

CZY POWIETRZE „MA CIĘŻAR”?

Piotr Kowalczyk

Autor publikacji, uczestnik projektu „Wdrożenie podstawy programowej wychowania przedszkolnego oraz kształcenia ogólnego wszystkich typów szkół – Komponent: Przeszkolenie wojewódzkich ekspertów przedmiotowych”.

Spis treści

1. Wpływ siły wyporu na pomiar ciężaru powietrza	1
2. Znaczenie gęstości powietrza dla możliwości stwierdzenia jego ciężaru	2
3. Propozycje doświadczeń związanych z „ważeniem” powietrza	2

Jedną z cech każdego obiektu jest jego masa, której mierzalną konsekwencją jest ciężar. Własności substancji charakteryzuje m.in. ich gęstość, czyli wielkość równa masie jednostkowej objętości. W przypadku powietrza wykazanie ciężaru, a co za tym idzie np. określenie gęstości, jest dość kłopotliwe. Przyczynami tego są: siła wyporu (ważenie przeprowadzamy zazwyczaj w powietrzu) i mała wartość gęstości powietrza (co wymusza dużą czułość używanej wagi).

1. Wpływ siły wyporu na pomiar ciężaru powietrza

Na każdy obiekt znajdujący się w cieczy lub gazie działa skierowana do góry siła wyporu, która zgodnie z prawem Archimedesza, równa jest ciężarowi cieczy lub gazu wypartego przez ten obiekt. W przypadku siły wyporu działającej w powietrzu, w większości przypadków można ją pominąć – ciężar wypartego powietrza jest bardzo mały w stosunku do ciężaru ważonych przedmiotów (substancji stałych lub ciekłych). Jeżeli jednak w cieczy (gazie) zanurzymy substancję o gęstości porównywalnej z gęstością tej cieczy lub gazu, wówczas stwierdzimy pozorne zmniejszenie ciężaru. W przypadku gdy gęstość zanurzonego ciała jest taka jak gęstość otaczającego ośrodka, ciężar ciała i ciężar wypartej substancji są sobie równe. Siła wyporu zrównoważy wówczas ciężkość obiektu i wydaje się on „nieważki”. Można to sprawdzić wkładając do wody torebkę foliową wypełnioną wodą – nie wypływa na powierzchnię ani nie tonie. Analogiczną sytuację mamy przy próbie ważenia powietrza w torebce, czy balonie. Jeżeli ciśnienie, a więc i gęstość, „ważonego” powietrza jest taka jak atmosferycznego – siła wyporu całkowicie zrównoważy ciężar i żadna waga nie wykáže różnicy między naczyniem pustym (np. zmiaętą torebką) i napełnionym powietrzem (doświadczenie 1). Dopiero wtłoczenie do „naczynia” dodatkowej porcji powietrza, bez zwiększania jego objętości (siła wyporu nie wzrasta) umożliwi stwierdzenie, że powietrze ma ciężar.

2. Znaczenie gęstości powietrza dla możliwości stwierdzenia jego ciężaru

Gęstość powietrza w warunkach normalnych (ciśnienie 101325 Pa, temp 0 °C) wynosi ok. 1,3 g/dm³. Oznacza to, że w celu wyznaczenia ciężaru powietrza musimy dysponować wagą o dokładności minimum 1g i ważyć powietrze zawarte w pojemnikach o objętości kilku litrów (przy uwzględnieniu uwag zawartych w poprzednim punkcie). Wymaganą dokładność posiadają powszechnie dostępne elektroniczne wagi kuchenne. Można oczywiście używać do wykazania ciężaru powietrza „wagi” wykonanej z listewki zawieszanej na nici, ale wiarygodność takiego pomiaru jest wątpliwa i zależy od uwzględnienia szeregu czynników wpływających na jej „dokładność”. Użycie wagi elektronicznej umożliwia ponadto oszacowanie masy jednostkowej objętości powietrza, czyli jego gęstości, w warunkach atmosferycznych. Poniżej przedstawiam propozycję doświadczeń związanych z „ważeniem” powietrza i wykazujących szczególne uwarunkowania tego pomiaru. W badaniach wykorzystałem typową elektroniczną wagę kuchenną, piłkę do siatkówki, pompkę samochodową z akcesoriami do pompowania piłek (w tym przypadku przystawka wykonana z wkładu do długopisu) i inne ogólnodostępne przedmioty (fot. 1).

3. Propozycje doświadczeń związanych z „ważeniem” powietrza



Fot. 1. Pomoce do przeprowadzenia doświadczeń związanych z „ważeniem” powietrza

Doświadczenie 1.

