

Opis eksperymentów *Odwracalne mieszanie płynów* i *Wyznaczanie prędkości światła* powstał w ramach Zespołowego Projektu Studenckiego na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod opieką Piotra Kaźmierczaka.

Wyobraź sobie, że mieszasz dwa niemal identyczne płyny, różniące się jedynie kolorem. Czy po zmieszaniu ich ze sobą możesz je z powrotem „roz mieszać”? Codzienne doświadczenie podpowiada, że nie – gdy połączymy na przykład mleko z wodą, nie jesteśmy w stanie ich łatwo rozdzielić. W dalszej części przedstawię jednak doświadczenie, w którym jest to możliwe.

Zanim jednak do tego przejdziemy, wprowadźmy nieco teorii i zastanówmy się, skąd właściwie wynika nieodwracalność procesu mieszania płynów. Ruch płynu o prędkości u i gęstości ρ opisują równania Naviera–Stokesa, które określają, w jaki sposób zmiana pędu elementów płynu zależy od ciśnienia, sił lepkości oraz gęstości sił zewnętrznych f . Więcej o tych równaniach można przeczytać na przykład w artykule Witolda Sadowskiego *Równanie Naviera–Stokesa* w Δ_{14}^{12} .

Równania Naviera–Stokesa są równaniami nieliniowymi względem u . Oznacza to, że jeśli u jest rozwiązaniem tego równania dla danej gęstości siły f , to $-u$ nie jest rozwiązaniem odpowiadającym sile $-f$. Wynika z tego, że ruch płynu nie jest kinematycznie odwracalny. Nieliniowy składnik odpowiada za konwekcję, czyli transport pędu wynikający z ruchu samego płynu.

Na nieodwracalność procesu mieszania wpływa również składnik związany z lepkością płynu μ , opisujący mikroskopowe oddziaływania w płynie oraz dyssypację energii wynikającą z lepkości i dyfuzji. Powoduje to zwiększanie entropii układu, a tym samym termodynamiczną nieodwracalność procesu.

W naszym doświadczeniu płyn będzie znajdował się pomiędzy dwoma współosiowymi wałcami – wewnętrznym o promieniu R_1 , którym będziemy obracać z prędkością kątową Ω , oraz nieruchomym zewnętrznym wałcem o promieniu R_2 . Zależność ruchu płynu od powyższych parametrów oraz wewnętrznych właściwości płynu opisuje liczba Reynoldsa $Re = \rho \Omega R_2^2 / \mu$, określająca stosunek sił bezwładności do sił lepkości. Gdy $Re \ll 1$, nieliniowy człon równania Naviera–Stokesa staje się zaniedbywalnie mały w porównaniu z pozostałymi składnikami i można go pominąć. W rezultacie otrzymujemy równanie Stokesa, które jest już liniowe względem prędkości płynu.

Warunek $Re \ll 1$ odpowiada bardzo lepkiemu płynowi, niedużym średnicom wałców i małym prędkościom. Dzięki takiemu doborowi parametrów możliwe było zastosowanie przybliżenia, w którym pominęliśmy problematyczny nieliniowy składnik obecny w równaniach Naviera–Stokesa. W konsekwencji ruch płynu staje się kinematycznie odwracalny.

W praktyce nie da się idealnie odwrócić procesu mieszania, co wynika z dyssypacji energii i związanej z nią dyfuzji. Efekt ten jest jednak bardzo niewielki, dzięki czemu proces można odwrócić z dużą dokładnością.

Elementy układu doświadczalnego:

- Dwa przeźroczyste naczynia w kształcie walca, jedno o znacznie mniejszej średnicy niż drugie. Mniejsze naczynie powinno być co najmniej 5 cm wyższe od większego. Po współśrodkowym włożeniu jednego naczynia w drugie, pomiędzy brzegami powinno być tyle miejsca, aby bez problemu można było włożyć strzykawkę (mogą to być np. dwa słoiki).
- Syrop cukrowy: wlej do garnka wodę i cukier w proporcjach 1 : 2 (użyłam 100 ml wody i 200 ml cukru), podgrzewaj do całkowitego rozpuszczenia cukru. Gotowy syrop odstaw do ostudzenia.
- Barwnik, na przykład spożywczy lub farba
- Strzykawka
- Kawałek kartonu
- Taśma klejąca

Przebieg doświadczenia:

