

Za zgodą Autorów publikujemy pracę uczniów – kandydatów do Turnieju Młodych Fizyków w roku 2004. Szansa udziału w tych zawodach była motywacją do wykonywania doświadczeń i własnych ich interpretacji. Turniej w dalszym ciągu istnieje. Zachęcamy do zainteresowania nim swoich uczniów.

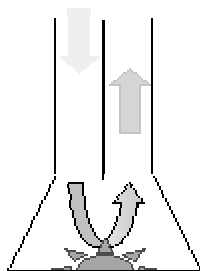
Redakcja

Dwa kominy

Pudełko z przezroczystą ścianką ma dwa kominki. Pod każdym kominkiem znajduje się świeca. Wkrótce po zapaleniu świec płomień jednej z nich staje się niestabilny. Zbadaj to i przedstaw własną teorię tego zjawiska.

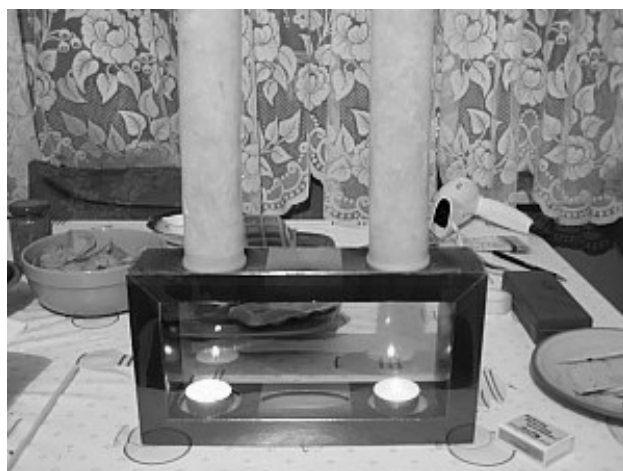
„Bywa, że jeden musi się poświęcić, aby drugi mógł przeżyć” - Dina Abu Ghaida, Palestyna

W wielu domach możemy znaleźć wkłady kominkowe (ozdobne kominki pokojowe), od których odprowadzony jest komin. Komin taki jest przedzielony przegrodą, dzielącą go na dwie części. Jedna część odpowiada za odprowadzanie dymu z paleniska, druga zaś za doprowadzanie powietrza (Rys.1). Z podobnym zjawiskiem spotykamy się w naszym zadaniu.



Rys1

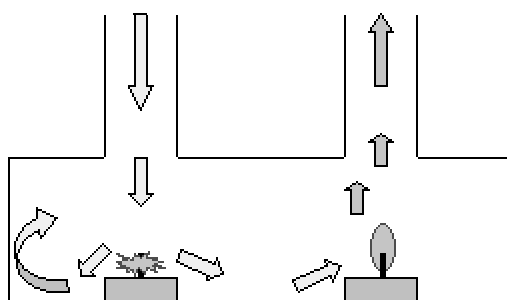
Na potrzeby naszego doświadczenia zbudowaliśmy pudełko z dwoma przezroczystymi ściankami, jak na zdjęciu poniżej.



Pudełko miało następujące wymiary wewnętrzne: 22,8 x 10,2 x 6,5 [cm]. Długości kominów wynosiły: długość kominu: część wystająca ponad pudełko – 21,1 cm, a długość całego kominu – 22 cm. Średnica wewnętrzna wynosiła 4,3 cm. Jako świeczek użyliśmy wkładów do świec zapachowych (podgrzewaczy – patrz zdjęcie powyżej).

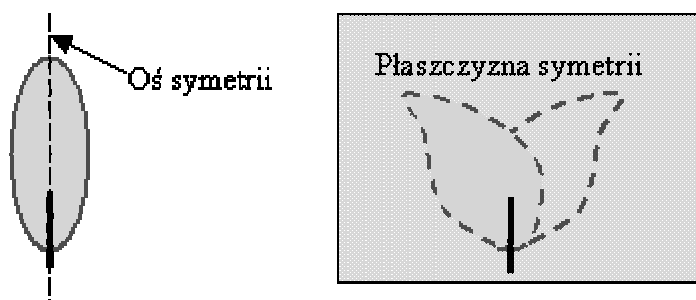
Po zapaleniu świeczek zaobserwowaliśmy, że jeden z płomieni zaczął zachowywać się niestabilnie, jednak przypadkowe jest to, który z nich zacznie zachowywać się niestabilnie. W trakcie obserwacji zauważyliśmy, że w otoczeniu, w którym nie występują spontaniczne ruchy powietrza (przeciągi ☺), raz ustalony układ, czyli stan płomieni obu świeczek, nie zmienia się wraz z upływem czasu.

