

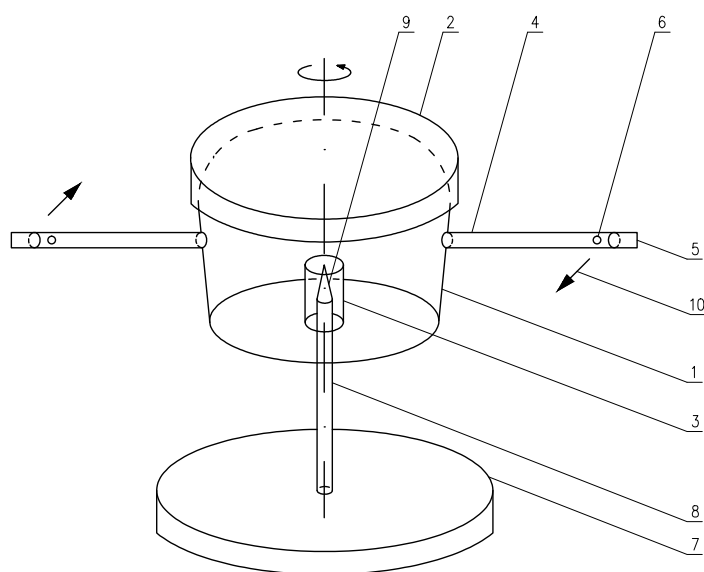
Bezpieczny model silnika odrzutowego na „sodkę” i ocet

Stanisław Bednarek

Nauczyciele fizyki z dużym stażem zawodowym mogą pamiętać okazałych rozmiarów model silnika odrzutowego, produkowany przez Fabrykę Pomocy Naukowych w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku [1]. Ten model składał się z dwóch podzespołów. Pierwszym z nich była rama z dwoma szynami zaopatrzoną na końcu w poprzeczkę do zaczepienia haczyka siłomierza. Drugi podzespół to czterokołowy wózek przystosowany do ustawienia na szynach.

Do wózka była przymocowana komora spalania, dysza wylotowa w kształcie długiej, poziomej rury i zbiornik paliwa. Uruchomienie modelu odbywało się świecą zapłonową od silnika samochodowego, wmontowaną w komorę spalania. Wózek był łączony z ramą za pomocą siłomierza, który pozwalał na pomiar siły ciągu silnika. Praca tego silnika była bardzo efektowna, ale jeszcze bardziej hałaśliwa i niebezpieczna.

Dziś pewnie trudno byłoby znaleźć taki model w jakiejś szkolnej pracowni fizycznej. Ponieważ zjawisko odrzutu jest ważnym tematem, to ta sytuacja stała się zachętą do opracowania innego modelu silnika odrzutowego, który jest łatwy do wykonania z przedmiotów codziennego użytku i co najważniejsze bezpieczny. Dlatego uczniowie mogą z nim samodzielnie eksperymentować bez obaw o wyrządzenie komukolwiek szkody.



Rys. 1. Budowa modelu silnika odrzutowego; 1 – plastikowy przezroczysty pojemnik, 2 – zakrętka lub pokrywa pojemnika, 3 – próbówka, 4 – słomka do napojów, 5 – zamknięty koniec słomki, 6 – otwór, 7 – podstawka, 8 – pręt, 9 – ostrze igły lub szpilki, 10 – strumień dwutlenku węgla.

Wygląd zewnętrzny silnika został przedstawiony na rys. 1. Silnik jest bezpieczny m.in. dlatego, że nie zachodzi w nim spalanie i pracuje w temperaturze pokojowej. Zamiast komory spalania w silniku zastosowano okrągły pojemnik 1, wykonany z przezroczystego tworzywa sztucznego i zaopatrzony w pokrywę lub zakrętkę 2, umożliwiającą jego szczelne zamykanie. Ważne jest, żeby pojemnik był możliwie lekki. Średnica pojemnika powinna wynosić 5-10 cm, a wysokość ok. 5 cm. Do tego celu bardzo dobrze nadaje się pojemnik przeznaczony do zbierania próbek do badań laboratoryjnych, który można kupić w aptece za ok. 2 zł lub pojemnik od produktów spożywczych, np. gotowych zup.

