

## Doświadczenia<sup>1</sup>

W proponowanych dwóch doświadczeniach zbadamy substancje, o których fizycy mówią „cieczce nienewtonowskie”. Cieczami newtonowskimi są np. woda, spirytus, herbata.

### Ketchup



#### Przyrządy i materiały:

- ketchup w przezroczystej, plastikowej (giętkiej) butelce (butelka powinna być wypełniona ketchupem najwyżej do połowy)
- olej lub miód w przezroczystej, giętkiej butelce (butelka powinna być wypełniona cieczą najwyżej do połowy)

**Uwaga:** najlepiej, gdyby obie butelki były zrobione z podobnego tworzywa.

#### Eksperyment:

Obróć butelkę z miodem lub olejem tak, aby ciecz znalazła się u góry. Zaobserwuj zachowanie cieczy.

Następnie obróć butelkę z ketchupem tak, aby ketchup znalazł się u góry. Zaobserwuj zachowanie cieczy.

#### Obserwacja:

- Czy olej lub miód natychmiast zaczyna spływać w dół po obróceniu butelki do góry dnem?
- Czy ketchup natychmiast zaczyna spływać w dół po obróceniu butelki do góry dnem?

#### Komentarz:

Głównym źródłem sił oporu pojawiających się przy ruchu ciał stałych w cieczach jest **lepkość**, charakteryzowana przez współczynnik lepkości. Im większy współczynnik lepkości cieczy, tym trudniej na przykład wylać ją z naczyń. Nie należy mylić współczynnika lepkości cieczy z gęstością cieczy. Olej jest bardziej lepki od wody, ale ma jednocześnie mniejszą niż woda gęstość.

Współczynnik lepkości wielu cieczy zmienia się jedynie pod wpływem zmian ich temperatury (a nie zależy np. od szybkości ciała poruszającego się w tej cieczy). Ze względu na tę własność ciecz takie nazywane są ogólnie **cieczami newtonowskimi** (czytaj: niutonowskimi), od nazwiska słynnego fizyka, Izaaka Newtona, który zajmował ich badaniem. Do cieczy newtonowskich należą na przykład: woda, olej i miód.

Ketchup należy do tych cieczy, których współczynnik lepkości zależy zarówno od temperatury jak i od szybkości. Ciecze takie nazywamy **cieczami nienewtonowskimi** (czytaj: nieniu-tonowskimi). W przypadku ketchupu, jego lepkość zależy od szybkości: im większa szybkość ketchupu wypływającego z butelki, tym lepkość ketchupu mniejsza, czyli np. tym mniejsza siła równoległa do ścianek butelki, hamująca ruch ketchupu po ściankach w dół. W ketchupie zatem **opór lepki maleje wraz ze wzrostem szybkości** poruszającego się w nim ciała.



<sup>1</sup> Część doświadczeń pochodzi z Ogólnopolskiego Konkursu Nauk Przyrodniczych „Świetlik” oraz Projektu Feniks.

## Skrobia w zimnej wodzie

### Przyrządy i materiały:

- szklanka z zimną wodą
- szklanka mąki ziemniaczanej
- talerz lub miska
- łyżka



### Eksperyment:

Wlej do miski pół szklanki wody. Powoli wsypuj mąkę do wody w misce, ciągle mieszając cały roztwór łyżką. Gdy mieszanie stanie się bardzo trudne, przestań mieszać i odłóż łyżkę. Bardzo powoli zamieszaj palcem roztwór w misce. Następnie uderz bardzo gwałtownie całą pięścią w powierzchnię mieszaniny.

**Uwaga:** Jeżeli mieszanina rozprysła się na boki, należy dosypać jeszcze trochę mąki, wymieszać i uderzyć pięścią jeszcze raz.

