

## MINI — TERMOFOR albo ILE WYNOŚI CIEPŁO KRZEPNIĘCIA UTRWALACZA?

Doświadczenie, które Wam tym razem proponuję, jest bardzo proste.

W odróżnieniu od większości naszych poprzednich eksperymentów nie będziemy niczego budować. Tak się bowiem składa, że mini-termofory są produkowane fabrycznie, i to przez zakład, który najprawdopodobniej nawet tego nie podejrzewa, a mianowicie „Foton” z Bydgoszczy. Tak, nie mylicie się, jest to po prostu utrwalacz fotograficzny, bo skąd by się inaczej wziął w tytule. Ścisłej mówiąc, chodzi mi o główny składnik utrwalacza: tiosiarczan sodu. Na pewno domyślicie się też, co z nim będziemy robić: stopimy go mianowicie zanurzając całą plastikową torebkę (bez otwierania!) w gorącej wodzie i... termoforek gotowy. Dzięki dużej wartości ciepła krzepnięcia torebka z utrwalaczem będzie pozostawała przez dłuższy czas (do pół godziny) bardzo ciepła, dopóki cały tiosiarczan nie zestali się. Oczywiście niewielkie rozmiary naszego mini-termofora ograniczają jego zastosowanie na przykład do rozgrzewania okolicy bolącego zęba.

## TO TYLKO TYLE?

— zapytacie rozczarowani. Nie, najciekawsze jeszcze przed nami. Otóż tiosiarczan sodu, jeżeli tylko jest wystarczająco czysty, można łatwo przechłodzić, to znaczy obniżyć jego temperaturę poniżej punktu krzepnięcia zachowując go w stanie ciekłym. Taki stan nie jest stanem równowagi i wystarczy wrzucić do przechłodzonej cieczy kryształek lub wstrząsnąć nią silnie, a zacznie się gwałtowna krystalizacja. W wyniku wydzielania się ciepła krzepnięcia, temperatura podniesie się szybko do punktu krzepnięcia ( $+48^{\circ}\text{C}$ ) i będzie utrzymywać tę wartość do całkowitego zestalenia się tiosiarczanu. A więc wiemy już, co należy robić. Po całkowitym (!) stopieniu tiosiarczanu odkładamy woreczek w spokojne miejsce. Po ostygnięciu do temperatury pokojowej zawartość woreczka powinna pozostać w stanie ciekłym. W razie nagłej potrzeby ulżenia cierpiącej osobie lub zademonstrowania sztuki przed zgromadzoną w tym celu publicznością bierzemy do ręki woreczek i wypowiadając magiczne zaklęcia potrząsamy nim silnie aż do skutku, to znaczy do rozpoczęcia krystalizacji. Mini-termofor rozgrzeje się sam! W razie kupienia utrwalacza w innym opakowaniu lub jeśli woreczek okaże się nieszczelny, możecie przesyłać tiosiarczan do butelki, najlepiej plastikowej, na przykład po szamponie, czysto wymytej. Kupujemy jednak tylko taki utrwalacz, który składa się z dwóch części — ta większa to tiosiarczan sodu.

## A CO Z TYM CIEPŁEM KRZEPNIĘCIA?

— słyszę już pytanie. Jest duże, ale jakie? Spróbujmy je zmierzyć. W tym celu potrzebna nam będzie już bardziej skomplikowana aparatura, a mianowicie termometr (ze skalą co najmniej do  $+50^{\circ}\text{C}$ ) i termos. Do termosu nalewamy gorącą wodę i wkładamy torebkę z tiosiarczanem, a następnie, w razie potrzeby, zmieniamy gorącą wodę tak, aby osiągnąć stopień praktycznie całego tiosiarczanu. Odrobina powinna pozostać tym razem nie stopiona, aby uniknąć przechłodzenia. Wkładamy termometr — temperatura zawartości termosu będzie równa temperaturze krzepnięcia. Zatykamy teraz wylot termosu watą, aby zmniejszyć parowanie wody, i mierzymy, ile czasu  $t_x$  upłynie do chwili całkowitego zestalenia tiosiarczanu. Od tego momentu temperatura znacznie się obniża (rys. 1). W czasie krzepnięcia wydziela się ciepło

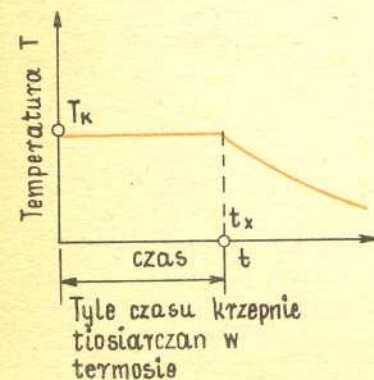
$$Q = mc_k,$$

gdzie  $m$  jest masą tiosiarczanu, a  $c_k$  jego ciepłem krzepnięcia. To ciepło odpływa z termosu do otoczenia. Gdybyśmy znali szybkość odpływu ciepła z termosu, czyli

ilość odpływającego ciepła na jednostkę czasu  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ , moglibyśmy obliczyć ciepło krzepnięcia  $c_k$ :

