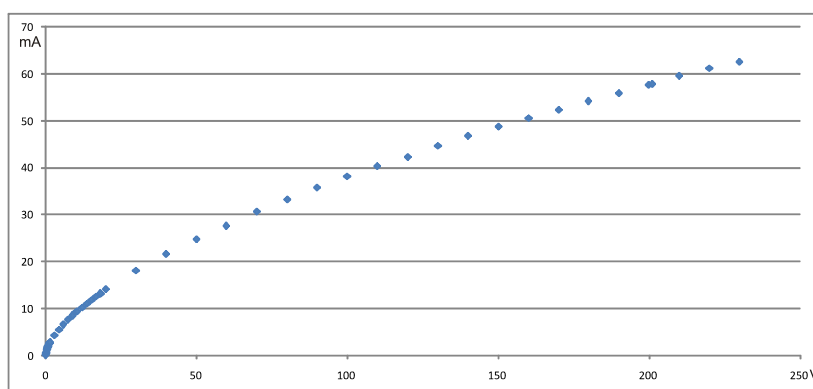


## Odgłosy z jaskini (13) Upór elektryczny

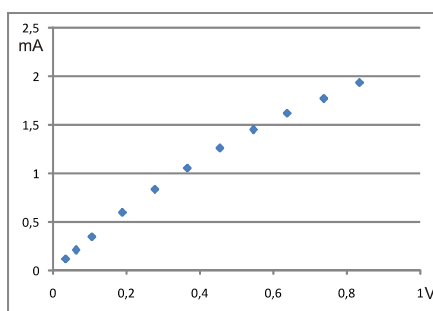
*Adam Smólski*

Z uporem godnym lepszej sprawy autorzy podręczników proponują doświadczenie, którego celem ma być odkrycie lub sprawdzenie prawa Ohma w przypadku, gdy odbiornikiem prądu jest żarówka. Gdy coś takiego Państwo napotkają, sygnał to oczywisty, że autor doświadczenia nie przeprowadził. Sytuacja skądinąd częsta, podręczniki powstają tak szybko...

Żarówki to elementy wyraźnie nieliniowe. Spowodowane jest to silną zależnością oporu od temperatury, no i silnym rozgrzewaniem się włókna, do czego przecież żarówka jest właśnie przeznaczona. Oto charakterystyka prądowo napięciowa żarówki 230 V, 15 W:

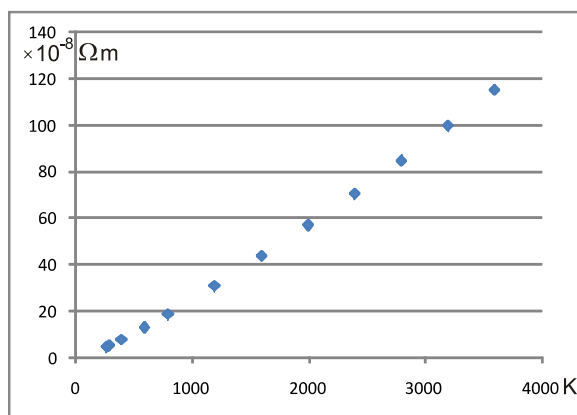


A może choć dla małych napięć zależność przypominałaby liniową? Nic z tego:



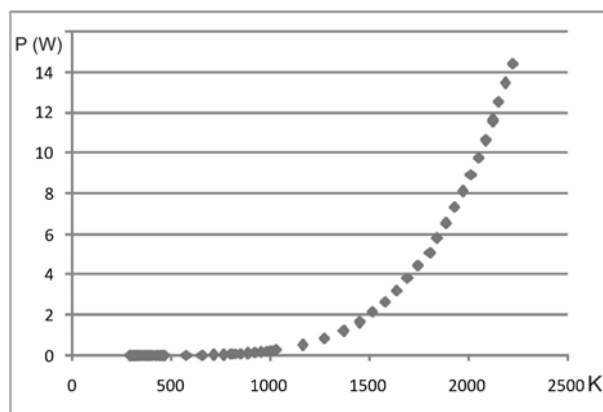
W zakresie napięć 0–1 V opór zmienia się od około 300  $\Omega$  do około 450  $\Omega$ .