### Obserwacja:

- Jak zachowywała się substancja podczas dodawania skrobi do miski?
- Po zaprzestaniu mieszania – co się działo z substancją podczas powolnego mieszania jej palcami?
- Jak zachowywała się substancja, gdy została mocno uderzona pięścią?
- Kiedy mieszanina nie przylepiła się do palców: wtedy, gdy była powoli mieszana palcem, czy wtedy gdy uderzono ją mocno i gwałtownie?

### Komentarz:

Podstawowym składnikiem proszku do robienia budyniu jest **skrobia ziemniaczana**. Kiedy robimy sobie budyń, najpierw musimy wymieszać skrobię z zimną wodą. W tym czasie cząsteczki wody otulają cząsteczki skrobi ziemniaczanej, tworząc dla nich jakby „kołderki” (takie kołderki nie tworzą się w ciepłej wodzie, dlatego budyń przed i po ugotowaniu wygląda zupełnie inaczej).

Gdy w zimnej wodzie znajduje się mało skrobi, łatwo jest nam ją mieszać zarówno szybko, jak i powoli, podobnie, jak łatwo jest mieszać wodę o dowolnej temperaturze. Kiedy jednak dosypimy wystarczająco dużo mąki ziemniaczanej, mieszanina zaczyna zachowywać się zupełnie inaczej. Kiedy mieszamy ją powoli, to właściwie nie stawia oporu (lepkiego) i oblepia nam palce. Natomiast, gdy miesza się ją gwałtownie lub w nią uderza, to mieszanina stawia bardzo duży opór i nie oblepia dłoni. Przy gwałtownym mieszaniu skrobia staje się twarda i prawie „sucha”. To dlatego, że mocne, szybkie uderzenie wyciska wodę pomiędzy cząsteczek skrobi, czyli pozbawia je na chwilę „kołderek”, a to, co pozostaje pod dłonią, to prawie czysta, „sucha” skrobia.

Skrobia z zimną wodą jest kolejnym przykładem **cieczy nienuwtonowskiej**. Jednak w przeciwieństwie do ketchupu, skrobia z zimną wodą jest typem cieczy, w której **opór lepki rośnie wraz ze wzrostem szybkości ciała** poruszającego się w tej cieczy (np. najszybciej łyżki) lub ze wzrostem wartości siły przyłożonej do cieczy prostopadłe do jej warstw (np. siły wywieranej przez dłoń uderzającą w taflę cieczy).



Kolejnym przykładem niezwykłej cieczy jest przechłodzona woda, czyli ciecz  $H_2O$  w temperaturze poniżej  $0^{\circ}C$ !

## Przechłodzona woda



### Przygotuj:

- półlitrowa plastikowa butelka wody mineralnej niegazowanej, oryginalnie zamknięta (Redakcja wykonała doświadczenie z wodą „Żywiec”)
- zamrażalnik (można do zamrażalnika włożyć 2 butelki, gdyby przypadkiem doświadczenie nie udało się za pierwszym razem)
- zegarek
- stół w pobliżu zamrażalnika

**Uwaga** – przygotowanie tego doświadczenia trwa ok. 2 godzin.

### Zadanie:

1. Wstaw obie butelki z wodą do zamrażalnika, w którym panuje temperatura ok.  $-18^{\circ}C$ . **Butelki powinny stać pionowo.**
2. Odczekaj co najmniej 2 godziny, jednak nie dłużej niż 4.

### Eksperyment:

1. **Ostrożnie** wyjmij butelkę i postaw ją na stole. Staraj się nie zgniatać butelki! Stół powinien znajdować się w pobliżu zamrażalnika, żeby nie trzeba było butelki przesuwać zbyt daleko.
2. Nie dotykając butelki sprawdź, czy jest w niej lód.
3. Jeśli w butelce znajduje się sama woda, podnieś butelkę ponad stół i energicznie uderz nią w blat stołu. Obserwuj, co się stanie w butelce.
4. Jeśli w butelce jest lód, zaobserwuj jego strukturę, a do wykonania eksperymentu użyj drugiej butelki z przechłodzoną wodą.

