazu, świeczka ogrzała powietrze znajdujące się w naczyniu, które zwiększyło swoją objętość i zaczęło wydobywać się na zewnątrz. Ponadto pod kloszem, w wyniku reakcji spalania zmienił się skład chemiczny gazów. Tlen został zużyty podczas spalania a w jego miejsce powstał dwutlenek węgla i woda. Świeczka zgasła, powietrze zaczęło ochładzać się, zmniejszać swoją objętość. Ten fakt (w niewielkim stopniu) oraz zmiana składu chemicznego substancji pod przykryciem spowodowały obniżenie pod kolbą ciśnienia. Ciśnienie atmosferyczne „wepchnęło” wodę do wnętrza naczynia na taką wysokość, przy której suma ciśnienia gazów w kolbie i ciśnienia hydrostatycznego wody zrównała się z atmosferycznym ciśnieniem panującym na zewnątrz kolby. Należy zauważyć, że zgodnie z równaniem stanu gazu doskonałego (równaniem Clapeyrona):

$$pV = nRT$$

p - ciśnienie gazu,

V - objętość gazu

T - temperatura gazu

R - stała gazowa

n - liczba moli

– ciśnienie gazu jest odwrotnie proporcjonalne do jego objętości tzn. jeśli objętość gazu maleje to jego ciśnienie rośnie i odwrotnie, jeśli maleje ciśnienie gazu to jego objętość wzrasta (przy stałej temperaturze).

W podobny sposób ciśnienie atmosferyczne umożliwia nam picie napojów przez słomkę. „Wysysając” powietrze zmniejszamy ciśnienie wewnątrz słomki. Powietrze atmosferyczne wywiera ciśnienie na powierzchnię napoju, wypychając go w obszar o mniejszym ciśnieniu czyli do słomki. Mówiąc ściśle: napój nie jest wsysany – to powietrze wypycha go do słomki. Gdyby powietrze to nie miało dostępu do napoju, wypicie go przez samo ssanie nie byłoby możliwe; sytuacja taka wy-

stępuje wtedy gdy chcemy napić się z butelki szczelnie zakorkowanej, ze słomką przebitą przez korek. Można spróbować!

Zastanówmy się teraz nad sytuacją odwrotną: co stałoby się z ciałami na Ziemi (np. z naszym ciałem), jeśli ciśnienie atmosferyczne zaczęłoby gwałtownie spadać. Zakończone powodzeniem spaceru po powierzchni Księżyca a także wyprawy w przestrzeń kosmiczną poza statek dowodzą, że człowiek jest w stanie przetrwać w próżni...ale musi się do tych, nowych warunków odpowiednio przygotować. Specjalny kombinezon, chroni organizm przed zbyt małym ciśnieniem zewnętrznym, brakiem powietrza a także przed skrajnymi temperaturami panującymi w Kosmosie. Powiedzieliśmy, że nasz organizm przystosował się do życia na Ziemi, między innymi, w ten sposób, że ciśnienie w jego wnętrzu równoważy się z ciśnieniem atmosferycznym. Jeśli „zdjęto by z nas ciężar atmosfery” również ciśnienie wewnętrzne, musiałyby zmienić swoją wartość aby nadal pozostawać w równowadze z otoczeniem. Jedynym sposobem zmniejszenia ciśnienia wewnątrz organizmu pozostał by wzrost jego objętości. Brak zewnętrznego ciśnienia musiałby zakończyć się dla każdego organizmu źle. To właśnie przed takimi skutkami, braku zewnętrznego ciśnienia, chroni ciało kosmonauty kombinezon. Aby zademonstrować podobną sytuację możemy wykonać kolejne doświadczenie.

Doświadczenie 4

Przygotujmy: jak największą plastikową lub szklaną strzykawkę, odcięty, nadmuchany i zawiązany (w formie małego balonika) palec, wycięty z lateksowej rękawiczki, plastelinę do zatkania strzykawki.

Umieszczamy w strzykawce balonik, wkładamy tłok a następnie szczelnie zatykamy wylot strzykawki. W baloniku, w strzykawce i poza nią panuje ciśnienie atmosferyczne. Z tak szczelnie zamkniętej strzykawki próbujemy wysunąć tłok, wykonując pracę przeciwko siłom ciśnienia atmosferycznego.