W środku dna pojemnika należy wyciąć okrągły otwór, wcisnąć do niego krótką próbówkę 3, skierowaną dnem do góry i krawędź otworu wokół próbówki uszczelnić klejem epoksydowym lub silikonem. W górnej części bocznej ścianki pojemnika należy wyciąć dwa umieszczone naprzeciw siebie otworki, wcisnąć w nie końce słomek do napojów 4 lub końce plastikowych rurek o średnicy ok. 4-5 mm i długości ok. 10 cm oraz uszczelnić krawędzie otworów podobnie, jak poprzednio. Końce 5 słomek 4 należy zacisnąć i zakleić, a w pobliżu tych końców w każdej słomce wykonać otworek 6 o średnicy ok. 1 mm. Otworki muszą być skierowane w przeciwne strony, a do ich wykonania można wykorzystać grubą igłę lub koniec nożyczek.

Obecnie dostępne są głównie słomki ekologiczne, wykonane z papieru. Takie słomki szybko rozmiękają i są przeznaczone do jednorazowego użytku. Żeby słomki w silniku można używać wielokrotnie, należy je utrwalić przez posmarowanie z zewnątrz wodoodpornym klejem lub lakierem. Tak przygotowany pojemnik stanowi wirnik silnika, który umieszcza się na podstawce 7 z przymocowanej do niej pionowym prętem 8, zaopatrzonym na górnym końcu w igłę lub szpilkę 9, skierowaną ostrym końcem do góry. Podstawkę 7 i pręt 8 można wykonać z różnych materiałów, np. z drewna, a dolny koniec igły lub szpilki 9 posmarować klejem epoksydowym i włożyć tę stroną w otworek wywiercony w górnym końcu pręta 9.

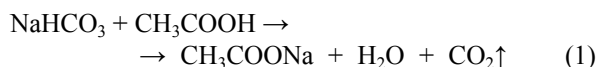
Zeby uruchomić silnik należy do otwartego pojemnika 1 wsypać ok. 2-3 cm³ wodorowęglanu sodu NaHCO₃, dostępnego w sklepach spożywczych, pod nazwą „soda oczyszczana” lub „sodka” (torebka o zawartości 70 g kosztuje ok. 2 zł) i wlać 10-15 ml octu o stężeniu 10% lub 5%. Taki ocet stanowi roztwór kwasu octowego CH₃COOH w wodzie H₂O i jest powszechnie używany do celów spożywczych.

Pojemnik 1 z tymi substancjami trzeba szybko zamknąć zakrętką lub pokrywą 2 i umieścić na ostrzu 9. Z otworków 6 zaczną wypływać strumienie dwutlenku węgla 10 (wzór chemiczny CO₂), skierowane w przeciwne strony. Zgodnie trzecią zasadą dynamiki lub zasadą zachowania



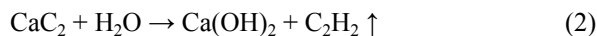
Fot. 1. Wygląd zewnętrzny jednego ze budowanych modeli silnika odrzutowego, w którym wykorzystano pojemnik dostępny w aptekach.

pędu, na końce słomek 4 zadziałają przez to siły reakcji, których moment spowoduje obrót całego wirnika, trwający zwykle kilkadziesiąt sekund. Po ustaniu obrotu można wylać z pojemnika pozostałe produkty reakcji i powtórzyć doświadczenie. Dwutlenek węgla w pojemniku jest wytwarzany zgodnie z reakcją



Jest to reakcja zobojętniania, w wyniku której zostaje wytworzony octan sodu CH_3COONa , stanowiący sól sodową kwasu octowego, woda H_2O i dwutlenek węgla CO_2 , napędzający silnik.

Bardziej dociekliwi lub kreatywni uczniowie mogą wyrazić chęć podjęcia prób z innymi substancjami w celu uzyskania szybszych obrotów wirnika. Niektóre z takich prób są związane z niebezpieczeństwem i mogą być przeprowadzone tylko pod nadzorem nauczyciela lub osoby dorosłej, mającej wiedzę chemiczną. Dla przykładu, zastosowanie pokruszonego karbidu (węglík wapnia CaC_2 , dostępny w sklepach, jako środek do odstraszania kretów i nornic oraz używany podczas spawania gazowego) i wody H_2O spowoduje wydzielanie acetyleny, zgodnie z reakcją



Wirnik będzie obracał się znacznie szybciej, ale acetylen C_2H_2 jest gazem palnym i przy odpowiednim stężeniu z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową. Oprócz tego, reakcja (2) jest egzotermiczna i powoduje silne nagrzewanie się pojemnika, zaś wytwarzany wodorotlenek wapnia Ca(OH)_2 ma właściwości żrące. Podczas przeprowadzonych doświadczeń z tymi substancjami konieczne było użycie rękawic ochronnych, a po kilku próbach nastąpiło rozszczelnienie pojemnika wskutek przegrzania i pęknięcia gwintu.

