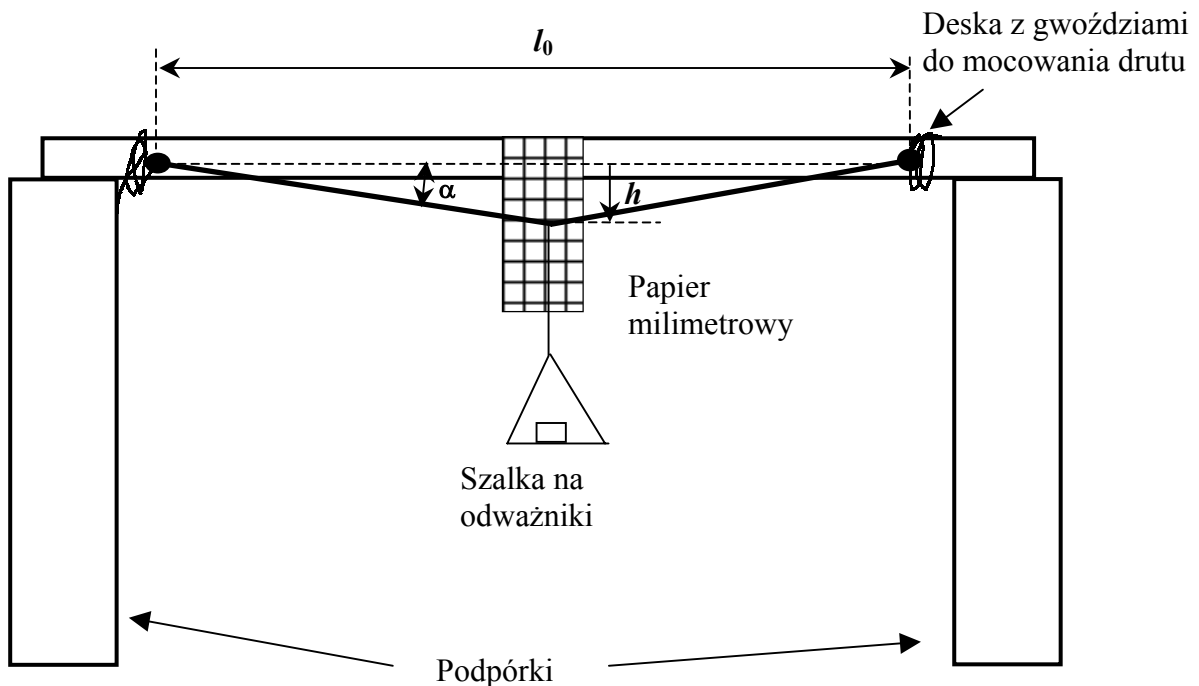


## Zadanie D1

Rozwiązanie zadania wymaga zbudowania układu doświadczalnego pozwalającego mierzyć małe wydłużenia drutu. Przykład takiego układu przedstawiono schematycznie na Rys. 1.



Rys. 1

Badany drut mocujemy starannie na gwoździach wbitych w deskę. Ważne jest, aby drut nie był ani zbyt luźny ani zbyt naciągnięty (Rys. 1). Następnie pośrodku drutu zawieszamy szalkę i umieszczamy na niej odważniki. Ciężar  $Q$  (szalki i odważników) powoduje powstanie siły  $F$  rozciągającej drut:

$$F = Q / 2 \sin(\alpha) = Ql / 4h. \quad (1)$$

Pod wpływem obciążenia drut rozciąga się, czego miarą jest położenie środka drutu  $h$ , które wygodnie jest mierzyć używając kawałka papieru milimetrowego, przyklejonego do deski (rys. 1). Znając je można wyznaczyć długość drutu po rozciągnięciu:

$$l(h) = \sqrt{l_0^2 + 4h^2}. \quad (2)$$

Jeśli początkowe położenie drutu (obciążonego tylko szalką) wynosiło  $h_0$ , to względne wydłużenie drutu wywołane ciężarem odważników wyniesie:

$$\varepsilon = \frac{l(h) - l(h_0)}{l(h_0)} = \frac{\sqrt{l_0^2 + 4h^2} - \sqrt{l_0^2 + 4h_0^2}}{l(h_0)} \cong \frac{2(h^2 - h_0^2)}{l_0^2}. \quad (3)$$

Ostatnie wyrażenie po prawej stronie równania (3) zostało uzyskane przy założeniu  $h_0, h \ll l_0$ . Układ pomiarowy należy zbudować tak, by warunek ten był spełniony.

