



KĄCIK EKSPERYMENTATORA

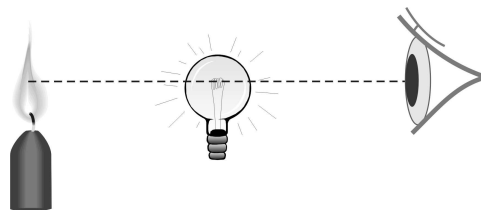
Jak zmierzyć temperaturę płomienia świecy

Witold Zawadzki

Człowiek od dawna starał się określić, czy dany przedmiot jest gorący czy zimny. Z „ciepłotą” ciała związał wielkość fizyczną – temperaturę. Pierwszym „miernikiem” temperatury była zapewne sama dłoń. Ten niedokładny i o ograniczonym zakresie stosowania przyrząd został zastąpiony termometrem, którego zasada działania opiera się na zjawisku rozszerzalności cieplnej substancji, najczęściej cieczy (np. alkoholu lub rtęci).

Niestety, termometr cieczowy nie nadaje się do pomiaru temperatury gorących obiektów, takich jak np. płomień, surówka w hucie, gwiazdy – zakres pomiaru jest ograniczony temperaturą wrzenia, która np. dla rtęci wynosi tylko... 356°C. Do pomiaru wysokich temperatur stosuje urządzenie działające na zupełnie innej zasadzie, zwane pirometrem. W odróżnieniu od zwykłego termometru, który podczas pomiaru musi być w kontakcie cieplnym z badanym obiektem, pirometr dokonuje bezdotykowego pomiaru temperatury. Wyznaczenie temperatury odbywa się poprzez analizę promieniowania cieplnego emitowanego przez obiekt, ale o tym później.

Jak zatem mierzy się pirometrem temperaturę, dajmy na to płomienia? Otóż świecące włókno pirometru ustawia się na linii prostej pomiędzy badanym świecącym obiektem a okiem (rys. 1). Oko widzi więc włókno na tle płomienia. Następnie manipulując potencjometrem ustawia się taką moc świecenia włókna pirometru, przy której włókno to „zniknie”, tzn. barwa włókna zlewa się z barwą promieniowania wysyłanego przez badany obiekt. Oznaczać to będzie, że temperatury obu świecących ciał zrównają się. Odczytując na wyskalowanym pirometrze temperaturę włókna otrzymujemy wynik pomiaru temperatury obiektu.

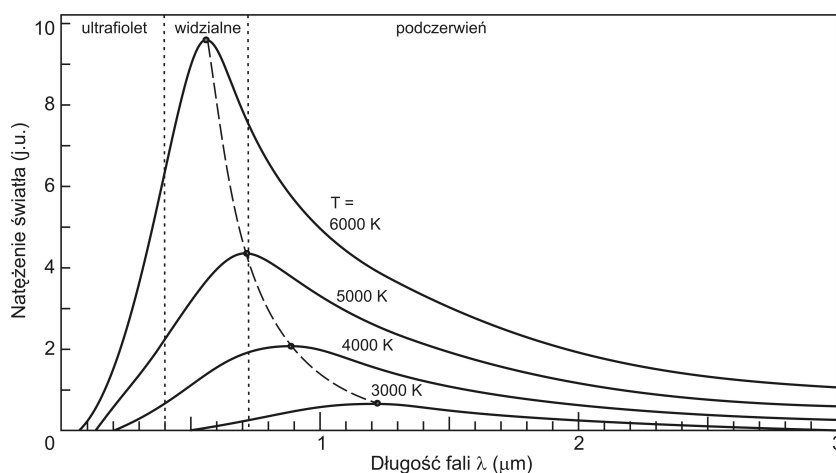


Rys. 1

Porównajmy teraz zasadę działania zwykłego termometru („dotykowego”) i pirometru. Zwykły termometr będący odpowiednio długo w kontakcie ciepl-

