

Napęd odrzutowy

Bardzo łatwo wprawić w ruch samochodzik-zabawkę. Wystarczy popchnąć... i jedzie! Równie łatwo wprawić w ruch kamień. Wystarczy rzucić... i leci! Podobnego rodzaju napęd stosowany jest w raketach i samolotach odrzutowych. Wystarczy popchnąć... i leci! Myśląc o przykładzie z kamieniem można dojść do wniosku, że napęd odrzutowy jest jednym z najstarszych wynalazków ludzkości. Ale co pcha raketę? Żeby znaleźć odpowiedź na to pytanie skonstruujemy własny silnik odrzutowy. Aby móc spokojniej obserwować jego pracę, zastosujemy go do napędu łódki, a nie rakiety. Łódkę można wykonać z kawałka drewna lub styropianu. Silnikiem będzie plastikowy kubek po serku. W pobliżu dna robimy dziurkę o średnicy ok 5-7 mm. Możemy ją np. wytłoczyć łyżką wokół wkręta rozgrzanego nad palnikiem (wkręt trzymany w obcęгах!). To będzie dysza wylotowa. Silnik mocujemy do łódki. Jako paliwa użyjemy tlenu wodoru. Substancja ta nadaje się znakomicie ze względu na stosunkowo niską lepkość i brak szkodliwego działania na środowisko. Młody fizyk-eksperymentator nie powinien mieć trudności z jej zdobyciem. Napełniamy silnik i umieszczamy łódkę na powierzchni akwenu. Mój prototyp przepłynął w kilka sekund całą wannę!

Czy wiemy już co popycha łódkę? Paliwo pozostające w silniku? Ale jak może wprawić w ruch coś co pozostaje w spoczynku względem łódki? Może paliwo wylatujące z silnika? Ależ ono leci w przeciwnym kierunku! Tak naprawdę naszą łódkę popycha... zasada zachowania pędu. Pęd to w naszym przypadku iloczyn masy m i prędkości v . Początkowo pęd łódki i paliwa jest równy zeru. Paliwo wypływające z silnika unosi pewien pęd $m_p v_p$. Aby całkowity pęd pozostał zerem, łódka musi uzyskać pęd przeciwny $m_l v_l = m_p v_p$.

A jak wytłumaczyć to w języku sił? Otóż gdyby nie było dyszy, paliwo działałoby z jednakową siłą na przednią i tylną ściankę silnika. Ale skoro w tylnej ściance jest dziura, to w tym miejscu siła na ściankę działać nie może bo ścianki nie ma. Pozostaje więc niezrównoważona siła działająca na ściankę przednią.

Ze wzoru na pęd widać, że w silniku raketowym prędkość wyrzucanego paliwa jest równie ważna jak jego masa. Skonstruujemy więc silnik o dużo większej prędkości. W tym celu jako paliwo zastosujemy mieszaninę azotu, tlenu i dwutlenku węgla w stanie gazowym. Napełniamy nią gumowy balonik i... puszcza. Przez kilka sekund balonik pędzi jak oszalały. Jest to piękny dowód eksperymentalny, że gazy też mają masę, gdyż inaczej pęd byłby równy zeru. A może ktoś z czytelników pokusiłby się o eksperymentalne wyznaczenie tej metody gęstości użytej mieszaniny gazów?

Aerodynamika podwórkowa

Robienie samolotów z papieru, to zajęcie uczniów niezbyt mile widziane przez nauczycieli. Może być ono jednak całkiem pouczające.

Wiemy już co pcha samolot odrzutowy do przodu. Ale co powoduje, że nie spada on w dół? Przecież kiedy leci poziomo, to ciąg silników jest również skierowany poziomo. Jaka siła równoważy siłę grawitacji? Przekonajmy się na modelu. Chyba każdy z was potrafi zrobić „samolot” z podwójnej kartki z zeszytu. Jeżeli nie wykonamy żadnych „sterów” na końcach skrzydeł, to rzucony poziomo samolot spadnie w dół ostrym łukiem i uderzy dziobem o ziemię. Aby zapewnić stateczny lot ślizgowy należy dorobić pionowe stery, mniej więcej 5×10 mm (Rys.1). W jaki sposób stery wytwarzają tę tajemniczą siłę, która przeciwdziała spadkowi samolotu? Przecież stery zwiększają opór co powinno spowodować jeszcze szybszy spadek samolotu. Otóż tajemnica tkwi w tym, że stery są wysunięte nieco do góry. Siła oporu powietrza działająca na stery wytwarza więc pewien moment obrotowy, który ustawia samolot nieco skośnie, dziobem do góry (Rys.2). Teraz opór powietrza działa nie tylko na dziób samolotu, ale także, pod małym kątem, na jego spód. Pozioma składowa tej siły hamuje samolot, pionowa zaś, zwana siłą nośną, równoważy siłę grawitacji. Wytwarza się nowy stan równowagi (Rys.3).

