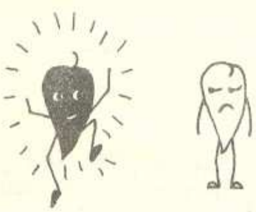
TYLKO DLA CZARNOWIDZÓW: BUDUJEMY PIROMETR

Czy interesowało Was kiedy, jaką temperaturę może mieć płomień świecy? A płomień lampy naftowej lub rozżarzony węgiel? Na pewno zbyt wysoką, żeby ją zmierzyć szklanym termometrem rtęciowym. Doskonale natomiast nadaje się do tego pirometr, który każdy z Was może sobie zbudować z żaróweczki, spirali grzejnej i paru innych łatwych do zdobycia elementów.
Nie będziemy oczywiście bezmyślnie budowali przyrządu nie zaznajomiwszy się z fizycznymi zjawiskami, dzięki którym może on działać. A więc do fizyki.



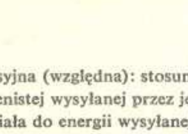
Po raz pierwszy prawidłowy opis teoretyczny promieniowania ciała doskonale czarnego podał w 1900 r. znakomity fizyk niemiecki Max Planck (1858–1947).

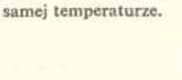
Zdolność emisyjna (względna): stosunek energii promienistej wysyłanej przez jednostkę powierzchni ciała do energii wysyłanej przez jednostkę powierzchni ciała doskonale czarnego o tej samej temperaturze.

NAJJAŚNIEJ ŚWIECI ... CIAŁO CZARNE.

Nic na to nie poradzę, tak jest naprawdę. Ale zacznijmy po kolei: bywają ciała bardziej lub mniej czarne. Fizyk mierzy czarność jakiegoś ciała przez określenie jego zdolności absorpcyjnej A. Jest to ułamek wyrażający część energii padającego promieniowania, jaką ciało pochłania. Ciało, które całkowicie pochłania padające promieniowanie, nazywa się ciałem doskonale czarnym. Oczywiście jego zdolność absorpcyjna równa się jedności. Wiadomo, że jeżeli ogrzejemy silnie jakieś ciało, zaczyna ono świecić. Promieniowanie wysyłane przez ciało doskonale czarne ma tę przyjemną cechę, że zależy ono jedynie od temperatury tego ciała.
Badając promieniowanie ciała doskonale czarnego możemy więc określić jego temperaturę. Jak wynika z dokładnych pomiarów, a także z bardzo ogólnego prawa fizycznego — II zasady termodynamiki, wszelkie inne ciała świecą słabiej od ciała doskonale czarnego (w tej samej temperaturze) i to w tym samym stosunku, w jakim słabiej od niego pochłaniają światło. **Zdolność emisyjna ciała *e* jest równa jego zdolności absorpcyjnej A.**
Widać więc już, dlaczego czarnowidz najchętniej zabierze się do budowy pirometru: temperaturę wszystkich ciał (czarnych — w jego mniemaniu) będzie mógł wyznaczać z ich promieniowania. W przypadku innych ciał należałoby jeszcze znać ich zdolność emisyjną (lub, co na jedno wychodzi, absorpcyjną), co stwarzałoby dodatkowy kłopot. Prawdę mówiąc, czarnowidztwo nie jest wielkim błędem w odniesieniu do ciał wymienionych na wstępie; węgiel — wiadomo — jest czarny, a w płomieniu świecy i lampy naftowej świeci sadza, jedna z najczarniejszych rzeczy, jakie znamy. W dalszym ciągu będziemy zakładali, że przedmioty, których temperaturę mierzymy, a także włókno żarówki pirometru — są ciałami doskonale czarnymi. Pozostaje jeszcze wyjaśnić zasadę działania pirometru: patrzymy na gorący przedmiot poprzez żaróweczkę tąk, aby widzieć jej włókno na jego tle. Dobieramy prąd płynący przez żaróweczkę tak, aby włókno zlało się z tłem. Wtedy promieniowanie włókna i tła jest takie samo, a więc ich temperatury są równe (przy przyjętym założeniu o czarności). W tym momencie możemy już spokojnie przystąpić do działania praktycznego.

