

I OLIMPIADA FIZYCZNA (1950/1951). Etap III, zadanie doświadczalne – D.

Źródło: Olimpiady Fizyczne, I- IV PZWS, Warszawa 1956

Autor: Stefan Czarnecki

Nazwa zadania: Termopara temperatura topnienia naftalenu

Działy: Termodynamika

Słowa kluczowe: Temperaturowy współczynnik topnienia, miliwoltomierz, palnik Bunsena, lód, druty z różnych metali, naftalen, termopara.

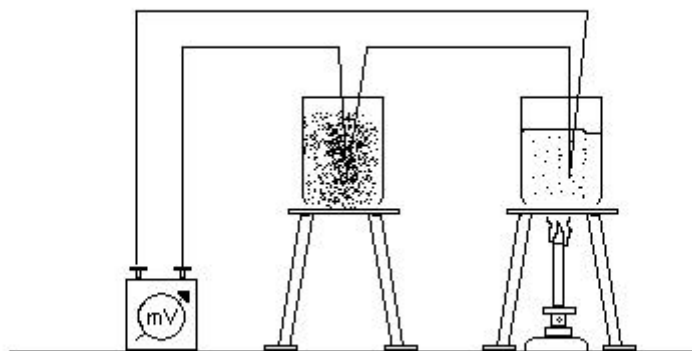
Zadanie doświadczalne – D, zawody II stopnia, OF.

Mając do dyspozycji druty z różnych metali stopione końcami, lód, wodę, zlewki, probówki, palnik Bunsena, trójnóg siatką azbestową, statyw z łopami i miliwoltomierz, wyznaczyć temperaturę topnienia naftalenu.

Rozwiązanie**Część teoretyczna**

Łatwo się domyślić, że wymienione w tekście zadania „stopione końcami druty z różnych metali” są to tak zwane termoelementy (termoelementy) zwane krótko termoparami i że chodzi tu o wykorzystanie do mierzenia temperatur zjawiska termoelektrycznego.

Zjawisko to polega na tym, że jeśli dwa kawałki drutu wykonane z różnych metali spoimy na końcach tworząc obwód zamknięty i jeśli oba spojenia znajdują się w różnych temperaturach, to w obwodzie tym będzie płynął prąd elektryczny. Różnica temperatur obu spojen wywołuje, zatem powstanie siły elektromotorycznej zwanej dla odróżnienia siłą termoelektryczną. Siła termoelektryczna zależy w wysokim stopniu od rodzaju użytych metali. Jest ona w przybliżeniu (dla nie zbyt szerokich przedziałów temperatur) funkcją liniową różnicy temperatur obu spojen, co daje możliwość stosowania termoelementów do pomiaru temperatury. Trzeba w tym celu jeden z drutów przeciąć i w to miejsce obwodu włączyć czuły galwanometr lub precyzyjny miliwoltomierz. Jedno ze spojen trzeba utrzymywać w stałej, znanej temperaturze, np. w topniejącym lodzie, a drugie umieścić w ośrodku, którego temperaturę chcemy zmierzyć. Dla skalowania takiego urządzenia można (rys. 1),

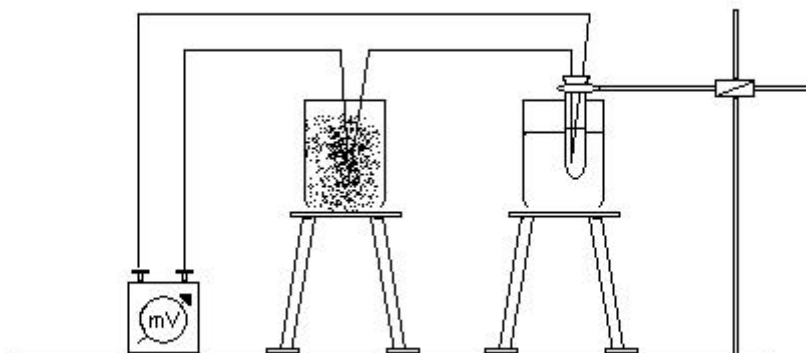


Rys. 1

drugie spojenie umieścić we wrzącej pod normalnym ciśnieniem wodzie (100°C), zmierzyć siłę termoelektryczną wskazaną przez miliwoltomierz (opór jego w porównaniu z oporem pozostałej części obwodu możemy uważać za nieskończenie wielki) i podzielić odczytaną wartość przez 100. Otrzymamy wtedy siłę termoelektryczną danego termoelementu odpowiadającą różnicy temperatur równej 1°C , czyli tzw. zdolność termoelektryczną danej pary metali. Zakładając proporcjonalność siły termoelektrycznej do różnicy temperatur popełniamy pewną nieścisłość. Jest to jednak w tym wypadku, jak już wspomniano, zupełnie dopuszczalne (otrzymujemy właściwie średnią zdolność termoelektryczną dla zakresu temperatur od 0°C do 100°C).