Zkolei zastąpienie wodorowęglanu sodu NaHCO_3 przez proszek do pieczenia, który też zawiera tę substancję, spowodowało bardzo powolny obrót wirnika. Powód łatwy do wyjaśnienia – zawartość NaHCO_3 w proszku

do pieczenia jest zbyt mała do celów tego doświadczenia. Zadawalających efektów nie dało też zastosowanie pokruszonej kredy, zawierającej węglan wapnia CaCO_3 i octu, a także tabletek musujących, z których wydziela się dwutlenek węgla CO_2 po zalaniu wodą. Tak więc, mieszanina wodorowęglanu sodu NaHCO_3 i octu stanowi optymalny dobór związków chemicznych do napędu silnika, zarówno pod względem bezpieczeństwa, dostępności, ceny i efektywności działania.

Konstrukcja opisanego silnika wykazuje podobieństwo do dwóch innych pomocy naukowych, zaliczanych do tzw. turbin odrzutowych, które były kiedyś produkowane fabrycznie. Są to „młynek parowy” i młynek Segnera [2, 3]. Pierwszy z nich zawierał metalową, płaską puszkę, napełnianą wodą i umieszczaną na łożyskach między ramionami obejmą w kształcie skierowanej poziomo litery U. Puszka była szczelnie zakręcana metalową zakrętką oraz połączona z dwiema rurkami, skierowanymi radialnie i zamkniętymi na końcach, przy których były wykonane otworki, podobnie jak w zbudowanym modelu.

Pod puszką znajdowała się rynienka napełniana denaturatem. Po jego zapaleniu woda w puszcze była doprowadzana do wrzenia, a wytworzona para wypływała przez otworki w rurkach i powodowała obrót puszki w wyniku zjawiska odrzutu. Młynek Segnera zawierał zamkniętą dnem, pionową rurę, która mogła obracać się na łożyskach wokół swojej osi. Ponad dnem z rurą łączyły się cztery radialnie skierowane rurki, rozmieszczone co 90° , podobne jak w „młynku parowym”. Przez górny, otwarty koniec wlewało się do rury wodę, która wypływała pod własnym ciężarem przez otworki w końcach rurek i w wyniku odrzutu powodowała obrót rury. Następnie woda spływała do cylindrycznego naczynia w dolnej części młynka.

Jeżeli któryś z opisanych młynków przetrwał i nadaje się do użytku, to warto go wykorzystać. Zjawisko odrzutu ma ważne znaczenie nie tylko w technice, umożliwiając m.in. pracę silników rakietowych i niektórych silników lotniczych. Również pewne grupy zwierząt wykorzystują to zjawisko do poruszania się. Tak czynią jamochłony, które najpierw zasysają wodę do jamy chłonąco-trawiącej, a następnie kurczą się i wyrzucają wodę same poruszają się w przeciwną stronę. [4]. Zjawisko odrzutu było znane już w starożytnej Grecji, o czym świadczy tzw. bania Herona, która jest najstarszym pierwowzorem turbiny odrzutowej i młynka parowego.

Stanisław Bednarek
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Łódzkiego

LITERATURA

- [1] T. Potocki (red.), Katalog pomocy naukowych i sprzętu szkolnego, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, Warszawa 1963.
- [2] J. Kowalewski (red.), Katalog pomocy naukowych i sprzętu szkolnego, Zrzeszenie Przemysłu Pomocy Naukowych i Zaopatrzenia Szkół Biofiz, Warszawa 1985.
- [3] Bożena Pędzisz, Instrukcje do podstawowych przyrządów w Pracowni Dydaktyki Fizyki, Wydawnictwa Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Opolu, Opole 1985.
- [4] Paul G. Hewitt, Fizyka wokół nas, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.