### Obserwacja:

1. Co się stało z wodą w butelce po uderzeniu butelką w stół?
2. Od której strony lód zaczął wypełniać butelkę?

### Komentarz:

Temperatura wody pozostawionej na kilka godzin w zamrażalniku spada poniżej  $0^{\circ}C$ , czyli poniżej temperatury krzepnięcia. Jednak w zamkniętej butelce z wodą jeszcze przez pewien czas po osiągnięciu  $0^{\circ}C$  nie tworzy się lód. Woda ulega **przechłodzeniu** poniżej temperatury krzepnięcia. Taki stan jest jednak bardzo nietrwały, tzn. wystarczy jakies zaburzenie (np. uderzenie butelką w stół), aby rozpoczęła się gwałtowna krystalizacja wody – czyli jej krzepnięcie (przemiana w lód).

W idealnych warunkach wodę można przechłodzić nawet do  $-40^{\circ}C$ !



## Efekt orzecha brazylijskiego

czyli doświadczenie, w którym pokażemy jak łatwo posortować ziarna o różnej wielkości.

### Przygotuj:

- szklankę, miseczkę lub słoik o prostych ściankach
- łyżkę
- sól kuchenną lub cukier
- kaszę
- ryż
- suchy groch lub suchą, małą fasolę
- orzechy laskowe



### Eksperyment:

1. Kolejno odmierzaj po jednej łyżce produktów i wsypuj do pojemnika w kolejności:
  - na dno pojemnika wsypuj orzechy,
  - potem groch lub fasolę,
  - następnie kaszę i ryż
  - a na końcu sól lub cukier.

**Uwaga:** jeżeli pojemnik jest duży można wsypywać więcej – na przykład po dwie łyżki każdego z produktów. Im większy pojemnik i większe porcje, tym wyraźniejszy efekt końcowy.

2. Potrząśnij rytmicznie pojemnikiem przez ok. 1–2 minuty.
3. Wymieszaj łyżką dokładnie wszystkie produkty i ponownie potrząśnij rytmicznie pojemnikiem przez 1–2 minuty.

### Obserwacja:

1. Czy podczas potrząśnięcia produkty sortują się?
2. Czy wynik sortowania zależy od początkowego ułożenia produktów względem siebie?
3. Która cecha ziarna decyduje, twoim zdaniem, o kolejności powstawania warstw?
4. Dlaczego kasza i ryż mają tendencję do tworzenia jednej, wspólnej warstwy?



### Komentarz:

Kolejność wsypywania produktów sypkich nie ma w tym eksperymencie znaczenia. Ale efekt sortowania widać najwyraźniej, gdy zastosujesz kolejność podaną w przepisie eksperymentu w punkcie 1.

Gdy mieszasz produkty łyżką – robisz bałagan. Gdy rytmicznie potrząśniesz pojemnik z produktami – porządkujesz je. Podczas potrząśnięcia produkty sortują się według swoich rozmiarów. Zawsze te małe przesuwają się na spód, a duże – na wierzch. Dlaczego? Bo potrząśnięcie sprawia, że składniki chcą upakować się jak najciaśniej. Małe wskakują w puste miejsca, których nie mogą zająć duże elementy. Wszystkie elementy ciągnie w dół siła grawitacji, ale tylko najmniejsze kawałki mają wystarczająco dużo miejsca, żeby się w dół przecisnąć.

Efekt ten został nazwany „efektem orzecha brazylijskiego”. Ponieważ występuje on powszechnie, także w przyrodzie, poświęcono mu wiele prac naukowych. Do tej pory jednak nie wyjaśniono tego zjawiska dokładnie.

W doświadczeniu wykonanym w Redakcji i przedstawionym na powyższych fotografiach w miseczce wymieszaliśmy: sól, kaszę gryczaną, małe i duże fasolki oraz kolorowe cukierki. Produkty, jak widać na zdjęciu dolnym, ułożyły się w warstwy: na dnie sól, następnie kasza gryczana, a na wierzchu nierozsortowane duże elementy, czyli fasolki i cukierki.