Przekonajmy się o tym eksperymentując nieco z naszym samolotem. Stańmy na krześle i trzymając samolot za ogon (dziobem w dół) i wypuśćmy go z ręki. Samolot bynajmniej nie trzaśnie dziobem w ziemię. Siła oporu działająca na stery dotąd będzie obracała samolot aż ustawi go pod równowagowym kątem tak, że znów wylądaje on miękko pięknym lotem ślizgowym (Rys.4).

A jeśli opuścimy stery w dół i rzucimy samolot poziomo? Siła oporu działając na stery będzie teraz obracała samolot dziobem w dół, aż przewróci się „na plecy”. „Góra” zamieni się miejscami z „dołem” i dalej wszystko będzie po staremu (Rys.5).

Wróćmy do normalnego ustawienia sterów. Jeżeli będą miały za dużą powierzchnię, to działająca na nie siła oporu zanadto obróci samolot i składowa pozioma oporu działającego na spód samolotu wzrośnie tak, że szybko zahamuje jego ruch. Spadek prędkości spowoduje, że zmaleje opór powietrza. Zaniknie siła nośna (będąca przeciw jego składową). Ciężki dziób pochyli się ku ziemi i samolot zacznie coraz szybciej spadać. Ale wzrost prędkości to wzrost siły oporu. Stery znów obrócą samolot dziobem do góry. Znowu pojawi się siła nośna, która poderwie samolot wwyż i historia powtórzy się od początku. Samolot będzie leciał poszarpanym lotem pliszki, to podnosząc się, to opadając (Rys.6).

A co będzie, jeżeli jeden ster będzie bardziej podniesiony niż drugi? Ponieważ siły działające na oba skrzydła będą nieco różne, samolot przechyli się na bok i wykona łagodny skręt.

Dokładnie tak samo działają stery prawdziwych samolotów. Podobna jest też przyczyna siły nośnej. To właśnie opór powietrza umożliwia latanie, choć wydawałoby się, że jest on raczej istotną przeszkodą. W próżni samolot latać nie może. Szczegóły mechanizmu powstawania siły nośnej w prawdziwych samolotach są wprawdzie nieco inne niż w naszym modelu, ale ogólne zasady są podobne. Może napiszemy o tym więcej innym razem.

Jak działa skrzydło samolotu

Skrzydło samolotu to jeden z tych wynalazków, które podobnie jak wynalazek koła, są równie proste jak genialne. I tu istota pomysłu tkwi w kształcie. Dokładnie chodzi tu o kształt przekroju poprzecznego, pokazany na rys.1. Co jest niezwykłego w tym kształcie? Wykonajmy proste doświadczenie. Weźmy dwie kartki i zagnijmy jeden brzeg każdej z nich pod kątem prostym. Powstałe „uchwyty” przyłożymy do policzków z obu stron ust tak, aby powierzchnie kartek były do siebie równoległe i odległe o kilka centymetrów. Teraz mocno dmuchnijmy między kartki. Spodziewać by się można, że powietrze wdmuchnięte gwałtownie między kartki powinno je rozepchnąć. Tymczasem dzieje się wręcz przeciwnie. Kartki sklejają się ze sobą! Jak to wytłumaczyć? Zróbmy nieco ambitniejsze doświadczenie. Weźmy dwie rurki zakończone dziurką o średnicy rzędu 1 mm. Ja wykorzystałem stare długopisy. Jedną rurkę wstawiamy do szklanki z wodą dziurką do góry. Drugą ustawiamy poziomo dziurką przy dziurce i mocno przez nią dmuchamy (rys.2). Jeżeli rurka w szklance jest przezroczysta, to widać jak podnosi się w niej słup wody. Słychać coraz wyższy gwizd, a jeżeli dmuchniemy dostatecznie silnie, to woda wydostanie się z rurki i rozpyli w strumieniu wydychanego powietrza. Tak działały rozpylacze perfum w czasach kiedy nie było jeszcze ciśnieniowych spray’ów. Dobrze, ale co wspólnego ma rozpylacz perfum z samolotem? Otóż wykorzystują one to samo prawo fizyki głoszące, że poruszające się z dużą prędkością powietrze ma mniejsze ciśnienie niż powietrze pozostające w spoczynku. Niższe od atmosferycznego ciśnienie powietrza wylatującego z rurki wysysa wodę ze szklanki. Ciśnienie atmosferyczne, wyższe od ciśnienia szybko wydychanego z ust powietrza zgina do siebie kartki papieru z pierwszego doświadczenia.