Dla wyznaczenia temperatury topnienia naftalenu można by obrać dwie drogi. Pierwsza, którą wybrała przeważająca większość zawodników, polega na zaobserwowaniu wizualnym momentu topnienia kryształków. Druga metoda, zastosowana przez kilku zaledwie uczestników, jest o wiele dokładniejsza. Opiera się ona na znanym fakcie, iż temperatura ogrzewanej substancji krystalicznej po osiągnięciu temperatury topnienia przestaje wzrastać mimo stałego doprowadzania ciepła i utrzymuje się na tej wysokości dopóty, dopóki cała masa danej substancji nie ulegnie stopnieniu. Dopiero po stopnieniu ostatniego kryształka temperatura wzrasta dalej.

Zawodnicy umieszczali naftalen w próbówce lub w zlewce i ogrzewali bezpośrednio po wstawieniu do masy naftalenu drugiego spojenia termoelementu. Lepiej jest postąpić inaczej ogrzewając naftalen w kąpeli wodnej, to jest próbkę z naftalenenem zanurzyć w zlewce z wodą i ogrzewać zlewkę (rys. 2).



Rys. 2

Zapewni się przez to równomierne i nie za szybkie ogrzewanie próbówki. Można wówczas założyć, że ilość doprowadzonego ciepła przy ogrzewaniu jest mniej więcej proporcjonalna do czasu ogrzewania i wtedy można skonstruować orientacyjny wykres przedstawiający funkcję czasu ogrzewania (ilości do prowadzonego ciepła). Rzędna poziomej części krzywej da wartość temperatury topnienia. W ten sam sposób, pozwalając próbówce swobodnie stygnąć, można znaleźć temperaturę krzepnięcia, równą oczywiście temperaturze topnienia (ta część zadania byłaby trudniejsza do przeprowadzenia w przypadku substancji dających się łatwo przechadzać).

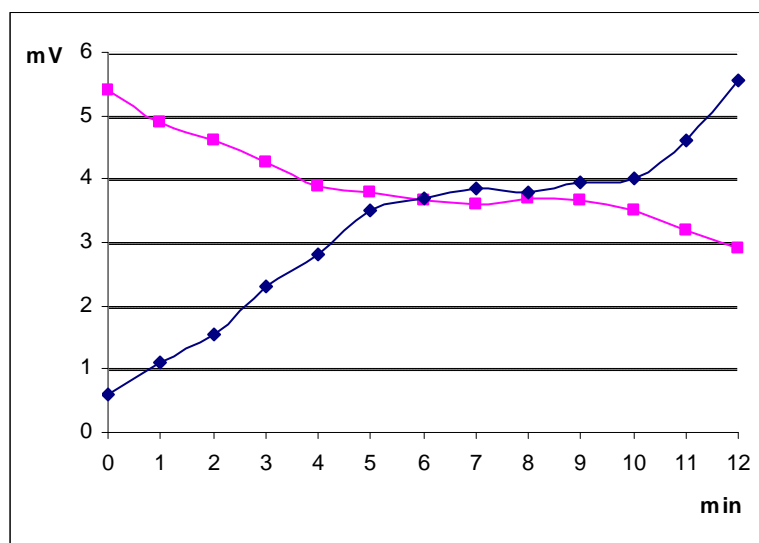
Rysunki 1 i 2 przedstawiają kolejno schemat połączeń do skalowania termoelementu i do właściwego pomiaru.

Oto wyniki jednego z zawodników: przy różnicy temperatur $\Delta t = 100^{\circ}\text{C}$ (topniejący lód – wrząca woda) znalazł on wartość siły termoelektrycznej $E_t = 4,6 \text{ mV}$. Zdolność termoelektryczna użytego ogniwa termoelektrycznego wyniosła, zatem:

$$= \frac{4,6}{100^{\circ}\text{C}} = 0,46 \frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{C}}$$

Przeprowadzając właściwy pomiar uczeń ten ogrzewał naftalen w zlewce notując wskazania miliwoltomierza, co minutę, odstawił palnik i dokonywał w ten sam sposób pomiarów przy ostygnięciu. Otrzymał następujące wyniki:

Czas (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ogrzewanie (mV)	0,6	1,1	1,55	2,3	2,8	3,5	3,7	3,85	3,8	3,95	4,0	4,6	5,55
Ostygnięcie (mV)	5,4	4,9	4,6	4,25	3,9	3,8	3,65	3,6	3,7	3,65	3,5	3,2	2,9