Aby zbadać powód niestabilności jednego z płomieni przygotowaliśmy łuczywo, które w czasie żarzenia wytwarza dużo dymu. Po przybliżeniu łuczywa do kominów okazało się, że komin położony nad niestabilną świeczką zawsze zasysał dym do pojemnika, a komin położony nad stabilną świeczką wypychał ten dym do góry. Jednocześnie dało się zauważyć ciekawe zawirowania dymu wewnątrz pojemnika (patrz film: "zawirowania dymu" umieszczony na płycie CD-R dołączonej do rozwiązania tego zadania). Widać było, że przez komin zasysający (nad niestabilnym płomieniem) z dużą prędkością wpada dym do wnętrza pudełka, wiruje skomplikowanie nad niestabilną świeczką. Z kolei nad płomieniem stabilnym nie widać kłębow dymu, za to daje się zauważyć jak dym jest szybko wysysany z pojemnika przez komin umieszczony nad stabilnym płomieniem. Doświadczenie z dymem upewnia nas w przeświadczeniu, iż niestabilność jednego z płomieni jest powodowana specyficznym ruchem powietrza w układzie (Rys.2).



Rys 2

Ustaliliśmy już, że układ nie zmienia się wraz z upływem czasu (płomień świeczek nie zmieniają swojego stanu). Jednak po pewnym czasie daje się zauważyć, że niestabilny płomień powoduje u świeczki szybsze spalanie (wosk w niestabilnej świeczce jest całkowicie roztopiony, podczas gdy w drugiej dopiero część uległa roztopieniu). Naszym zdaniem niestabilność płomienia świeczki jest spowodowana spontanicznym złamaniem symetrii płomienia. Kiedy świeczka pali się swobodnie w izolowanym układzie, jej płomień posiada oś symetrii (jest stabilny) i ma jedno położenie równowagi. Kiedy wprowadzimy czynnik zewnętrzny w postaci prądu powietrza od góry, równowaga płomienia zostaje zachwiana – spontanicznie złamana zostaje symetria układu w efekcie czego płomień zyskuje kilka nowych położenia równowagi, między którymi drga. Dzieje się tak zgodnie z zasadą, że każdy układ w przyrodzie dąży do zajęcia możliwie najniższego stanu energetycznego. Płomień taki podczas przechodzenia między jednym a drugim stanem równowagi, wykonuje pracę związaną z przechodzeniem przez wyższe stany energetyczne. W wyniku tego wydzielana jest dodatkowa energia powodująca szybsze roztopianie się wosku, co zaobserwowaliśmy (Rys.3).



Rys 3.

Na rysunku widać początkowe położenie równowagi oraz dwa z wielu nowych położen równowagi. Jednocześnie widać, że nowe położenia równowagi są mniej energetyczne niż początkowe, a oś symetrii na początku zamienia się na płaszczyznę symetrii.

Zastanawialiśmy się, czy możemy decydować, która ze świeczek będzie miała niestabilny płomień. Jak się okazało, wpływ na to mają długości kominów. Po skróceniu (wyciągnięciu) kominu znajdującego się nad stabilnym płomieniem zauważamy, że stany płomieni się zmieniają (zmienia się kierunek ruchu powietrza w układzie). W odwrotnej sytuacji nie zauważamy żadnych zmian. Dzieje się tak z powodu oporów, jakie stawia komin dla zasysanego powietrza. Powietrzu łatwiej jest przedostać się do środka przez otwór w pudełku, niż przez długi komin. Dlatego układ „wybiera” otwór bez kominu do zasysania powietrza, przez co płomień pod nim staje się niestabilny, bez względu na początkowy stan.

Kolejnym sposobem na zmianę stanu płomieni jest zakłócenie stałego ruchu powietrza poprzez chwilowe wdmuchiwanie powietrza do kominu, który wydmuchiwał powietrze z pudełka. Do tego celu posłużyliśmy się suszarką do włosów. Całą operację można obejrzeć w załączonym na płycie CD-R filmie „suszarka”.