Umiemy już wyjaśnić oba eksperymenty, ale ciągle nie wiemy jak się one mają do samolotu. Wykonajmy zatem trzeci, który powinien nas naprowadzić na właściwy trop. Włączmy suszarkę do włosów i skierujmy wytwarzany przez nią strumień powietrza pionowo w górę. Teraz umieścmy w nim piłeczkę pingpongową. Wydawać by się mogło, że piłeczka podskoczy w górę i spadnie obok. Jednak, o dziwo, piłeczka tkwi w samym środku strumienia niczym w dołku, lekko tylko kołysząc się w lewo i w prawo. Możemy przesunąć suszarkę, a piłeczka posłusznie przesuwa się wraz z nią. Jak wytłumaczyć tajemnicze zachowanie się piłeczki? Wyobraźmy sobie, że piłeczka odchyliła się tak, że jej połowa wystaje poza strumień powietrza. Na tę połowę działa ciśnienie atmosferyczne spoczywającego powietrza. Druga połowa jest opływana przez szybkie powietrze, które, jak już wiemy, ma ciśnienie niższe. A zatem ciśnienie atmosferyczne wpycha piłeczkę do środka strumienia.

Nadszedł czas na wyjaśnienie zagadki skrzydła samolotu. Zauważmy, że powietrze opływające jego górną część ma do pokonania dłuższą drogę niż to, które opływa część dolną. Aby nie wytworzyła się próżnia, musi poruszać się z większą prędkością a zatem ma niższe ciśnienie niż powietrze pod skrzydłem. Różnica ciśnień nad i pod skrzydłem samolotu wytwarza siłę nośną, która przy dużej prędkości samolotu może równoważyć siłę grawitacji (rys.3). Oto dłaczego samolot lata.

Tunel hydrodynamiczny

Przekonaliśmy się, że kształt skrzydła decyduje o tym jak i czy wogóle samolot będzie latał. Projektując samolot trudno taki kształt obliczyć, wykonuje się więc wiele symulacji i prób. Zamiast ryzykować rozbiciem niedopracowanych prototypów buduje się modele i testuje w tunelach aerodynamicznych. W takim tunelu model samolotu pozostaje nieruchomy, porusza się natomiast opływające go powietrze. W podobny sposób testuje się także modele nowoczesnych samochodów aby przez dobór optymalnego kształtu zmniejszyć do minimum opór powietrza.

W prosty sposób możemy własnoręcznie wykonać taki tunel. Zamiast powietrza wykorzystamy jednak wodę. Będziemy ją przepuszczać między dwoma szybami. Kształt tunelu modelujemy jak na rys.1 przyklejając do jednej z szyb np. uszczelkę do okien (można też wykorzystać plastelinę). Ważne, aby wylot był nieco węższy niż wlot. Tuż za wlotem umieszczamy stabilizatory przepływu (rys.1). Im więcej i im węższe, tym lepiej. Możemy je wykonać ze skrawków uszczelki lub z plasteliny. Teraz w tunelu możemy umieścić badany model, wycięty np. z kawałka gumoleum lub nawet wykonany z plasteliny. Całość przykrywamy drugą szybą tak, aby sam wlot pozostał odkryty. Zatykając wylot palcem napełniamy tunel wodą, starannie pozbywając się pęcherzyków powietrza. Teraz umieszczamy tunel poziomo, nad zlewem, tak aby cienki strumień wody z kranu padał na jego wlot. Kiedy uda nam się uzyskać stabilny przepływ, przy wlocie wpuszczamy kroplę atramentu. W tunelu pojawią się piękne smugi opływające model.

Warto porównać model staroświeckiego i nowoczesnego samochodu, takie jak na rys.2. W przypadku samochodu staroświeckiego, płynące strugi uderzają gwałtownie w jego przód, mieszając się ze sobą. Kąt między przednią szybą i maską staje się martwą pułapką. Za tylną szybą powstaje zaburzająca przepływ pustka.

Maska samochodu nowoczesnego pięknie rozdziela nacierające strugi, które gładko opływają nadwozie. Z tyłu strugi niczym przyklejone przylegają do tylnej szyby i bagażnika, po czym gładko łączą się ze strugami płynącymi pod spodem. Teraz wiemy dłaczego taki kształt nazywa się opływowy.

Życzymy pomysłowości w opracowywaniu nowym modeli i dobrej zabawy przy ich testowaniu.

Małą Deltę przygotował Grzegorz WROCHNA