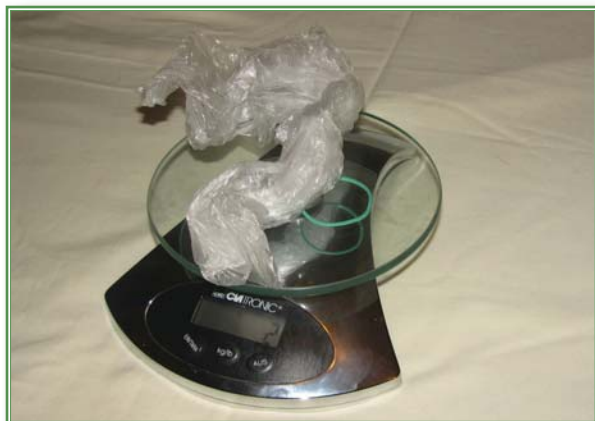
Ważenie „pustej” torebki foliowej i wypełnionej powietrzem.

Przyrządy:

- elektroniczna waga kuchenna,
- torebka foliowa,
- gumka „recepturka”.

Przebieg doświadczenia:

1. Na włączonej i wytarowanej wadze kładziemy zwiniętą torebkę foliową o pojemności 1-2l i gumkę recepturkę (fot. 2). Odczytujemy i zapisujemy wskazania wagi (masa torebki i gumki na fotografii – 2g).
2. Nabieramy (zagarniając, a nie wdmuchując) powietrza do torebki, zawiązujemy ją gumką i ponownie kładziemy na wadze (fot. 3). Odczytujemy i zapisujemy wskazania wagi (wskazywana masa torebki z powietrzem i gumki na fotografii – 2g).



Fot. 2. Ważenie „pustej” torebki foliowej



Fot. 3. Ważenie torebki wypełnionej powietrzem

W tym przypadku siła wyporu powietrza atmosferycznego całkowicie zrównoważyła ciężar powietrza zawartego w torebce.

Uwaga: w przypadku „nadmuchiwania” dużej torebki wskazania wagi mogą się zmienić – zmniejszyć na początku pomiaru, a wzrosnąć po „ostygnięciu” wdmuchanego powietrza.

Dlaczego wskazania wagi mogą się zmniejszyć?

Powietrze wdmuchiwane do torebki ma wyższą temperaturę niż atmosferyczne, a więc mniejszą gęstość. Siła wyporu jest więc w tym przypadku większa od ciężaru powietrza – co może zmniejszyć wskazania wagi. Po spadku temperatury powietrza w torebce do temperatury otoczenia, wskazania wagi przyjmują wartość taką jak po położeniu pustej (zwiniętej) torebki. Objętość torebki nieznacznie maleje, co powoduje zmniejszenie siły wyporu, a w konsekwencji zwiększenie wskazań wagi.

Dlaczego wskazania wagi mogą się zwiększyć?

Powietrze wydychane zawiera większą ilość dwutlenku węgla i pary wodnej niż powietrze atmosferyczne, ma więc nieco większą gęstość. Przy dużej objętości torebki (ponad 3-4l) powietrze zawarte w torebce może być cięższe od wypartego powietrza atmosferycznego o wartość wykazywaną przez wagę.

Unikniemy tych efektów „zagarniając” do torebki powietrze atmosferyczne.

Doświadczenie 2.

Wykazanie ciężaru powietrza wtłoczonego do piłki z uwzględnieniem siły wyporu.

Przyrządy:

- elektroniczna waga kuchenna,
- piłka utrzymująca stałą objętość przy pompowaniu,
- pompka z przystawką do pompowania piłek.

Przebieg doświadczenia:

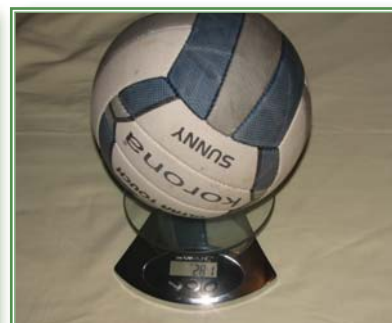
1. Ważymy piłkę bez powietrza i zapisujemy wynik pomiaru (masa piłki – 278g), (fot. 4).
2. Pompujemy piłkę tak, aby zwiększyła swoją objętość i przyjęła kształt kuli, ale pozostała „miękka”, a następnie ponownie ją ważymy (fot. 5). Podczas pompowania liczymy ilość „wtłoczeń” powietrza do piłki (w przykładzie na fotografii – masa piłki z powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym – 278g). W przedstawionym na zdjęciu przypadku wpompowano do piłki 16 objętości pompki.
W tej części doświadczenia musimy zadbać, aby powietrze zawarte w piłce było pod ciśnieniem atmosferycznym lub niewiele wyższym. Jeżeli używamy pompki z manometrem do końca pompowania wskazania ciśnieniomierza powinny być zerowe. W tej sytuacji gęstość powietrza zawartego w piłce jest taka jak atmosferycznego, a co za tym idzie siła wyporu równoważy ciężar powietrza wpompowanego do piłki – wskazania wagi nie zmieniają się, podobnie jak w przypadku torebki foliowej z doświadczenia 1.
3. Pompujemy piłkę do podwyższonego ciśnienia wtłaczając taką samą ilość powietrza, która była potrzebna w poprzedniej części doświadczenia – w tym przypadku 16 razy. Następnie ważymy piłkę. Przykładowy wynik przedstawia fot. 6 (masa piłki z powietrzem pod zwiększonym ciśnieniem – 281g).



