

## PODKRĘCANIE

### Potrzebujesz

#### Doświadczenie 1:

- 2 kubeczki papierowe,
- klej do papieru w płynie (PVA),
- 3 lub 4 gumki recepturki, albo inna guma (np. modelarska),
- nożyczki,
- ktoś do pomocy (lub drzwi z klamką).

#### Doświadczenie 2:

- zbiornik do wody, najlepiej przezroczysty i duży (co najmniej 30 cm głębokości i 30 cm długości),
- szklane kulki (marbles),
- kartonik (A4 lub większy) lub jakaś rynienka dla kulek (idealny będzie kawałek C-ownika),
- ktoś do pomocy (lub np. kilka grubych książek),
- dodatkowo: sól, cukier, olej.

#### Doświadczenie 3:

- bączek (zabawka),
- suszarka lub silny wentylator,
- gładka podłoga.

### Instrukcja

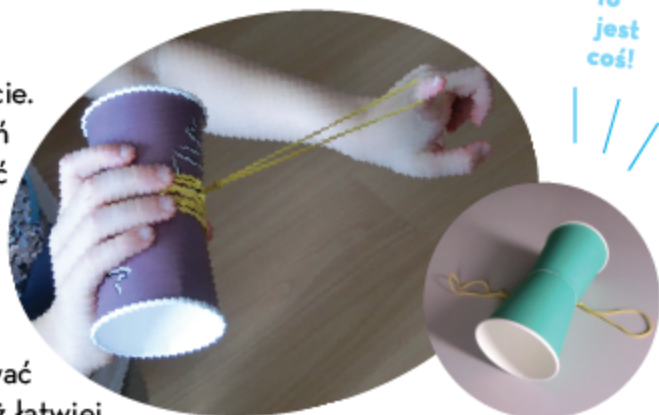
#### Doświadczenie 1

1. Odetnij dolną część jednego z kubeczków na wysokości denka.
2. Wsuń dolną część całego kubeczka do otworu powstałego przez odcięcie denka w drugim kubeczku. Powinno powstać coś na kształt klepsydry (z bardzo grubym przewężeniem).
3. Sklej od wewnątrz połączenie (od strony kubeczka z odciętym denkiem) – wystarczy, że naklejesz trochę kleju, tak by spłynął po ścianie wewnętrznej kubeczka w powstałą szczelinę, zatop szczelinę na całym obwodzie i zostaw do wyschnięcia (w pozycji pionowej, kubeczek bez denka u góry).
4. Połącz gumki recepturki przeplatając je przez siebie. Wystarczy 3 lub 4 gumki, tak by powstała z nich guma miała ok. 20 cm (w stanie nienaprzężonym).
5. Teraz najtrudniejsza, ale i najciekawsza część – latanie! Tak, **kubeczkowe coś** będzie latać. W tym celu musisz poprosić swego pomocnika o potrzymanie jednego końca gumy (możesz ją też zahaczyć o klamkę, jeśli masz gumę modelarską lub podobną, musisz najpierw zrobić pętelkę, najlepiej niezaciskającą się). Drugi koniec gumy chwyć w jedną rękę i oddal się o duży krok w tył od pomocnika/klamki, tak by guma była dość mocno **naprężona**.

ZBADAJ  
TO SAM!



Teraz chwyć w drugą rękę swoje **coś**, zorientuj poziomo, z osią symetrii prostopadłą do gumki – popatrz zdjęcie. Potraktuj swoje **coś** jak szpulkę i nawiń na nią gumkę. Gumka powinna nawijać się od spodu, a ty musisz przybliżać się w czasie nawijania do swojego pomocnika/klamki. Nie jest to łatwe, szczególnie na początku gumka chce się odwinąć, więc musisz przytrzymać jej koniec przy szpulce. Później jest już łatwiej.



6. Chwyć wolny koniec gumki w palce (kciuk i wskazujący) i postaraj się wystrzelić swoje **coś** – spójrz na zdjęcie, tak powinna wyglądać konfiguracja startowa. Gumka powinna napędzić **coś** w kierunku poziomym, a jej owinięcie spowoduje nadanie twojemu **czemuś** szybkich obrotów (w kierunku odwrotnym niż miałyby oddalające się od ciebie koło/piłka toczące się po podłodze).