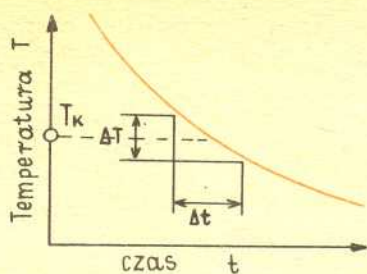
$$c_k = \frac{Q}{m} = \frac{t_x \Delta Q}{m \Delta t}.$$

Dla wyznaczenia  $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$  sporządzimy wykres stygnięcia termosu napełnionego



Rys. 1





Rys. 2

gorącą wodą, to znaczy zależność jego temperatury od czasu (pamiętamy o zatkaniu jego wylotu watą). Wykres będzie wyglądał mniej więcej jak na rys. 2. Ilość odpływającego ciepła

$$\Delta Q = (m_w c_w + m_t c_t) \Delta T,$$

gdzie  $m_w$ ,  $c_w$ ,  $m_t$  oraz  $c_t$  oznaczają masę i ciepło właściwe wody oraz wewnętrznej części termosu. W takim razie określając z wykresu szybkość spadku

temperatury w punkcie krępowienia  $\frac{\Delta T}{\Delta t}$  możemy znaleźć szybkość odpływu ciepła:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = (m_w c_w + m_t c_t) \frac{\Delta T}{\Delta t}.$$

Szybkość odpływu ciepła zależy tylko od różnicy temperatur zawartości termosu i otoczenia. Znalazona w ten sposób szybkość odpływu ciepła jest więc taka sama, jak szybkość odpływu ciepła z termosu przy krępowieniu tiosiarczuanu, czyli jest wartością potrzebną do obliczenia ciepła krępowienia. Podstawiając otrzymujemy:

$$c_k = \frac{t_x}{m} \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{t_x}{m} (m_w c_w + m_t c_t) \frac{\Delta T}{\Delta t}.$$

Ciepło właściwe wody i szkła znajdujemy w tabelach. Dla określenia masy wewnętrznej części termosu wystarczy do naszych celów przyjąć, że jest ona równa około jednej trzeciej całkowitej masy szklanego wkładu, który po rozmontowaniu termosu możemy zważyć (ostrożnie, grozi implozją!) na wadze w szkole lub w sklepie.

Życzę Wam sukcesów w badaniach. O wynikach nie zapomnijcie mnie zawiadomić listownie (adres Redakcji podajemy na II stronie okładki). Oczekuję też, jak zwykle, Waszych uwag krytycznych i propozycji co do przyszłej zawartości naszej rubryki.

#### Dok. pomysłu

Oto schemat doświadczenia. Wiązka impulsowego lasera azotowego pompuje laser barwnikowy, który tym samym jest też laserem impulsowym. Wiązkę z lasera barwnikowego dzielimy przy pomocy zwierciadła półprzezroczystego na dwie części. Część A ogniskujemy na powierzchni metalu M. Część B prowadzimy po pokoju po dłuższej ale dobrze zmierzonej drodze i oświetlamy nią z boku miejsce na metalu, na które pada ogniskowana wiązka A. Metal fotografujemy aparatem P o otwartej stale migawce.

Każdy impuls z lasera barwnikowego ogniskowany na metalu powoduje stopienie się i wyparowanie drobnych jego ilości. Wokół punktu padania powstaje gorąca plazma, której rozmiary zwiększają się w miarę trwania impulsu. Zmieniając opóźnienie (a więc różnice dróg przebytych przez wiązkę B i A) możemy fotografować plazmę, a właściwie figury interferencyjne powstające przy przechodzeniu przez nią wiązki B w różnych odstępach czasu od początku impulsu.

Popatrzmy na zdjęcia. Różnica dróg wynosi odpowiednio 108 cm, 248 cm, 400 cm, 630 cm, 950 cm, 1920 cm, co odpowiada opóźnieniom czasowym 3,6 ns, 8,2 ns, 13,3 ns, 21 ns, 31,6 ns, 64 ns. Obserwując rozmiary plazmy w funkcji czasu stwierdzamy, że po początkowym wzroście rozmiary ustalają się. Ustalenie się rozmiarów oznacza, że do plazmy nie dostarczamy już energii a więc, że błysk się skończył. W opisywanym przypadku rozmiary plazmy nie powiększą się przy opóźnieniu powyżej 8 ns. Można więc powiedzieć, że czas trwania impulsu laserowego jest rzędu 10 ns. Zmiana rozmiarów plazmy w powyższych 10 ns pozwala ocenić szybkość wzrostu na 100 km/s.

$$t = \frac{s}{c}, c \approx 300 \text{ tys. km/s}$$