Czytelnikom polecamy artykuł pt. „Efekt brazylijskiego orzecha”, Konrada Sklorza, ucznia gimnazjum w Katowicach, zamieszczony w „Delcie” 4/2005. Aby zbadać ten efekt skonstruował on bardzo prosty przyrząd składający się z ramki i dwóch równoległych szybek, między które wrzucał monety o różnych rozmiarach.



Na koniec doświadczenia z dwutlenkiem węgla.

## Nadmuchiwanie balonika CO<sub>2</sub>

### Przygotuj:

- 1 łyżeczkę sody oczyszczonej lub proszku do pieczenia
- 2 łyżeczki octu 10%
- 2 łyżki ciepłej wody z kranu
- balonik
- łyżeczkę
- szklankę
- plastikową butelkę po napoju o pojemności 1 litra
- butelkę dowolnego napoju gazowanego



### Zadanie:

1. Przećwicz szybkie nakładanie balonika na otwartą szyjkę pustej butelki.

### Eksperyment 1:

1. Wymieszaj w szklance wodę z proszkiem do pieczenia.
2. Wlej mieszaninę do butelki.
3. Dodaj ocet i natychmiast naciągnij balonik na szyjkę butelki. Odczekaj ok. 1 min.

### Obserwacja:

1. Co się stało z balonikiem?

### **Eksperyment 2:**

4. Otwórz butelkę dowolnego gazowanego napoju i zaobserwuj towarzyszące temu zjawiska.

### **Obserwacja:**

2. Co się dzieje, gdy otwierasz butelkę gazowanego napoju?

### **Komentarz:**

W pustej, otwartej butelce znajduje się powietrze o takim samym ciśnieniu, jak ciśnienie w otoczeniu butelki (jest to tak zwane ciśnienie atmosferyczne). W wyniku reakcji mieszaniny wody i proszku do pieczenia (zasady) z octem (kwasem), z roztworu wydobywa się **dwutlenek węgla** ( $\text{CO}_2$ ) i miesza się z powietrzem. Ciśnienie w butelce wzrasta, a mieszanina wypełnia butelkę i dołączony do niej balonik.

Dodanie proszku do pieczenia do ciasta powoduje jego spulchnienie i wyrastanie podczas pieczenia. Podobną funkcję pełnią drożdże piekarskie. W obu tych przypadkach wyrastanie ciasta jest związane z uwalnianiem się dwutlenku węgla.

Dwutlenek węgla wchodzi także w skład wszystkich napojów gazowanych, ponieważ bardzo łatwo rozpuszcza się w wodzie (można go rozpuścić 30 razy więcej niż tlenu). Gaz ten włączany jest do napojów pod wysokim ciśnieniem i ulatnia się z nich stosunkowo powoli. Jeśli butelka jest szczelnie zamknięta, nad taflą napoju powstaje warstwa gazu (głównie dwutlenku węgla i pary wodnej) o ciśnieniu znacznie większym od atmosferycznego. W trakcie otwierania takiej butelki słyszymy charakterystyczny syk, towarzyszący gwałtownemu uwalnianiu (rozprężaniu) się tego gazu. Podczas tego rozprężania gwałtownie spada temperatura gazu wylotu butelki. Zgromadzona tam para wodna kondensuje, co obserwujemy jako mgiełkę. Jednocześnie dwutlenek węgla zaczyna wydobywać się gwałtownie z całej objętości napoju, wzburzając go i tworząc pianę.

Jeśli masz już ocet i proszek do pieczenia, możesz swojemu młodszemu rodzeństwu zademonstrować model wulkanu. Górkę wulkaniczną należy usypać z mąki, zaś w zrobiony na czubku dołek wsypać proszek do pieczenia i poleć odrobiną octu. Z wnętrza wulkanu (naszego dołka) zacznie się wydobywać wzburzona piana–ława i powoli będzie spływać po zboczach stożka. Dla efektu można dodać kropelkę barszczu. Na zdjęciach model wykonany w Redakcji; zaprzyjaźnione przedszkolaki były zafascynowane.



