

TMF 2013: Zadanie 5 – Lewitacja *Mikołaj Łuczak kl. IIA Godło: lzkw1*

Lekka piłka (np. pingpongowa) może utrzymać się w skierowanym ku górze strumieniu powietrza. Strumień ten może zostać odchylony, a mimo to unosi piłkę. Zbadaj to zjawisko i zoptymalizuj układ tak, by uzyskać jak największy kąt odchylenia od pionu, przy którym piłka unosi się stabilnie.

I. Warunki wymagane do przeprowadzenia eksperymentu.

Ciało lewitujące nad strumieniem powietrza musi spełniać pewne warunki. Musi być to ciało kuliste, gdyż ciało o innych kształtach może łatwo wylecieć ze strumienia powietrza. Powierzchnia tego ciała musi być gładka, bez żadnych nierówności (wgłębień, wypukłych napisów itp.). Ciałem tym może być także organizm żywy o różnych kształtach, który potrafi kontrolować i koordynować ruchy swojego ciała i siły wznoszące strumienia powietrza np. spadochroniarze ćwiczący w specjalnych tunelach aerodynamicznych. Ciało musi być małych rozmiarów i niewielkiej masy najlepiej wypełnione lekkim gazem i cienkich ściankach, gdyż im większa masa obiektu tym potrzebna jest większa siła wznosząca powietrza aby obiekt lewitował. Idealnie do tego eksperymentu nadaje się piłeczka pingongowa.

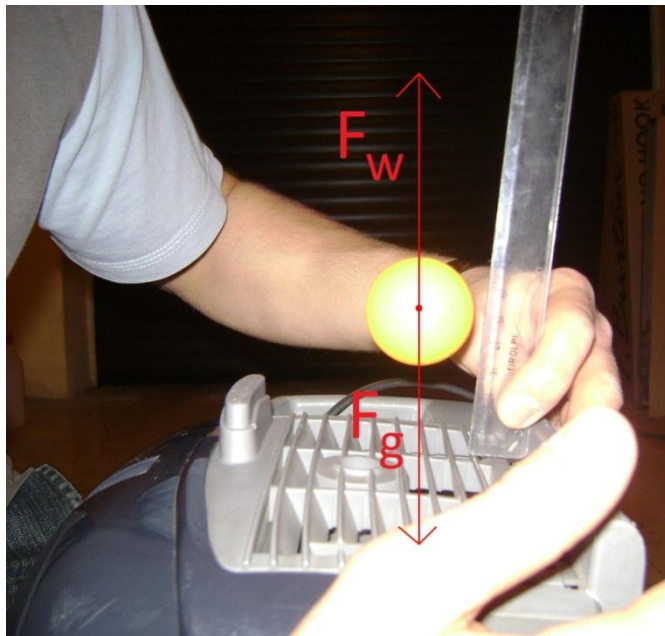
II. Analiza teoretyczna.

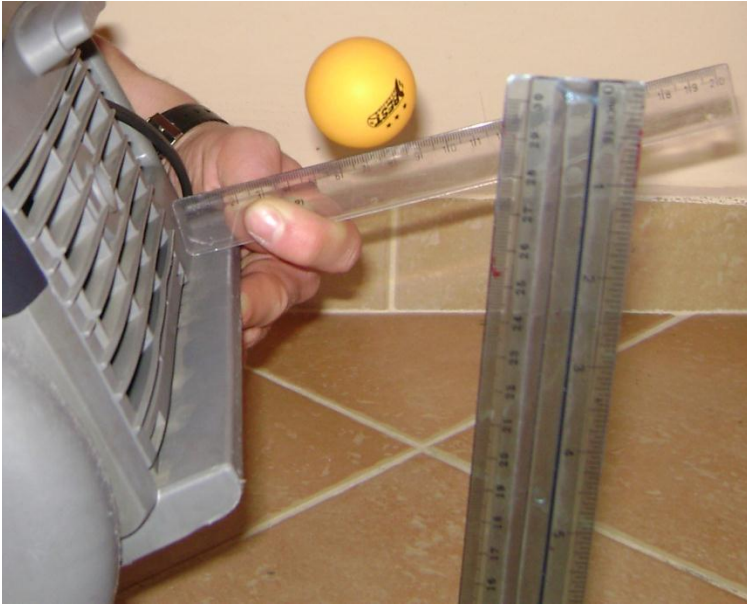
Im większa jest odległość od źródła powietrza tym mniejsza jest wartość siły wznoszącej powietrza w tym miejscu. Piłeczka lewituje na stałej wysokości w której wartość siły wyżej wymienionej jest równa sile z jaką Ziemia przyciąga piłeczkę.