1. Przelej niewielką część syropu do innego naczynia i dodaj kilka kropli barwnika. Wymieszaj, po czym wstaw do lodówki. Uważaj, aby barwnika nie było zbyt dużo, ponieważ wtedy zmieni się gęstość płynu.
2. Zbuduj komórkę, do której następnie wlejesz płyn. Z kartonu wytnij koło większe o około dwa centymetry od dużego naczynia. W kole wytnij współśrodkowy otwór na mniejsze naczynie oraz zrób mały otwór na strzykawkę. Po umieszczeniu w otworze mniejszego naczynia, powinno ono swobodnie się obracać, ale nie przesuwając się na boki. Włóż mniejsze naczynie do większego i ustaw je centralnie. Wlej syrop do większego naczynia i przymocuj karton.

3. Za pomocą strzykawki wprowadź do syropu niewielką ilość zabarwionego płynu. Postaraj się, aby utworzył on możliwie zwartą kroplę oraz aby znalazła się ona mniej więcej w połowie wysokości cieczy. Najlepiej uzyskać to poprzez zanurzenie strzykawki w płynie, z końcówką na pożądaną wysokość.
4. Powoli obracaj wewnętrzne naczynie, przytrzymując zewnętrzne tak, aby pozostawało nieruchome.
5. Gdy uznasz, że kropla barwnika została już dobrze wymieszana z resztą roztworu, przerwij obracanie. Następnie zacznij obracać wewnętrznym naczyniem w przeciwnym kierunku. Po wykonaniu mniej więcej takiej samej liczby obrotów jak wcześniej, zabarwiona smuga powinna ponownie zebrać się w kroplę o zbliżonym kształcie.

Wyznaczanie prędkości światła

Julia TOKARSKA

W doświadczeniu, pozwalającym wyznaczyć prędkość światła za pomocą domowej kuchenki mikrofalowej, wykorzystujemy właściwości fal stojących. W przypadku standardowego użytkowania urządzenia, talerz obrotowy zapewnia równomierne ogrzewanie potrawy, jednak w tym eksperymencie dążymy do uzyskania sytuacji statycznej. Fale elektromagnetyczne emitowane przez magnetron ulegają interferencji, co prowadzi do powstania obszarów o maksymalnej amplitudzie (antywęzłów) oraz punktów, w których natężenie pola wynosi zero (węzłów). Dopóki produkt umieszczony w mikrofali pozostaje nieruchomy, woda w nim zawarta ulega gwałtownemu ogrzewaniu wyłącznie w antywęzłach. Odległość d między sąsiednimi punktami stopienia odpowiada połowie długości fali mikrofalowej. Znając częstotliwość f (podaną na obudowie urządzenia), możemy wyznaczyć prędkość światła c , korzystając ze wzoru $c = 2df$, gdzie d to zmierzona odległość między środkami sąsiednich stopionych obszarów, a f – częstotliwość pracy magnetronu (najczęściej 2,45 GHz).

Elementy układu doświadczalnego:

- Dwa różne talerze
- Dwie tabliczki czekolady (najlepiej gorzkiej)
- Kuchenka mikrofalowa
- Linijka
- Wykałaczki

Przebieg doświadczenia:

1. Z wnętrza kuchenki mikrofalowej wyjmij pierścień obrotowy oraz szklany talerz.
2. Umieść talerz do góry dnem nad mechanizmem obrotowym, tworząc stabilną, nieruchomą platformę.
3. Na drugim talerzu ułóż tabliczki czekolady tak, aby pokrywały jak największą powierzchnię. Możesz też roztopić czekoladę, a następnie równomiernie rozprowadzić ją po talerzu i poczekać, aż zastygnie.
4. Wstaw talerz z czekoladą do kuchenki. Ustaw czas na trzydzieści sekund i włącz urządzenie.
5. Wyjmij talerz i za pomocą wykałaczek zaznacz środki obszarów, w których czekolada uległa roztopieniu.
6. Jeśli roztopione obszary są zbyt rozległe lub, przeciwnie, trudne do odnalezienia, wyciągnij wykałaczki z czekolady, poczekaj, aż ponownie zastygnie, i powtórz eksperyment, odpowiednio dostosowując czas pracy mikrofali.
7. Zmierz odległości między sąsiadującymi wykałaczkami. Wykonaj pomiary dla różnych par i oblicz średnią wartość d .
8. Odczytaj częstotliwość pracy urządzenia i wyznacz prędkość światła.