Każdej próbie wysunięcia tłoka towarzyszy wzrost objętości zawiązanego balonika znajdującego się wewnątrz strzykawki. Jak to wytłumaczyć... Jeśli wysuwamy tłok, zwiększamy objętość gazu zamkniętego w strzykawce, spada więc jego ciśnienie. Siły działające na balonik z zewnątrz zmniejszają się a siły działające od środka uzyskują przewagę. Balonik zwiększając swoją objętość zmniejsza ciśnienie panujące w jego wnętrzu tak długo aż osiągnie równowagę z ciśnieniem zewnętrznym panującym w strzykawce (jeśli nie uwzględniamy

ciśnienia pochodzącego od naprężenia sprężystej powłoki balonika). Gdy tłok puścimy, on sam zaczyna wsuwać się do środka. Możemy powiedzieć, że tłok jest wpychany do strzykawki przez ciśnienie atmosferyczne. Wsuwanie tłoka do strzykawki zmniejsza objętość zamkniętego w niej gazu, zwiększa więc jego ciśnienie tak aby wyrównać się z ciśnieniem poza strzykawką. Równocześnie balonik również zmniejsza objętość dostosowując ciśnienie w swoim wnętrzu do ciśnienia panującego w strzykawce a tym samym i poza nią (do ciśnienia atmosferycznego).

Człowiek nauczył się wykorzystywać siły ciśnienia atmosferycznego projektując między innymi różnego rodzaju „przyssawki” do przenoszenia szklanych powierzchni czy mocowania urządzeń kuchennych do blatów (np. maszynek do mięsa). Czasami nie zdajemy sobie sprawy jak użytecznym w kuchni jest ciśnienie atmosferyczne. To ono umożliwia nam szczelne zamykanie słoików z przetworami, które możemy przechowywać całą zimę a nawet dłużej. Sposób działania ciśnienia atmosferycznego podczas robienia przetworów na zimę ilustruje proste doświadczenie.

Doświadczenie 5

Aby wykonać doświadczenie potrzebujemy butelkę szklaną lub kolbę płaskodenną, czajnik z wrzącą wodą, naczynie z zimną wodą (np. miskę) i gumowy balonik.



Fot 4. IX Piknik Naukowy Radia Bis, Rynek Nowego Miasta w Warszawie

Do butelki nalewamy niewielką ilość wrzącej wody wystarczającą aby ogrzać wnętrze pojemnika. Gdy butelka jest już mocno ciepła (gorąca) wylewamy wodę a otwór zamykamy za pomocą balonika (niczym dziecięcą butelkę smoczkiem). Tak przygotowaną butelkę wstawiamy do naczynia z zimną (chłodną) wodą. Polewając ścianki butelki chłodną wodą obserwujemy zaskakujące zachowanie balonika zamykającego nasz słoik. Balonik zostaje wepchnięty do środka butelki i zaczyna tam powiększać swoją objętość. Butelka została szczelnie zamknięta. Co się wydarzyło... ?

Butelka ogrzana od wewnątrz gorącą wodą zawiera (po wylaniu wody) gorące powietrze i sporą ilość pary wodnej. Po zamknięciu butelki balonikiem i wstawieniu jej do zimnej wody powietrze w butelce zaczęło się ochładzać, a para wodna skraplać. Zmiana temperatury gazu zamkniętego w butelce pociąga więc za sobą znaczne zmniejszenie jego ciśnienia. Powoduje to wepchnięcie do środka butelki balonika przez zewnętrzne ciśnienie atmosferyczne. Tym razem jednak wyrównanie ciśnień wewnątrz i na zewnątrz butelki nie jest możliwe – balonik szczelnie zamyka butelkę. W środku ciśnienie pozostaje niższe niż atmosferyczne. W takich warunkach przetwory mogą być przechowywane przez dłuższy czas. Gdy zdejmemy balonik usłyszymy charakterystyczne syknięcie towarzyszące zawsze otwieraniu słoików z przetworami. Świadczy to o tym, iż ciśnienie wewnątrz butelki wyrównało się z ciśnieniem zewnętrznym, atmosferycznym.

Używane obecnie słoiki typu twist-off zaopatrzone są w nakrętki powleczone od spodu gumową uszczelką, które pełnią rolę podobną do naszego balonika – odkształcając się zamykają szczelnie słoik. Nie bez powodu wszelkie soki, powidła czy kompoty wlewane są do słoików gorące, ogrzewają one powietrze, które pozostaje nad ich poziomem i wypełniają tę przestrzeń sporą ilością pary wodnej. To właśnie (przede wszystkim) ta warstwa po ochłodzeniu powoduje obniżenie ciśnienia w całym słoiku i ułatwia działanie siłom ciśnienia atmosferycznego.

Przedstawione powyżej doświadczenia zostały dobrane tak, by nie wymagały specjalistycznego sprzętu w postaci np. pompy próżniowej. Są przykładem na to, że najprostsze przedmioty codziennego użytku mogą posłużyć do zaprojektowania i wykonania zaskakujących i interesujących dla uczniów doświadczeń z powietrzem. Niestety to tylko kilka przykładów, można ich zaproponować znacznie więcej. Mogą doskonale ilustrować prawa i prawidłowości rządzące mechaniką, optyką czy elektrycznością. Ale to już inne „zabawy z fizyką”...