Odległość piłeczki od źródła powietrza ok. 5 cm.

F_w – siła wznosząca powietrza w danym miejscu

F_g – siła grawitacji działająca na piłeczkę





Możemy też zauważyć, że przy pochylaniu źródła powietrza obiekt lewitujący oddala się. (teraz jest w odległości ok. 7,5 cm)

Im mniejsze rozmiary obiektu tym łatwiej się utrzymuje w strumieniu powietrza, ponieważ więcej powietrza opływa ciało, mamy niższe ciśnienie dookoła obiektu, które stabilizuje jego położenie w powietrzu i nie pozwala uciec ze strumienia powietrza. Powietrze owiewa piłeczkę i jego prędkość zwiększa się. Wtedy następuje zmniejszenie ciśnienia i powstaje pas niskiego ciśnienia zgodnie z prawem Bernoulliego, które później opiszę. Ciśnienie dąży do wyrównania się. Wyższe ciśnienie poza tym pasem „wpycha się” w ten pas i powoduje że piłeczka nie ma drogi ucieczki i pozostaje w strumieniu.

Możemy także zauważyć, że piłeczka obraca się wokół własnej osi na skutek efektu Magnusa, który dokładnie omówię później.

Łatwiej też jest się utrzymać ciało w powietrzu kiedy stosunek powierzchni wylotu powietrza



do powierzchni koła powstałego w wyniku przecięcia na dwie połówki obiektu (w tym przypadku kuli) jest największy i kąt odchylenia od pionu będzie większy i może wynosić aż ok. 68 stopni co doświadczalnie udowodniłem.

Na powiększeniu zdjęcia widać że krawędź odkurzacza znajduje się na wysokości ok. 17,5 cm od powierzchni ziemi.



Pomiar długości:

Długość odkurzacza wynosi 46,8 cm:

Rysunek został wykonany w skali 1:3.

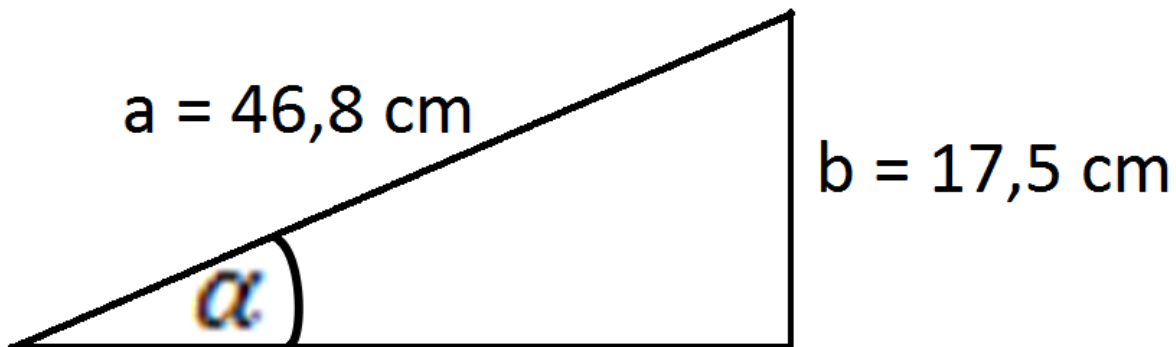
a – długość odkurzacza
b – wysokość krawędzi odkurzacza nad ziemią

Z funkcji trygonometrycznej sinus możemy policzyć kąt odchylenia od pionu:

$$\sin \alpha = \frac{b}{a} = \frac{17,5}{46,8} \approx 0,374$$

$$\alpha \approx 21,958^\circ$$

$$90^\circ - \alpha = 90^\circ - 21,958^\circ \approx 68,041^\circ$$



Zmniejszyłem prędkość wylatującego powietrza po przez częściowe zatkanie wlotu do odkurzacza. Piłeczka lewitowała w trochę mniejszej odległości od wylotu powietrza odkurzacza niż bez oporu w postaci kartki. Jednak okazało się że kąt odchylenia od pionu jest podobny, gdyż wysokość krawędzi odkurzacza nad powierzchnią ziemi również wynosi ok. 17,5 cm. Kąt odchylenia od pionu też będzie wynosić ok. 68° . Kąt ten się niewiele zmieni, ponieważ prędkość powietrza w moim doświadczeniu zmieniła się o niewielką wartość. Siłę która unosi piłeczkę w takim pochyleniu można opisać za pomocą zjawiska fizycznego zwanego efektem Magnusa.