Rys. 3

Rzędne poziomej części krzywych ogrzewania wynoszą około 3,8 i 3,6 mV (rys. 3). Biorąc średnią $E_t = 3,7$ mV łatwo obliczymy temperaturę topnienia naftalenu:

$$= \frac{3,7}{0,046} / ^\circ C = 80,4^\circ C.$$

Dokładność pomiaru. Źródła błędów może być kilka: 1) ewentualna nieliniowość zależności E od t ; 2) niedokładność odczytów wskazań miliwoltomierza; 3) nie zupełnie równomierna temperatura próbki; 4) błędnie obrana rzędna poziomej części krzywej. Pierwsze źródło błędów możemy pominąć, dokładność zaś odczytu wskazań miliwoltomierza możemy ocenić na $\Delta E = \pm 0,05$ mV. Większe błędy mogą wnieść przyczyny 3 i 4 powiązane z resztą ze sobą. Wskazuje na to fakt, że krzywa ogrzewania jest przesunięta w górę względem krzywej ostygnięcia. Prawdopodobnie uczeń umieścił spojenie termopary zamiast środka próbki w pobliżu jej ścianki i ogrzewał za szybko; wskutek tego dopływ ciepła do otoczenia termopary mógł być szybszy niż jego rozchodzenie się wewnątrz próbki naftalenu przez przewodnictwo i termopara dawała za wysokie wartości E_t . Ostygnięcie następowało wolniej, a więc temperatura wewnątrz próbki była rozłożona bardziej równomiernie. Należałoby, więc mieć raczej większe zaufanie do krzywej ostygnięcia, z tym jednak zastrzeżeniem, że ponieważ krzepnięcie następuje przy ściankach wcześniej niż w środku próbki, przeto punkty krzywej ostygnięcia przedstawiają prawdopodobnie za małe wartości. Najbliższa wartość odpowiadająca rzeczy-

wistej wartości E_t jest prawdopodobnie rzędą punktu przecięcia obu krzywych. Gdyby spojenie było umieszczone we środku naczynia z naftalenem, to krzywa ostygnięcia leżałaby wyżej, a krzywa ogrzewania niżej. Płyńie stąd wniosek, że naczynie z naftalenem powinno być wąskie (lepiej próbka niż zlewka), termopara umieszczona w środku, a ogrzewania powolne w kąpeli wodnej.

Błąd graniczny pomiaru można oszacować w sposób zupełnie elementarny. Skoro zażyliśmy $\Delta E = 0,05$ mV, przeto $\Delta x = \frac{0,05}{100} = 0,0005 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$.

Maksymalny błąd nadmiarowy temperatury topnienia naftalenu wystąpi wówczas, gdy (jak to widać ze wzoru $t = \frac{E}{x}$) pomiar E obarczony będzie błędem $+\Delta E$, a użyta wartość x błędem $-\Delta x$. Dolną granicę wartości t uzyskamy, gdy E obarczone będzie błędem $-\Delta E$, a x błędem $+\Delta x$. Możemy, więc napisać:

$$\frac{E - \Delta E}{x + \Delta x} < t < \frac{E + \Delta E}{x - \Delta x}$$

czyli

$$78,5^\circ\text{C} < t < 82,4^\circ\text{C}$$

lub inaczej

$$= 80,4^\circ\text{C} \pm 2$$

Błąd procentowy może, więc wynosić, co najwyżej 2,5%. Rzeczywista temperatura topnienia mieści się w tych granicach (według tablic wynosi $80,01^\circ\text{C}$).

Zadanie wypadło zupełnie dobrze - średnia ocen wyniosła 6,1 punktu. Wada wszystkich na ogół uczestników polega na nieumiejętności oszacowania ważniejszych i mniej ważnych źródeł błędów.

Jeden z uczestników chcąc podnieść dokładność wyznaczenia zdolności termoelektrycznej przeprowadza jeden pomiar w oparciu o znaną różnicę temperatur: topniejący lód - wrząca woda, drugi zaś: lód- temperatura ciała ludzkiego (przyjmuje $36,5^\circ\text{C}$) i bierze średnią obu wyników. Nie widzi, że w ten sposób nie tylko nie podnosi dokładności, ale ją obniża. O ile temperatura wrzącej wody wynosi w najczęściej spotykanych warunkach prawie dokładnie 100°C , o tyle temperatura ciała ludzkiego nie jest stała; inna panuje np. w ustach, inną posiada ręką itd. Prócz tego nawet u zdrowego osobnika temperatura ulega stałym wahaniom.