Podczas przeprowadzania tego doświadczenia zauważyliśmy, że komin wydmuchujący powietrze z pudełka nagrzewa się, podczas gdy drugi ma temperaturę zbliżoną do temperatury otoczenia. Przesuwając rękę nad kominem stabilnej świecy zauważamy, że wydmuchiwane powietrze jest ciepłe. Można stąd wnioskować, że powietrze powoduje nagrzewanie tego kominu. Aby zauważyć różnicę temperatur pomiędzy kominami, przyczepiliśmy po stronie zewnętrznej na każdym z kominów termometr akwariowy. Aby mieć pewność, że skoki temperatur pochodzą z kominu, a nie z otoczenia, nakleiliśmy folię aluminiową, złożoną na pół, tak by strona odbijająca promieniowanie była po zewnętrznych stronach. Dzięki temu promieniowanie pochodzące od kominu było odbijane w kierunku termometru, a jednocześnie termometr był odizolowany od promieniowania otoczenia. Przed rozpoczęciem badania wyrównaliśmy temperatury obu kominów. Po zapaleniu świecy i ustaleniu układu, termometr



umieszczony na kominie wysysającym powietrze z pojemnika zaczął wskazywać wyższą temperaturę niż drugi termometr, umieszczony nad kominem zasysającym powietrze (nad niestabilną świecą), co widać na zdjęciu poniżej.

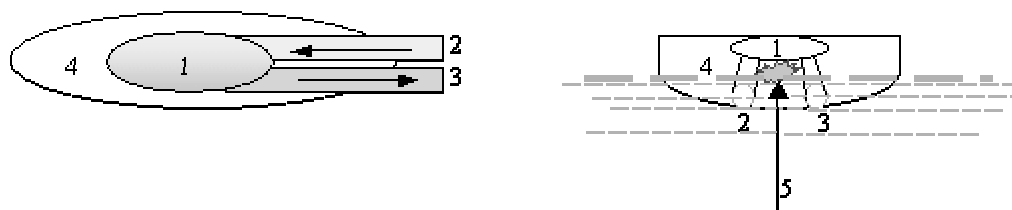
Po zamianie kierunku ruchu powietrza w układzie zaobserwowaliśmy analogiczną sytuację (komin nad niestabilną świecą był chłodniejszy), co widać na zdjęciu poniżej.



Z wszystkich tych doświadczeń wysunęliśmy własną teorię natury tego zjawiska. Dlaczego powietrze zaczyna się poruszać w jednym kierunku, po ustaleniu się układu?

Otóż powietrze nad płomieniami świec ogrzewa się, przez co w wyniku konwekcji unosi się do góry (ma mniejszą gęstość) i wydostaje się przez komin. W wyniku tego powstaje chwilowy spadek ciśnienia w pudełku. Teoretycznie, gdyby zaszła idealna równowaga pomiędzy układami obu

świec i kominów oraz układ byłby izolowany od wszelkich energii zewnętrznych, to powietrze wydostawałoby się na zewnątrz, aż do momentu uzyskania przez układy równowagi termodynamicznej. W efekcie zauważylibyśmy wyraźny spadek masy układu oraz zatrzymanie konwekcji powietrza (z braku tlenu świece by wygasły). Jednak nie da się osiągnąć idealnej równowagi, więc kiedy w pudełku powstaje chwilowy spadek ciśnienia, jeden z kominów zaczyna zasysać powietrze. To, który z kominów zacznie zasysać powietrze jest zależy od chwilowej prędkości powietrza w kominach. Chwilowo słabsza świeca „przegrywa” gdyż słabiej podgrzane powietrze w danej chwili ma mniejszą prędkość i łatwiej zmienić kierunek jego ruchu.



- 1-Zbiorniczek z wodą
- 2-Dysza zasysająca wodę
- 3-Dysza wypychająca wodę
- 4-Kadłub łódki
- 5-Płomień świecy

Podobnym doświadczeniem może być przykład łódeczki napędzanej świeczką. Kiedyś dla zabawy konstruowano łódeczki, które posiadały dwie dysze połączone zbiorniczkiem, których wyloty zanurzone były w wodzie. Dysze i zbiorniczek musiały być napełnione wodą, wtedy pod zbiorniczkiem umieszczało się zapaloną świecę. Łódeczka zaczynała płynąć gdyż, analogicznie jak w przypadku kominów, rozszerzająca się pod wpływem temperatury woda zaczynała poruszać się w kierunku wylotu jednej z dysz, druga zaś zasysała zimną wodę do zbiorniczka, gdzie była później podgrzewana, itd. „Dwa kominy” w postaci łódki poruszają się na zasadzie odrzutu wody (Rys.4). W dalszym rozwinięciu doświadczenia (jeżeli dostaniemy się na dalszy etap turnieju) zbadamy zmiany ciężaru pudełka w zależności od odrzutu powietrza w kominach.

Ola Sitko
Marcin Wolak

Opole 2004