Fot. 4. Ważenie piłki bez powietrza



Fot. 5. Ważenie piłki po napompowaniu



Fot. 6. Ważenie piłki po dopompowaniu

Jak widać na fotografiach po napełnieniu piłki powietrzem bez zwiększania ciśnienia wskazania wagi nie zmieniły się – zwiększony ciężar piłki został zrównoważony przez zwiększoną siłę wyporu. Po dopompowaniu kolejnej porcji powietrza, objętość piłki nie zmieniła się, a co za tym idzie siła wyporu nie uległa zmianie. Wskazania wagi wzrosły o 3g, co odpowiada masie dopompowanego powietrza. Można sprawdzić, że wtłoczenie takich samych ilości powietrza (taka sama ilość ruchów pompki) spowoduje wzrost masy piłki o takie same wartości.

Doświadczenie 3.

Oszacowanie gęstości powietrza (masy 1 litra powietrza).

Przyrządy i materiały:

- pompka (używana w poprzednim doświadczeniu),
- naczynie miarowe (np. dzbanek z podziałką mililitrową),
- plastikowa butelka (0,5-1,5l),
- miska z wodą.

Proponowany eksperyment jest rozszerzeniem badań zawartych w zapisach nowej podstawy programowej, a jego wyniki mogą być wykorzystane przy porównywaniu masy różnych ciał o tych samych objętościach. Wyznaczenie gęstości (masy jednost-

kowej objętości) powietrza, umożliwi również porównywanie własności substancji w różnych stanach skupienia.

W doświadczeniu wykorzystujemy wyniki pomiarów z części 3 **doświadczenia 2**:

- ilość ruchów tłoka podczas pompowania,
- przyrost masy piłki.

Aby określić masę 1 litra powietrza, musimy jeszcze ustalić objętość powietrza, które wtłoczyliśmy do piłki (pod ciśnieniem atmosferycznym). Możliwe to będzie po zmierzeniu objętości powietrza wpompowanego podczas 1 ruchu tłoka.

Przebieg doświadczenia:

1. Do miski nalewamy wody. Napełniamy naczynie miarowe do określonego poziomu i zapisujemy objętość wody.
2. Butelkę plastikową napełniamy wodą z naczynia miarowego. Następnie, zakrywając wylot butelki, wstawiamy ją do miski z wodą (do góry dnem), dbając, aby do butelki nie dostało się powietrze (fot. 7).



Fot. 7. Wstawianie butelki napełnionej wodą do miski z wodą

3. Pod wylot butelki wsuwamy wężyk od pompki, którą pompowaliśmy wcześniej piłkę i naciskamy jednokrotnie na tłok pompki (fot. 8). Wychodzące powietrze wypiera wodę z butelki.



Fot. 8. Wsuwanie wężyka od pompki do butelki

4. Zakrywamy wylot butelki, wyjmujemy ją z miski, wodę z butelki przelewamy do naczynia miarowego (fot. 9a – przed eksperymentem – 500 mililitrów, fot. 9b – po eksperymencie 300 mililitrów).



Fot. 9a. Objętość wody przed eksperymentem



Fot. 9b. Objętość wody po eksperymencie

5. Obliczamy objętość pompki – powietrza wpompowanego do piłki podczas jednokrotnego wtłoczenia (odejmujemy objętości wody w naczyniu miarowym przed i po doświadczeniu – 0,2l).
6. Mnożąc wyznaczoną objętość pompki przez ilość ruchów tłoka (w doświadczeniu 3), otrzymujemy objętość powietrza wtłoczonego do piłki ($16 \times 0,2l = 3,2l$).
7. Dzieląc przyrost masy piłki (3g) przez obliczoną objętość (3,2) otrzymujemy szacunkową masę jednego litra powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym (ok. 1g/l co jest przy tym sposobie pomiaru dobrą wartością szacunkową).

Doświadczenie można również wykonać, używając gumowego balonu zamiast piłki – nie jest wówczas potrzebna pompka. Ale w tym przypadku analiza ilościowa nie jest możliwa – balon podczas nadmuchiwania zwiększa swoją objętość, rośnie więc też siła wyporu. Przyrost „masy” balonu wykazywany przez wagę jest znacznie mniejszy od rzeczywistej masy powietrza w nim zawartego. W doświadczeniu przeprowadzonym z gumowym balonikiem wskazania wagi zmieniają się o maksymalnie 1g (nawet przy dość dużej objętości wtłoczonego powietrza).

Uwaga:

Sposób pomiaru objętości powietrza przedstawiony w tym doświadczeniu może być wykorzystany przy tematach związanych z układem oddechowym człowieka – w prosty sposób możemy oszacować pojemność oddechową płuc. Należy wówczas używać butelki o większej pojemności np. 2l, a w przypadku osób dorosłych nawet 5l.