Zwiększyłem także ciężar piłeczki wstrzykując do niej wodę i zachowywała się następująco:

- Piłeczka z wstrzykniętym 0,5 ml wody – nie zmienił się kąt odchylenia.
- Piłeczka z wstrzykniętym 1ml wody – nie zmienił się kąt odchylenia

- Piłeczka z wstrzykniętym 1,5ml wody – nie zmienił się kąt odchylenia
- Piłeczka z wstrzykniętymi 2ml wody – piłeczka nie lewituje.

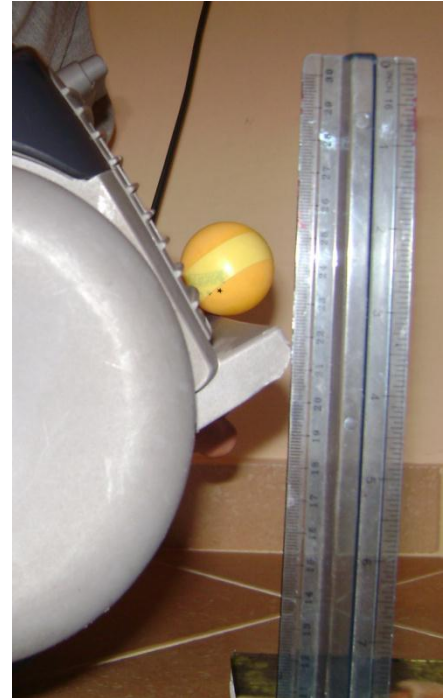


Po pochylenia piłeczka również nie lewituje w tym przypadku, odbija się od odkurzacza a następnie spada

Wnioski:

Zwiększenie ciężaru piłeczki nie wpływa na maksymalny kąt odchylenia od pionu pod warunkiem że piłeczka lewituje.

Jeśli jednak stosunek powierzchni wylotu powietrza do powierzchni koła powstałego w wyniku przecięcia na dwie połowki obiektu będzie niewielki i mniejszy od 1 to obiekt będzie lewitować przy odpowiedniej sile wznoszącej strumienia powietrza, lecz nie osiągniemy już tak dużego kąta odchylenia od pionu jak przy większym stosunku wyżej wymienionych powierzchni.



III. Prawo Bernoulliego.

Lewitację piłeczki ping – pongowej można opisać za pomocą prawa sformułowanego przez Daniela Bernoulliego w 1738 r. To prawo jest jednym z podstawowych równań hydrodynamiki płynów idealnych, jednak dobrą analogią dla płynu idealnego jest powietrze więc następujący wzór może zostać użyty w naszym doświadczeniu.

$$e_m = \frac{V^2}{2} + gh + \frac{p}{\rho}$$

Poszczególne człony to:

- Energia kinetyczna
- Energia potencjalna przyciągania ziemskiego
- Energia ciśnienia

e_m - energia jednostki masy płynu

ρ - gęstość płynu

V – prędkość płynu w rozpatrywanym miejscu

h – wysokość w układzie odniesienia w którym liczona jest energia potencjalna

g – przyspieszenia grawitacyjne

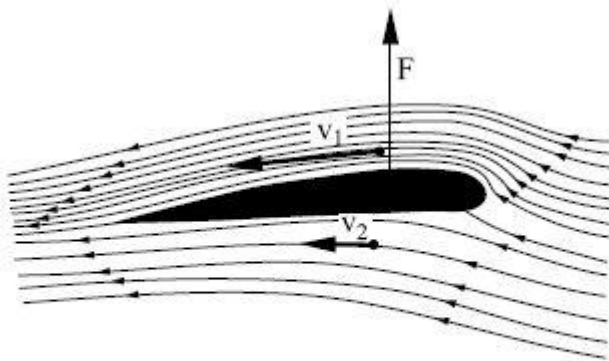
p – ciśnienie płynu w rozpatrywanym miejscu

Możemy też stosować następujące równanie:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2$$

Prawo Bernoulliego zostało stworzone dla opisu hydrodynamiki płynów idealnych, ale ogólne wnioski płynące z tego równania mogą być stosowane też dla gazów. Powietrze jest substancją ściśliwą, ale warunki mające miejsce w naszym doświadczeniu nie powodują sprężania powietrza, więc to założenie możemy pominąć w naszym doświadczeniu.