Wspomniana zależność oporu wolframu od temperatury także nie jest liniowa. W tablicach wydawnictwa Adamantan znalazłem dane na ten temat, oto wykres (na osi pionowej opór właściwy):

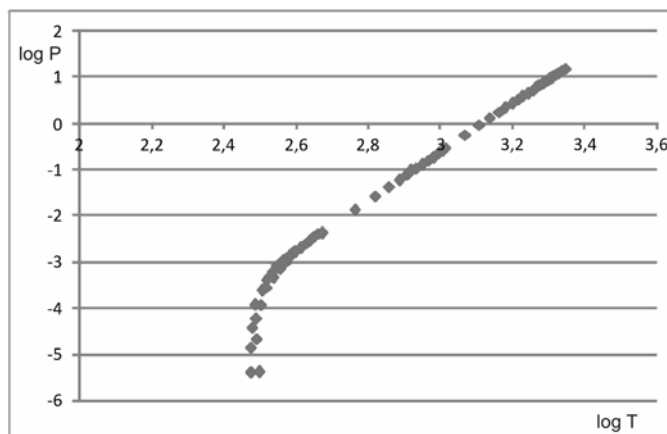


Zależność ta jest z dobrym przybliżeniem potęgowa, z wykładnikiem 1,24.

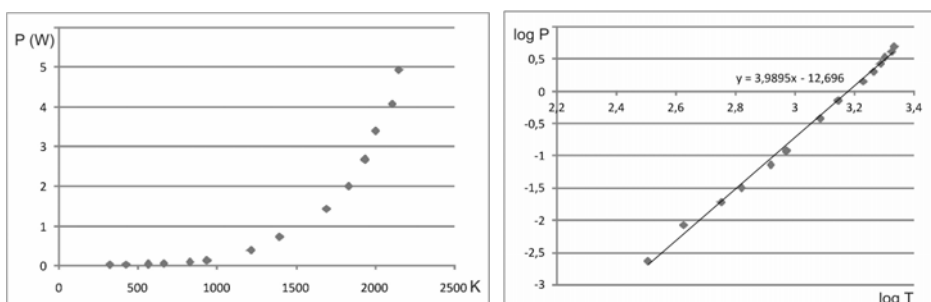
Dla naszej żarówki możemy zatem, na podstawie oporu, odczytywać temperaturę włókna. Przy napięciu 230 V osiąga ona około 2200 K (przy założeniu, że w temperaturze 293 K opór wynosi 300  $\Omega$ ). Interesująca wydaje się zależność mocy żarówki od temperatury:



Aż się prosi, by w ten sposób zademonstrować prawo Stefana-Boltzmann – moc powinna być proporcjonalna do czwartej potęgi temperatury, zwłaszcza dla dużych temperatur, gdy rozpraszanie energii odbywa się przede wszystkim na drodze promienistej. A zatem przerysujmy powyższy wykres na skali logarytmicznej:



Aż podskoczyłem, gdy zobaczyłem tę idealną liniowość przy dużych temperaturach. Za chwilę zimny prysznic: współczynnik kierunkowy to około 5,3. Dlaczego? Nie wiem. Analogiczne pomiary dla samochodowej „sufitówki” (12 V, 5 W) dają w tym miejscu wykładnik 4, chociaż liniowość nie jest już tak przekonująca:



Dla żarówek 230 V, 40 W oraz 230 V, 60 W jest jeszcze dziwniej, dla obu wykładniki są równe nieco ponad 3, przy liniowości nie lepszej niż dla sufitówki. Jeśli ktoś z Szanownych Czytelników zna się profesjonalnie na żarówkach, niech się, proszę, wypowie!