### Doświadczenie 2

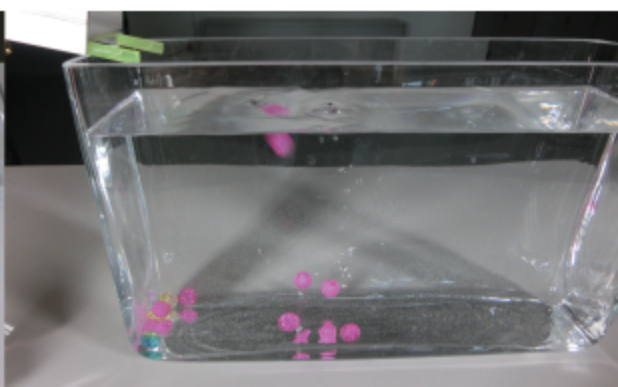
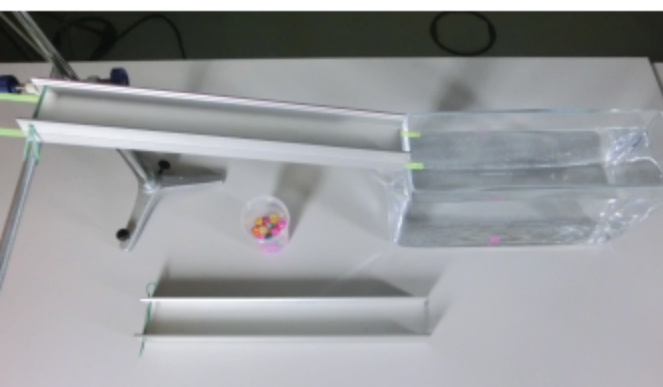
1. Nalej do pojemnika wody, najlepiej do pełna (przygotuj coś do wycierania wody).

2. Przygotuj rampę/rynienkę dla kulek. Jeśli masz karton, to wygnij w górę jego dłuższe brzegi, lub zegnij go lekko w połowie równoległe do dłuższego brzegu.

3. Poćwicz spuszczenie kulek swą rampą. Wystarczy, że nachylisz ją o **30 stopni**, więcej nie trzeba. Sprawdź, po jakim torze poruszają się kulki po opuszczeniu rampy, jeśli dolny jej koniec będzie znajdował się nad podłożem (na wysokości ok. 1 m – tyle wystarczy). Najlepiej nagrać te próby aparatem/smartfonem lub oglądać ruch kulki w lustrze z boku.

4. Umieść dolny koniec rampy przy brzegu naczynia, a rampę pochyl o **30 stopni** i nakieruj **prostopadle** do brzegu naczynia. Jeśli naczynie ma prostokątny brzeg, to rampa powinna stykać się z krótszym bokiem i na jego środku – **spójrz na zdjęcie**. Jeśli masz duży zbiornik, to umieść koniec rampy tuż nad powierzchnią, lecz w odległości kilku – kilkunastu cm od krawędzi zbiornika.

5. Spuszczaj kulki do wody i obserwuj ich ruch (podobnie jak poprzednio, najlepiej na filmie lub w lustrze). Eksperymentuj z różnym nachyleniem rampy i drogą kulek. **Dodatkowo:** wylej na wodę trochę oleju, który powinien spowolnić spadającą kulkę (lecz nie jej obroty), możesz też dodać do wody trochę soli lub cukru, by zmienić jej gęstość i lepkość. Wszystko to powinno pomóc w dostrzeżeniu czegoś ciekawego.

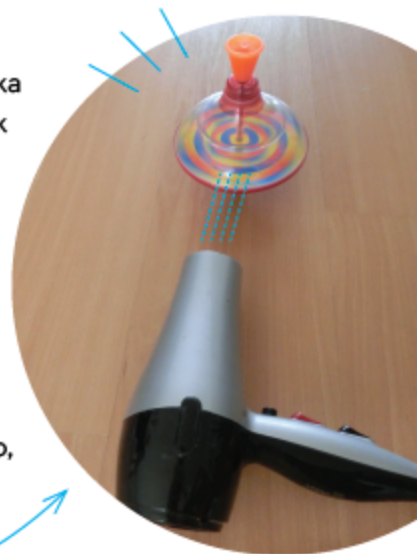


### Doświadczenie 3

1. Podłącz suszarkę do gniazdka w pobliżu gładkiego kawałka podłogi (lub do przedłużacza). Nazwijmy ten gładki kawałek „obszarem testowym” (a skoro bączek ma kształt **UFO**, to może **Strefą 51?**)

2. Weź suszarkę i przybliż się z nią do skraju obszaru testowego. Puść bączka, niech przez chwilę kręci się swobodnie przed tobą.

3. Włącz suszarkę i nakieruj jej strumień na kręcącego się bączka. Staraj się by strumień był mniej więcej poziomy i trafiał dokładnie w środek bączka (ani w prawo, ani w lewo, celowanie góra-dół nie jest bardzo ważne, więc się na tym nie skupiaj) – **spójrz na zdjęcie**.



### Wyjaśnienie:

Mamy nadzieję, że twoje **coś z 1 doświadczenia** okazało się zdolne nie tylko do toczenia się po podłodze, ale przede wszystkim do **latania**. W zależności od sposobu nawinięcia gumki i wystrzelenia mogło **ono** lecieć przez dłuższą chwilę poziomo lub nawet się wznosić. Nie jest to raczej zachowanie, którego można by się spodziewać po kształcie naszej maszyny – mamy nadzieję – **latającej**. W **2 doświadczeniu** powinno być podobnie. Spodziewamy się, że kulka spadająca z rampy będzie kontynuowała swój spadek po łuku tak jak rzucony kamień. W powietrzu właściwie tak się dzieje, nie zauważamy niczego nadzwyczajnego, kulka spada raczej normalnie, po torze bardzo zbliżonym do tzw. paraboli (na tyle zbliżonym, że nie jesteśmy w stanie stwierdzić odchylenia). W wodzie jednak spadające kulki zachowują się trochę inaczej i powinno udać się to zaobserwować. Nie chodzi o to, że tracą trochę energii przy uderzeniu w powierzchnię, a potem opór wody szybko je **spowalnia**. To też oczywiście się dzieje, ale ciekawsze jest to, że kulki spadają na dno dziwnie blisko, a czasem (jeśli udało ci się odpowiednio umieścić rampę) nawet spadają na dno w miejsce znajdujące się nawet pod rampą, tak jakby **zawracały!**