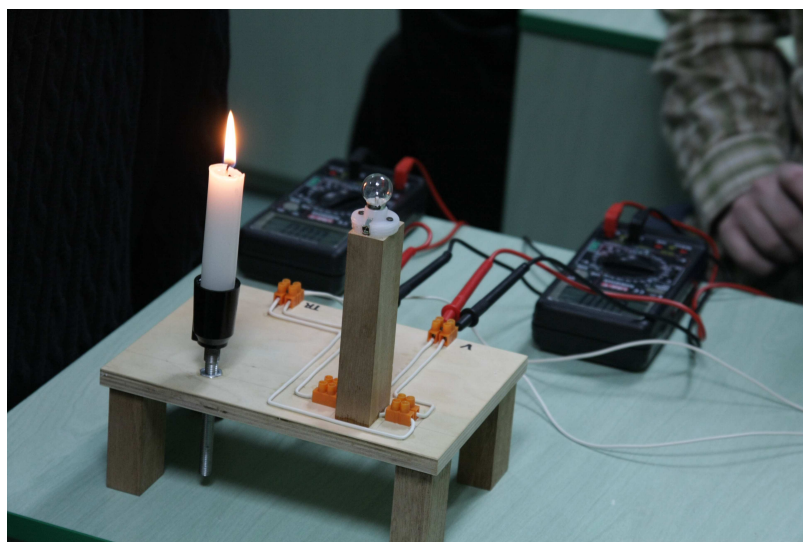
nym z badanym przedmiotem, jest z nim w stanie równowagi temperaturowej (termicznej). Oznacza to, że pomiędzy termometrem a przedmiotem nie występuje przepływ energii cieplnej. Warunkiem istnienia takiego stanu równowagi jest równość temperatur obu ciał. Jak wiadomo osiągnięcie tego stanu po umieszczeniu termometru w kontakcie z przedmiotem nie jest natychmiastowe, lecz wymaga pewnego czasu (dlatego pomiar temperatury ciała człowieka termometrem „lekarskim” trwa 3–5 minut).

W przypadku pirometru tym, co „łączy” badany przedmiot z włóknem pirometru jest pewna uniwersalna krzywa – widmo promieniowania ciała doskonale czarnego (rys. 2). Zaczniemy jednak od przypomnienia, że każde ciało mające temperaturę powyżej zera bezwzględnego (tj. $0\text{K} = -273,15^\circ\text{C}$), wysyła promieniowanie elektromagnetyczne. Intensywność (natężenie) tego promieniowania silnie zależy od temperatury ciała (prawo Stefana-Boltzmann). Przedmioty o niskiej temperaturze wysyłają bardzo mało tego promieniowania (między innymi dlatego właśnie w ciemności nie widzimy otaczających nas przedmiotów). Im wyższa jest temperatura ciała, tym większe jest natężenie wysyłanego promieniowania. Bardzo ważne jest też to, że wraz ze zmianą temperatury ciała zmienia się też widmo promieniowania, tzn. zmienia „barwa” świecącego ciała. Promieniowanie elektromagnetyczne ciał o niskiej temperaturze leży w zakresie podczerwieni, niewidocznej dla oka człowieka (to jest drugi powód, dla którego w ciemności nie widzimy). Ze wzrostem temperatury ciała widmo jego promieniowania początkowo obejmuje również czerwoną część światła widzialnego, a następnie również żółtą i niebieską. Obserwowany kolor świecenia przedmiotu zależy więc od jego temperatury, a więc na podstawie barwy np. gwiazdy możemy wyznaczyć temperaturę jej powierzchni.



Rys. 2. Rozkład gęstości widmowej promieniowania ciała doskonale czarnego w zależności od długości fali dla różnych temperatur. Przy wzroście temperatury maksimum rozkładu przesuwa się w stronę fal o mniejszej długości

Prosty pirometr działający na opisanej powyżej zasadzie wykonali i zaprezentowali uczestnicy Konkursu Projektów Uczniowskich zorganizowanego w ramach programu Feniks: Wojciech Biłan i Leszek Malec – uczniowie VIII Prywatnego Akademickiego Liceum Ogólnokształcącego w Krakowie (opiekun mgr Wiesław Mroszczyk). Główną częścią urządzenia (rys. 3) była żarówka podłączona do regulowanego zasilacza, dwa mierniki mierzyły równocześnie: napięcie na żarówce oraz natężenie płynące przez nią prądu. Za pomocą samodzielnie zbudowanego pirometru uczniowie zmierzili temperaturę płomienia świecy. Sam pomiar został wykonany w sposób opisany wcześniej – osoba mierząca obserwowała barwę włókna żarówki na tle płomienia i ustawiała takie napięcie zasilające, przy którym włókno „znikało”. Wówczas odczytywano wskazania przyrządów. Ciekawy był sposób wycechowania pirometru. Otóż uczniowie wykorzystali ważną właściwość włókna żarówki, mianowicie fakt, że opór włókna żarówki nie jest stały, niezależny od napięcia, z czego wynika nieliniowość zależności natężenia prądu od napięcia. Właściwość ta prawie zawsze jest pomijana w zadaniach z fizyki. Na podstawie wskazań woltomierza i amperomierza uczniowie obliczali opór włókna żarówki, a na tej podstawie wyznaczali temperaturę. Znali bowiem temperaturowy współczynnik oporu dla wolframu, a opór w temperaturze 0°C zmierzili samodzielnie. Poniższe zdjęcie urządzenia pochodzi z prezentacji przesłanej na konkurs. Warto wspomnieć, że uczniowie ci zostali laureatami konkursu i wraz z pozostałymi nagrodzonymi osobami uczestniczyli w zimowym obozie naukowym projektu Feniks.



Rys. 3