IV. Nawiązanie do powstawania siły nośnej w samolocie.



Powstawanie siły nośnej przy płycie profilu lotniczego

$$v_1 > v_2$$

Powietrze opływa piłeczkę z pewną prędkością tworząc obszar niskiego ciśnienia, podczas gdy powietrze dookoła tego pasa nie porusza się. To powietrze o wyższym ciśnieniu ściska powyższy pas z tą piłeczką przez co piłeczka nie wylatuje ze strumienia powietrza. Prawo Bernoulliego mówi że *powietrze opływając ciało wywołuje mniejsze ciśnienie od strony gdzie droga przepływu jest dłuższa*. Dlatego też nad specjalnie wyprofilowanym skrzydłem samolotu panuje mniejsze ciśnienie niż pod skrzydłem i powoduje to powstanie siły nośnej która jest spowodowana różnicą ciśnień.

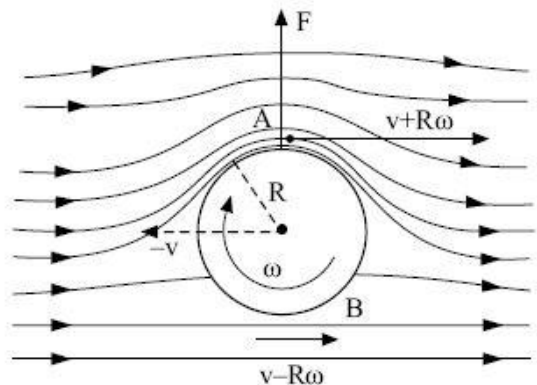
V. Efekt Magnusa

Kiedy źródło powietrza jest pochylone to piłeczka obraca się. Powstaje wtedy siła nośna która wyrażana jest wzorem:

$$F = \rho \cdot (V \times \Gamma)$$

Gdzie:

ρ - gęstość powietrza



Linie prądu w otoczeniu poruszającej się względem powietrza i obracającej się piłki

V – prędkość powietrza

Γ - oznacza cyrkulację prędkości

A to jest wzór na cyrkulację prędkości:

$$\Gamma = \oint_C \mathbf{V} \cdot d\mathbf{s}$$

Gdzie $d\mathbf{s}$ oznacza wektor styczny do krzywej całkowania.

Siła nośna powstaje na skutek różnicy ciśnień. Ciśnienie w punkcie A jest mniejsze niż w punkcie B. Zgodnie z prawem Bernoulliego ciśnienie jest niższe tam gdzie prędkość przepływu powietrza jest większa. Na skutek tej różnicy ciśnień piłeczka w naszym eksperymencie nie spada pomimo jej pochylenia.

Kąt odchylenia od pionu nie zmienił się znacznie w moim eksperymencie pomimo oporu w postaci kilkakrotnie złożonej kartki. Jak już wspomniałem prędkość powietrza nie zmieniła się znacznie w wyniku tego zabiegu. Jednak przy znacznej zmianie prędkości powietrza zmianie ulegnie też wartość siły którą opisuje powyższy wzór. Należy pamiętać że ta siła musi się równoważyć z ciężarem aby ciało lewitowało.

Zjawisko lewitacji przy pochylaniu źródła powietrza już dokładnie opisałem, lecz chcę pokazać jeszcze jeden eksperyment, który może pomóc zrozumieć na czym polega prawo Bernoulliego.

Bibliografia.

- [http://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Bernoulliego_\(fizyka\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/Prawo_Bernoulliego_(fizyka))
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Efekt_Magnusa
- <http://pl.wikipedia.org/wiki/Cyrkulacja>
- <http://weirdscience.eu/Prawo%20Bernoulliego%20i%20lewituj%C4%85ca%20pi%C5%82eczka.html>
- http://www.edupedia.pl/words/index/show/533273_sownik_fizyczny-sia_nona_dynamiczna.html
- Marian Kozielski – „Fizyka i Astronomia tom 1”