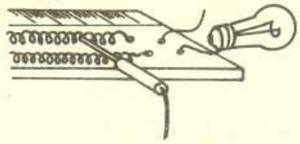
BUDUJEMY PIROMETR





Rozpoczynamy od zgromadzenia następujących materiałów:
1. Żaróweczka radiowa 6,3 V/0,3 A lub od latarki kieszonkowej.
Uwaga: przy kupowaniu żaróweczki wybieramy taką, przez którą można widzieć możliwie bez zniekształceń; zazwyczaj najlepsze pod tym względem są żarówki radiowe 6,3 V.
2. Dwie spirale grzejne (po zakończeniu doświadczeń mogą być użyte zgodnie z przeznaczeniem).
3. Dwie bateryjki płaskie 4,5 V.
4. Linijka 40–50 cm.
5. Przewód miedziany (izolowany lub nie), 2 wtyczki radiowe, kawałek plastra lub taśmy izolacyjnej.

Z narzędzi przyda się lutownica (nie jest absolutnie konieczna), szczypce płaskie i trochę drobnoziarnistego papieru ściernego.
W linijce rozżarzonym drutem lub gwoździem wykonujemy po cztery otwory na każdym końcu według rysunku. Posłużą nam one do zamocowania na linijce obu spirali grzejnych. Jedna ze spirali będzie opornikiem zmiennym do regulowania prądu w żaróweczce. Obwód pirometru wykonamy zgodnie ze schematem, łącząc żaróweczkę i spiralę szeregowo. Jeden koniec spirali łączymy z żaróweczką, najlepiej zwijając parę zwojów swobodnego końca spirali na ołówku i wkręcając w powstały „gwint" żaróweczkę (patrz rysunek). Drugim końcem zmiennego opornika będzie wtyczka radiowa przesuwana po spirali. Dla polepszenia kontaktu



spirale należy oczyścić papierem ściernym z warstwy tlenków. W braku wtyczki można użyć na przykład węglowego pręcika ze starej bateryjki. Resztę obwodu montujemy zgodnie ze schematem łącząc odpowiednie fragmenty przewodem miedzianym, najlepiej przez lutowanie. Bateryjkę przymocujemy do linijki plastrem lub taśmą izolacyjną. Nie martwcie się, że druga spirala grzejna nie została użyta, przyjdzie i na nią czas.
Pirometr w zasadzie jest już gotowy; dla wygody używania go należy jeszcze okopcić połowę bańki szklanej żaróweczki (tę od strony oka) w płomieniu świecy lub zapałki. Będziemy mogli wtedy swobodnie patrzeć na jasno świecące włókno i dobrze je widzieć. Ustawiamy teraz pirometr między okiem a świecącym przedmiotem, którego temperaturę chcemy zmierzyć, i przesuwamy suwak na spirali w takie miejsce, żeby włókno żarówki zlało się z tłem. Odczytujemy położenie suwaka — pomiar został wykonany.

Bardzo to wszystko pięknie, ale jaka jest temperatura — zapytacie z pewnością. Na razie pirometr pozwala jedynie porównywać temperaturę różnych ciał. Żeby ją określać w stopniach, musimy nasz przyrząd wycechować. Ale o tym w następnym numerze.
Idea artykułu została zaczerpnięta z zadania doświadczalnego ubiegłorocznej Olimpiady Fizycznej.

Czytelnicy proponują

Pan Andrzej Więckowski z Poznania twierdzi, że nietrudno zostać „żywym komputerem".
„Niewiarygodna wydaje się zdolność i pamięć Wima Kleina z Genewy" — pisze on — „który potrafił obliczyć pierwiastek dziewiętnastego stopnia z liczby stutrzydziestocyfrowej w ciągu pięciu minut, podając wynik