## Gaszenie płomienia

### Przygotuj:

- 5 łyżek sody oczyszczonej
- 10 łyżek octu
- 2 wąskie wysokie szklanki
- 1 łyżkę
- 1 świeczkę
- zapałki
- dużą miskę (możesz wykorzystać zlew lub umywalkę)



### Zadanie. Przygotuj dwutlenek węgla, CO<sub>2</sub>:

1. Na dno pierwszej szklanki wsyp 1 łyżkę sody oczyszczonej. Dolej 2 łyżki octu i natychmiast przykryj szklankę szczelnie dłonią.
2. Gdy burzliwa reakcja ustanie, cofnij dłoń, szybko podnieś szklankę i przechyl ją w stronę drugiej szklanki tak, jakbyś chciał przelać do tej drugiej gaz znajdujący się w pierwszej szklance.

**Uważaj**, żeby do suchej (tej drugiej) szklanki nie wlała się mieszanina sody z octem! Ta część doświadczenia jest najtrudniejsza, bo nie widzisz gazu, który przelewasz.

3. Odstaw szklankę z samym gazem na stół. Niech szklanka będzie otwarta!
4. Wylej mieszaninę sody z octem z pierwszej szklanki do zlewu lub dużej miski.
5. Punkty 1–4 Zadania powtórz jeszcze czterokrotnie, dolewając za każdym razem nową porcję dwutlenku węgla do suchej szklanki.

### Eksperyment – część 1:

1. Zapal świeczkę.
2. Trzymając świeczkę w jednej dłoni, chwyć szklankę ze zgromadzonym gazem w drugą dłoń.
3. Umieść szklankę tuż nad płomieniem i energicznym ruchem obróć ją do góry dnem tak, jakbyś chciał wylać z niej coś wprost na płomień świecy.

### Obserwacja:

1. Czy świeczka zgasła? Jeśli nie, to znaczy, że w szklance nie zgromadziłeś wystarczająco dużo dwutlenku węgla. W takim wypadku, zdmuchnij płomień świecy i powtórz Zadanie oraz Eksperyment – część 1.

### Eksperyment – część 2:

4. Umyj szklankę, w której mieszałeś ocet z sodą.
5. Zapal świeczkę.
6. Trzymając świeczkę w jednej dłoni, chwyć tę szklankę w drugą dłoń.
7. Umieść szklankę tuż nad płomieniem i energicznym ruchem obróć ją do góry dnem tak, jakbyś chciał wylać z niej coś wprost na płomień świecy.

### Obserwacja:

1. Czy świeczka zgasła?

### Komentarz:

Do podtrzymywania płomienia świecy niezbędny jest stały dopływ tlenu. Jeśli zgromadzisz odpowiednią ilość dwutlenku węgla w suchej szklance, to w pierwszej części eksperymen-

tu, po wylaniu dwutlenku węgla na świeczkę, płomień gaśnie. Dzieje się tak dlatego, że dwutlenek węgla odcina na krótką chwilę dopływ tlenu do palącego się knota. Gdy jednak w drugiej części eksperymentu zarówno w szklance, jak i wszędzie w otoczeniu płomienia znajduje się powietrze, to świeczka nie gaśnie, ponieważ powietrze zawiera tlen, więc dostęp tlenu nie jest odcinany. Powietrze zawiera około 78% azotu i 21% tlenu oraz 1% mieszaniny innych gazów.

Dlaczego podczas wykonywania Zadania nie trzeba było dbać o zamykanie suchej szklanki ze zgromadzonym w niej dwutlenkiem węgla? Dwutlenek węgla ma większą gęstość niż tlen i azot, znajdujące się w powietrzu. Dlatego dwutlenek węgla „przelany” do szklanki z powietrzem gromadzi się na dnie tej szklanki, a nad nim unosi się przykrywająca go warstwa powietrza.

DS