Zachowanie bączka jest też dość niespodziewane: dlaczego bowiem uciekał od suszarki, ale nie tak po prostu, ale w bok? Pewnie to strumień powietrza z suszarki go jakoś odpychał, ale dlaczego zawsze w tą samą stronę? Przecież suszarka celowała na środek bączka. A może nawet próbowałaś/próbowałeś zepchnąć bączka strumieniem powietrza w drugą stronę? Jeśli, tak, to pewnie okazało się, że bączek tego nie lubi i szybko traci energię, nie przesunąwszy się w drugą stronę nawet trochę.

Wszystkie te dziwne zachowania dotyczyły obiektów, które mają ze sobą coś wspólnego: **wszystkie się obracają!** Tak będzie zawsze, gdy obrotowi takich obiektów jak nasze (o kształcie kuli czy walca, czy szpulki) będzie towarzyszył ich **ruch** (mówimy czasem: ruch postępowy, dla odróżnienia od obrotowego) w jakimś ośrodku (tzn. względem ośrodka, u nas ośrodkiem było powietrze lub woda).

Efektom połączenia obrotów i ruchu postępowego w ośrodku jest powstanie dodatkowej siły, która – inaczej niż zwykły opór powietrza – skierowana jest w bok. W **1 doświadczeniu** siła ta skierowana była początkowo do góry (a później już różnie, zależy jak leciała nasza maszyna), w **2 doświadczeniu** – tak, że kulki chciały zawrócić, w **3 wreszcie** – prostopadle do strumienia suszarki (nie wiemy, czy w prawo, czy w lewo, zależy, w którą stronę wirował twój bączek). Efekt ten nazywamy dziś **efektem Magnusa**. Odpowiada on również za skręcanie podkręconych piłek i właśnie w tych okolicznościach został on po raz pierwszy dostrzeżony i poprawnie wytłumaczony. I to nie przez **Gustava Magnusa**, szybszy był sam **Newton**! Dopiero jednak opis Magnusa przebił się do świadomości współczesnych mu fizyków i szybko wzbudził szerokie zainteresowanie możliwościami wykorzystania tego efektu.

### Uwagi i ciekawostki:

1. Efekt Magnusa wykorzystują nie tylko gracze w piłkę nożną, czy ping-ponga. Na tej samej zasadzie działają niektóre statki żaglowe. No niezupełnie żaglowe, zamiast żagli mają bowiem kręcące się pionowo zorientowane walce – są to tzw. rotory Flettnera. Statki działały, ale napęd śrubowy okazał się zdecydowanie wygodniejszy i tego typu statki czekają jeszcze na swoją niszę (proponuje się taki napęd m.in. dla ekologicznych oceanicznych robotów badawczych). Były też próby budowania samolotów z kręcącymi się poziomymi walcami zamiast skrzydeł. To też okazało się możliwe, lecz w zwykłych zastosowaniach wady przeważały nad zaletami i na razie takich samolotów nie widzimy. Wymyślono wreszcie latawce z obracającym się walcowatym elementem (czasem z dodatkowymi „płetwami”) – one za to przyjęły się szybko i można je kupić (np. pod nazwą „**latawiec wirolot**”).
2. Nie są jeszcze dobrze poznane sposoby w jakie inne żywe stworzenie (inne niż człowiek oczywiście) mogłyby ten efekt wykorzystywać. Na pewno takie organizmy istnieją, przypuszcza się w szczególności, że efekt ten może zwiększać zasięg **skoków roztoczy!**
3. Siła pojawiająca się w efekcie Magnusa nazywana jest czasem siłą **Kutty-Joukowskiego**. Inna (i bardziej poprawna dla nas) pisownia tego drugiego nazwiska to **Żukowski**. Żukowskiego nazywa się ojcem współczesnej aero- i hydrodynamiki. Kutta to natomiast matematyk niemiecki, ale urodzony na terenie dzisiejszej Polski (w Byczynie koło Opola).
4. Nasze obiekty miały kształt brył tzw. **obrotowych**. Są to bryły, które obracając się (wokół jakiejś osi) dają niezmienny cień (dla brył wypukłych). Przykładami są walce, kule, ale również szpulki, jaja, talerze, miski i wiele innych. Jak jeszcze inaczej (i nawet lepiej) można opisać te kształty? To bryły, które można (przynajmniej „w zasadzie”, praktyczne problemy pomińmy) ulepić na kole garncarskim!