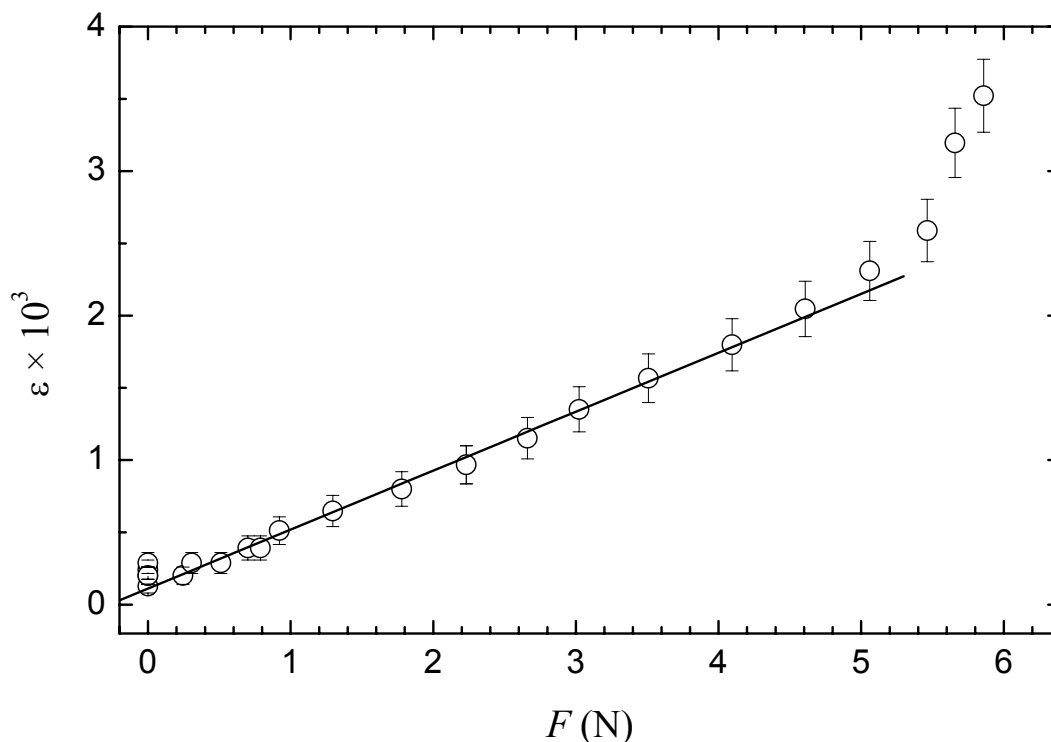
Dla naprężeń nie przekraczających granicy plastyczności wydłużenie drutu opisywane jest prawem Hooke'a, co można zapisać w postaci:

$$\varepsilon = \frac{1}{SE} [F(h) - F(h_0)], \quad (4)$$

gdzie  $E$  – moduł Younga,  $S$  – powierzchnia przekroju poprzecznego drutu. Zatem aby wyznaczyć moduł Younga miedzi należy zbadać zależność wydłużenia drutu od wartości rozciągającej go siły. Uzyskana zależność powinna być liniowa.

Przed wykonaniem doświadczenia należy sprawdzić czy drut nie jest pogięty i ewentualnie delikatnie go wyprostować, np. przeciągając po gładkim, miękkim przedmiocie. Należy zadbać o to, by końcówki drutu były dobrze zamocowane na gwoździach. Dla zwiększenia dokładności pomiarów papier milimetrový służący do odczytu wychyleń należy zamocować możliwie blisko drutu. Odważniki należy wkładać na szalkę delikatnie, aby nie spowodować trwałego odkształcenia drutu.

Wyniki pomiarów wykonanych przez recenzenta dla drutu o średnicy  $\Phi = 0,2$  mm przedstawione są na Rys. 2. Pomiarów powtarzane były kilkakrotnie dla małych obciążeń. Można było zaobserwować, że dla pierwszej serii pomiarowej, po zdjęciu obciążenia, drut nie wracał do położenia początkowego. W następnych seriach, drut wracał do swojego początkowego położenia. Wydaje się, że pierwsze naciągnięcie drutu powoduje jego wyprostowanie oraz ciaśniejsze zaciśnięcie na gwoździach. W przypadku, gdy naprężenie drutu przekraczało granicę plastyczności drut wydłużał się trwale.



Rys. 2

Współczynnik nachylenia prostej uzyskany z dopasowania do danych doświadczalnych w obszarze odkształceń sprężystych wynosi dla badanego drutu miedzianego  $(4,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-4} \text{ N}^{-1}$ . Biorąc pod uwagę, że średnica drutu wyznaczona była z dokładnością  $\pm 0,01 \text{ mm}$ , otrzymujemy wartość modułu Younga  $E = (80 \pm 10) \text{ GPa}$ . Uzyskany wynik mieści się w granicach 70-130 GPa podawanych w tablicach fizycznych [1,2] jako wartość modułu

Younga miedzi. Wykonane doświadczenie pozwala też na wyznaczenie innego parametru charakteryzującego własności sprężyste miedzi, a mianowicie granicy plastyczności. Z Rys. 2, wynika, że drut zaczął odkształcać się plastycznie dla obciążeń powyżej 5N, co odpowiada wartości naprężeń powyżej 60 MPa. Można porównać tę wartość z danymi tablicowymi [1,2] dla wytrzymałości miedzi na zerwanie. Zawierają się one w granicach 200-400 MPa. Jak widać, uzyskana wartość naprężenia odpowiadająca granicy plastyczności jest mniejsza od wytrzymałości miedzi na zerwanie.

[1] Tablice Fizyczno Astronomiczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1995

[2] S. Szczeniowski, Fizyka Doświadczalna, Mechanika i Akustyka, Warszawa 1980

#### Proponowana punktacja

- 1) Zbudowanie układu doświadczalnego do pomiaru małych wydłużeń drutu do 4 pkt.
- 2) Wyprowadzenie związków (3) i (4) (lub ich odpowiedników) do 4 pkt.
- 3) Pomiar zależności wydłużenia drutu od obciążenia do 6 pkt.
- 4) Wykonanie wykresu zależności wydłużenia drutu od obciążenia oraz wyznaczenie współczynnika nachylenia prostej do 4 pkt.
- 5) Poprawny wynik (porównanie z wartościami tablicowymi, dyskusja błędów) do 2 pkt.