$$\sqrt[19]{2354894349 \ldots 007} = 9267143$$

(patrz «Delta», 1974, nr 3, str. 5). Wielu Czytelników zapewne zdziwi twierdzenie, że każdy z nich jest w stanie wykonać to samo zadanie w ciągu kilku minut przy pomocy niewielu prostych obliczeń wykonanych na kartce papieru. Czy to jest rzeczywiście takie łatwe?".
Pan Więckowski pokazuje, że tak. W zaproponowanej przez niego metodzie pomysłowo wykorzystuje się kilka faktów prostych i kilka bardziej obciążających pamięć:
— skoro dana liczba ma $133 = 19 \cdot 7$ cyfr, to jej pierwiastek 19 stopnia musi mieć 7 cyfr przed przecinkiem (dlaczego?);
— jeśli wiemy, że dana liczba jest 19 potęgą pewnej liczby całkowitej, to z faktu, że ostatnią jej cyfrą jest 7 wynika, iż ostatnią cyfrą pierwiastka musi być 3 (dlaczego?);
— wynika stąd, że do wykonania zadania wystarczy wyznaczyć 6 pierwszych cyfr pierwiastka, a więc znaleźć jego przybliżenie z dokładnością do 6 cyfr znaczących;
— z prostych faktów dowodzonych w tzw. teorii błędów wynika, że do tego celu wystarczy rozważać, zamiast liczby podpierwiastkowej, jej przybliżenie, w którym jest tylko 6 pierwszych cyfr znaczących, tzn. liczbę $0{,}235489 \cdot 10^{133}$.
Wartość przybliżoną pierwiastka 19 stopnia z liczby 0,235489 można już obliczyć bez większych kłopotów, jeśli
— zna się proste wzory przybliżone na obliczanie logarytmów i antylogarytmów:

$$\lg x \approx 0{,}86863\,\frac{x-1}{x+1} \qquad (\text{dla } 0{,}9765 < x < 1{,}024),$$

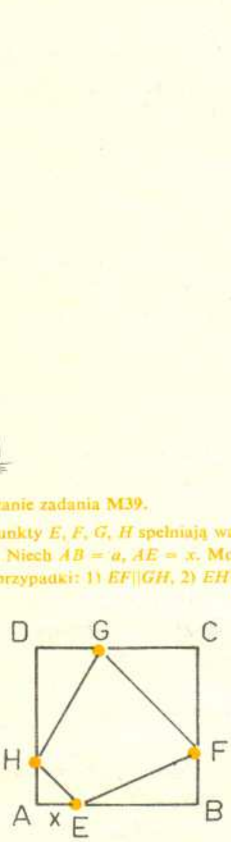
$$\mathrm{N}\lg\alpha \approx 1+2\,\frac{\alpha}{0{,}86863-\alpha} \qquad (\text{dla } -0{,}0103 < \alpha < 0{,}0103);$$

— pamięta się, że $\lg 2 \approx 0{,}30103$, $\lg 1{,}024 \approx 0{,}0103$;
— oraz zauważy się, że

$$0{,}235489 \cdot 2^2 \cdot (1{,}924)^2$$

jest liczbą, do której można zastosować podany wyżej wzór przybliżony na obliczenie logarytmów.
„Nie wiemy dokładnie, jaki algorytm wyciągania pierwiastka 19 stopnia zastosował Wim Klein. Czy znał on może jeszcze prostszy algorytm rozwiązywania tego zagadnienia?" — kończy swój list pan Więckowski.

Rozwiązanie zadania M39.
Niech punkty E, F, G, H spełniają warunki zadania. Niech $AB = a$, $AE = x$. Możliwe są dwa przypadki: 1) $EF \| GH$, 2) $EH \| FG$.



W przypadku 1) mamy $\sphericalangle BEF = \sphericalangle HGD$ i trójkąty DGH i BEF są podobne. Ponieważ $EB = 2x$, $EB = a-x$, $HD = 4x$, $DG = a-3x$, a z podobieństwa trójkątów mamy:

$$\frac{FB}{EB} = \frac{HG}{DG},$$

więc $\dfrac{2x}{a-x} = \dfrac{4x}{a-3x}$. Ponieważ E leży wewnątrz boku AB, więc $x > 0$ i z ostatniego równania otrzymujemy $2x(a+x) = 0$ — sprzeczność. W przypadku 2) mamy $\sphericalangle AEH = \sphericalangle FGC$ i z podobieństwa trójkątów AEH i CGF otrzymujemy (wobec $HA = a-4x$, $AE = x$, $CF = a-2x$, $CG = 3x$):

$$\frac{a-4x}{x} = \frac{a-2x}{3x},$$

skąd $x = \dfrac{a}{5}$. Jest więc $AE = \dfrac{a}{5}$, $BF = \dfrac{2}{5}a$,

$$CG = \frac{3}{5}a,\ DH = \frac{4}{5}a$$