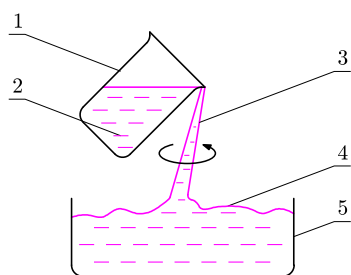


Wszystko w płynie, czyli poznajemy podstawy reologii



Stanisław BEDNAREK

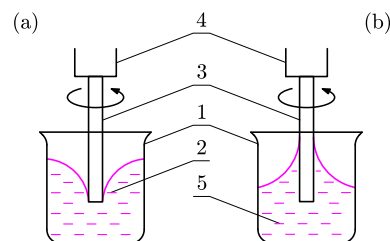
Potrzebne materiały i przyrządy: woda, mąka ziemniaczana, dwie zlewki lub szklanki, talerz, łyżeczka, sztuczny miód, klepsydra żelowa, drewniany lub metalowy pręt o średnicy około 1 cm i długości kilkunastu cm oraz dostęp do wiertarki elektrycznej lub miksera.



Rys. 1. Najprostszy sposób zaobserwowania efektu Fano; 1 – naczynie, 2 – ciecz reologiczna, 3 – wirująca kolumna cieczy reologicznej, 4 – naczynie dolne, 5 – ciecz reologiczna w dolnym naczyniu.



Fot. 1. Klepsydra żelowa.



Rys. 2. Skutki mieszania cieczy: (a) newtonowskiej, (b) reologicznej; 1 – naczynie, 2 – ciecz newtonowska, 3 – pręt, 4 – uchwyt wiertarki lub miksera, 5 – ciecz reologiczna.

Nie każdy zdaje sobie sprawę, że ciała stałe w pewnych sytuacjach mogą płynąć jak ciecze, a niektóre ciecze stają się sztywne, podobnie jak ciała stałe. Opisem takich materiałów zajmuje się nauka nazywana reologią, której intensywny rozwój rozpoczął się w latach trzydziestych ubiegłego wieku. Jej nazwa nawiązuje do greckiego aforyzmu *panta rhei*, czyli „wszystko płynie”. Kilka zaproponowanych w niniejszym kąciku doświadczeń powinno nam dać pewne wyobrażenie o podstawach tej nauki.

Przygotowanie pierwszego doświadczenia jest niezwykle proste. Do płytkiego naczynia wysypujemy 100 g mąki ziemniaczanej i wlewamy 0,1 litra wody. Oba składniki powoli mieszamy łyżeczką. Proces mieszania powinien przebiegać łatwo i powolne poruszanie łyżeczki nie napotyka dużego oporu. Sytuacja zmienia się radykalnie, kiedy próbujemy poruszać łyżeczką szybko – opory wówczas gwałtownie rosną. Zaobserwowany fakt, tj. zależność współczynnika lepkości od prędkości, obrazuje podstawową cechę cieczy reologicznych, odróżniającą je od „zwykłych” cieczy zwanych newtonowskimi.

Przygotowaną mieszaninę możemy także nabrać do ręki. Kiedy będziemy zamykać powoli dłoń, wówczas badana ciecz wypłynie łatwo jak woda. Gdy zechcemy zamknąć dłoń szybko, wtedy pojawi się opór, jak podczas ściskania ciała stałego. Jeszcze bardziej efektowną wersję tego doświadczenia możemy przygotować, napełniając zawieszoną mąki naczynie, do którego można wejść. Jeśli wkładać tam stopy powoli, tonie się, ale jeżeli stąpać szybko – można utrzymać się na powierzchni. Nie wnikając zbyt głęboko w rozważania teoretyczne, można powiedzieć, że przyczyną obserwowanych efektów jest zmienna adsorpcja cząsteczek wody na powierzchni cząstek mąki ziemniaczanej. Każda z tych cząstek jest otoczona swego rodzaju powłoką cząsteczek wody, której grubość zależy od wywieranych sił zewnętrznych i przez to decyduje o swobodzie ruchu.

Inne zadziwiające zjawisko można zaobserwować, nalaawszy do niewielkiego naczynia sztucznego miodu (naturalnego szkoda ze względu na smak i cenę) albo niespolimeryzowanej żywicy epoksydowej używanej m.in. do sporządzania klejów i szpachlówek. Naczynie z tą cieczą umieszczamy nad innym, szerokim naczyniem i przechylamy, tak żeby spowodować jej wylewanie się (rys. 1). Zauważymy wówczas utworzenie się odchylonej od pionu kolumny cieczy, wykonującej powolny ruch wirowy w płaszczyźnie poziomej. Szerokość tej kolumny zwiększa się w dolnej części, a na powierzchni cieczy w szerokim naczyniu rozplývają się koncentryczne zafalowania, jak na powierzchni wody, gdy wrzucimy do niej kamień. Zaobserwowane przez nas zachowanie się cieczy reologicznej nazywane jest *efektem Fano* albo bezrurowym syfonem i w istotny sposób różni się od obserwowanego na co dzień wypływu cieczy newtonowskiej. Efekt Fano można wygodnie obserwować – raz po raz i bez brudzenia rąk – w zabawce nazywanej klepsydrą żelową (fot. 1), którą spotyka się w sklepach z gadżetami lub pamiątkami. Zabawka ta składa się z przezroczystego, zamkniętego cylindra, podzielonego w połowie wysokością przegrodą z otworem i zawierającego zabarwioną ciecz reologiczną. Gdy ustawimy klepsydę pionowo i ciecz znajduje się w jej górnej połowie, to wówczas przepływa przez otwór do części dolnej, dając efekt Fano.

Jeszcze inny zaskakujący efekt zachodzi podczas mieszania cieczy reologicznej. Do jego obserwacji przygotowujemy dwa jednakowe naczynia i jedno z nich napełniamy częściowo wodą, a drugie sztucznym miodem albo żywicą epoksydową (rys. 2). W uchwycie wiertarki elektrycznej lub miksera mocujemy prosty pręt, włączamy urządzenie i ustawiamy obroty w granicach kilkadziesiątu na minutę. Zanurzamy wirujący pręt w naczyniu z wodą i obserwujemy wytworzenie się charakterystycznego leja wokół pręta. Jego kształt łatwo wyjaśnić analizą warunku równowagi siły odśrodkowej i siły ciężkości. Następnie zanurzamy pręt w drugim naczyniu. Tym razem ciecz reologiczna „wspina się” po pręcie, jakby chciała się na niego nawinąć. Zjawisko to nazywane jest *efektem Weissenberga*; jego szczegółowe wyjaśnienie wykracza niestety poza ramy tego artykułu.

Efekty reologiczne występują dosyć powszechnie. Ich zrozumienie pomaga nie tylko usprawnić procesy technologiczne czy zdiagnozować stan układu krążenia pacjenta, ale bardzo ułatwia codzienne życie, np. podczas odrywania metki z przeznaczonego na prezent przedmiotu, mieszania ciasta lub przelewania miodu.