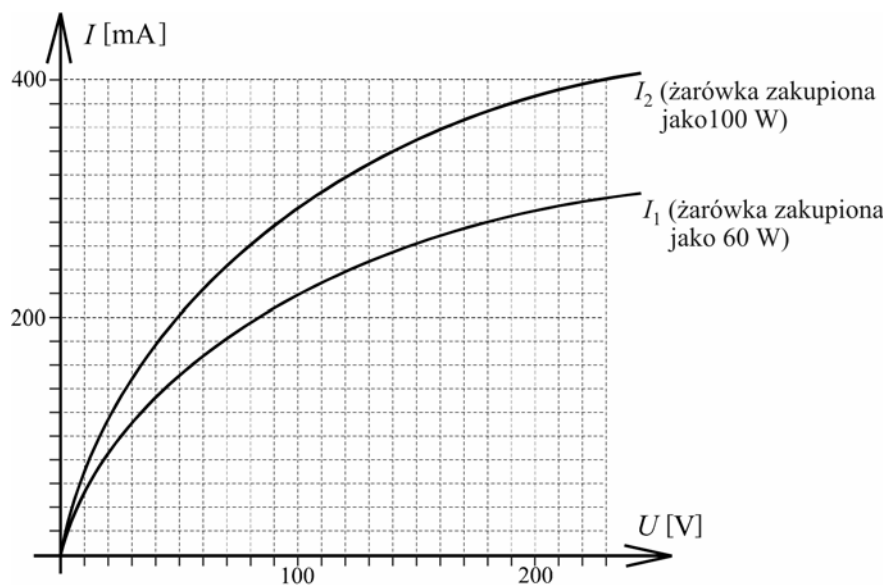
Wracając do podręczników, rozumiem autorów, że w rozdziałach na temat prądu chcą mówić raczej o urządzeniach codziennego użytku, a nie o abstrakcyjnym „oporniku”. Proponuję żelazko, czajnik albo zwykłe grzałki elektryczne do gotowania wody w szklance. Różnią się one od żarówek zasadniczo, bo chociaż też się grzeją, to do niższych temperatur, a drut oporowy w elemencie grzejnym wykonany jest ze stopu o znacznie słabszej, niż w przypadku wolframu, zależności oporu od temperatury (wolfram, w niewielkich temperaturach, ma współ-

czynnik temperaturowy oporu ok.  $0,005 \text{ K}^{-1}$ , chromonikielina  $0,0001 \text{ K}^{-1}$ , konstantan  $0,00003 \text{ K}^{-1}$ ). Dla żelazka 1600 W, które sprawdzałem, nie było zauważalnej zmiany oporu w wyniku nagrzewania. Grzałkę podczas pomiarów można cały czas trzymać w wodzie.

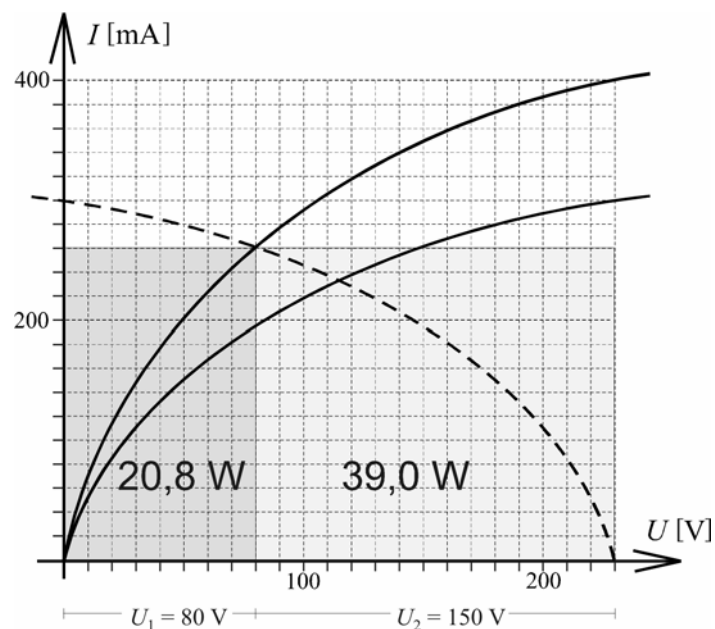
Żarówkę warto wykorzystać, ale jako przykład, że prawo Ohma nie zawsze jest spełnione. To ważne, aby odróżnić definicję oporu, mającą zawsze postać  $R = \frac{U}{I}$ , od prawa Ohma, spełnionego wtedy, gdy opór jest niezależny od napięcia. W podręcznikach to rozróżnienie bywa słabo widoczne, a prawo Ohma pretenduje do roli jakiegoś uniwersalnego prawa przyrody.

„Odgłosy z jaskini” początkowo, w zamyśle redakcji *Fotonu*, miały być „kącikiem zadań”. Proponuję zatem następujące zadanie o żarówkach:

*Na wykresach pokazane są charakterystyki prądowo-napięciowe dwóch różnych żarówek. Odczytaj moc, jaką będzie pobierać każda z nich, gdy podłączymy je szeregowo do źródła napięcia 230V.*



Niech za rozwiązanie posłuży rysunek:



Mocniej świeci słabsza żarówka (ta o mniejszej mocy nominalnej). Linia przerywana to odbita względem osi pionowej charakterystyka żarówki 50 W i „przesunięta” do napięcia 230 V. Punkt przecięcia tej krzywej z charakterystyką drugiej żarówki określa punkt pracy układu szeregowego.

Dziękuję za pomoc Krzysztofowi Tabaszewskiemu, z którym razem wykonaliśmy pomiary.