

1. Jak prawidłowo wykonać wykres?

Każdy ma własny styl pisania raportów sprawozdań i innych dokumentów obliczeniowych. Jeżeli masz przygotować sprawozdanie lub prezentację z przeprowadzonych pomiarów, to należy pamiętać, że podstawą pozytywnej oceny pracy doświadczalnej jest rzetelne przeprowadzenie eksperymentu i właściwe przedstawienie jej wyników.

2. Zasady tworzenia wykresów

Głównym zadaniem graficznej prezentacji danych jest zbadanie, czy określone dane eksperymentalne odpowiadają modelom teoretycznym obserwowanego zjawiska. Dlatego na wykresach umieszcza się zarówno punkty doświadczalne, jak i interpretującą przebieg zjawiska krzywą teoretyczną.

1. Dostosuj rodzaj wykresu do prezentowanego zagadnienia (wykres liniowy, punktowy, słupkowy, powierzchniowy itp.)
2. **Skalę wykresu dobierz** tak, by był on przejrzysty i dobrze wykorzystywał powierzchnię papieru.
3. **Wybierz odpowiednią podziałkę oraz układ współrzędnych, którego początek nie zawsze musi rozpoczynać się od wartości "0".**
4. **Opisz osie wykresu przedstawiając symbol i jednostkę wielkości fizycznej**, pamiętając o tym, że powinny to być jednostki podstawowe układu SI (lub ich wielokrotności).
5. **Zaznacz wyraźnie i jednoznacznie punkty pomiarowe** (w postaci miniatur prostych figur geometrycznych – krzyżyk, kółko, trójkąt). Różny kształt symboli możesz wykorzystać do przekazania dodatkowej informacji, np. pokazujących punkty należące do różnych krzywych.
6. Jeżeli jest to możliwe **zaznacz błędy pomiarów** obu współrzędnych. Może to być **prostokąt niepewności**, wewnątrz którego z dużym prawdopodobieństwem znajduje się punkt o określonych współrzędnych.
7. **Nigdy nie łącz punktów pomiarowych ze sobą!** Wykresem nie może być linia schodkowa – “łamana”!
8. **Przebieg funkcji przybliź krzywą** znaną z teorii analizowanego zjawiska:
 - a. **odręcznie** – poprowadź krzywą gładką (lub prostą) pomiędzy punktami pomiarowymi,
 - b. **metodą regresji liniowej** dla prostych określonych równaniem: $y = ax + b$
9. **Każdy wykres opatrz tytułem** (określającym rodzaj wykonanych pomiarów) i **legendą** oraz ewentualnie **objaśnieniami użytych symboli**.

Sporządzając wykres stosuj się do poniższych reguł:

Reguły te obowiązują w przypadku wykresów wykonywanych odręcznie jak i sporządzanych przy użyciu odpowiedniego oprogramowania komputerowego.

Wykresy wykonaj przy pomocy środków technicznych – linijki, krzywika – na papierze milimetrycznym formatu A-4. Jeśli potrzebna jest podziałka logarytmiczna, możesz użyć papieru logarytmicznego. Jeśli wykres jest wykonany na papierze o formacie, mniejszym niż A-4, nakleję go na kartę formatu A-4.

Po naniesieniu punktów pomiarowych **narysuj krzywą gładką**, przebiegającą w pobliżu wszystkich punktów pomiarowych. Liczba punktów powyżej i poniżej krzywej powinna być w przybliżeniu równa na każdym jej odcinku.

Dobierz współrzędne na osiach wykresu, tak żeby można było ocenić, czy zależność teoretyczna jest spełniona, czy nie. W razie potrzeby musisz zmienić skalę lub współrzędne.

Możesz skorzystać z odpowiedniego programu komputerowego, jeśli oczywiście jesteś w stanie zapanować nad tym narzędziem i zmusić je do właściwej prezentacji.

3. UWAGA!

Często spotykany **błąd systematyczny**, polega na tym, że punkty odchylają się od prostej na początku lub na końcu zakresu pomiarowego. Przy dopasowaniu prostej, tak metodą najmniejszych kwadratów jak i graficzną, nie bierz pod uwagę punktów systematycznie odbiegających od zależności liniowej (choć wszystkie punkty pokazujesz na wykresie).

Innym rodzajem błędu (tzw. **błąd grubo**) jest punkt wykresu drastycznie odbiegający od pozostałych. Może on być wynikiem pomyłki przy wykonywaniu eksperymentu i zapisie jego wyników oraz pomyłki przy wprowadzaniu danych do komputera. Nawet pojedynczy taki punkt zdecydowanie psuje jakość dopasowania metodą najmniejszych kwadratów.

Nie licz na odkrycie nowych praw fizyki zaznaczając na wykresie dodatkowe lokalne maksima lub minima.

Takie odchylenia od krzywej teoretycznej mogą być jedynie przedmiotem dyskusji.

4. Czy punkty układają się na prostej?

Linia prosta jest najłatwiejszą do narysowania, dlatego zależności sprowadza się do postaci liniowej, a następnie analizuje się je. Jeśli na przykład powiększysz dziesięciokrotnie wykres, na którym punkty leżą na prostej, to może się okazać, że to nie prawda, tylko odchylenia były tak małe, że ich nie zauważyłeś.

Odpowiedź na postawione pytanie nie powinna jednak zależeć od tak nieistotnego czynnika jak wielkość papieru, na którym wykonujesz wykres. Musi więc istnieć kryterium obiektywne. Jest nim oczywiście **dokładność pomiarów**. Punkty na wykresie powinny mieć zaznaczone błędy pomiarów obu współrzędnych.

5. Dopasowanie prostej do zbioru punktów doświadczalnych

Celem dopasowania jest nie tylko uzyskanie efektu wizualnego, ale przede wszystkim uzyskanie wartości parametrów a i b opisujących prostą $y = ax + b$ ich błędów (niepewności pomiarowych) $u(a)$ i $u(b)$ oraz korelacji pomiędzy danymi x i y .

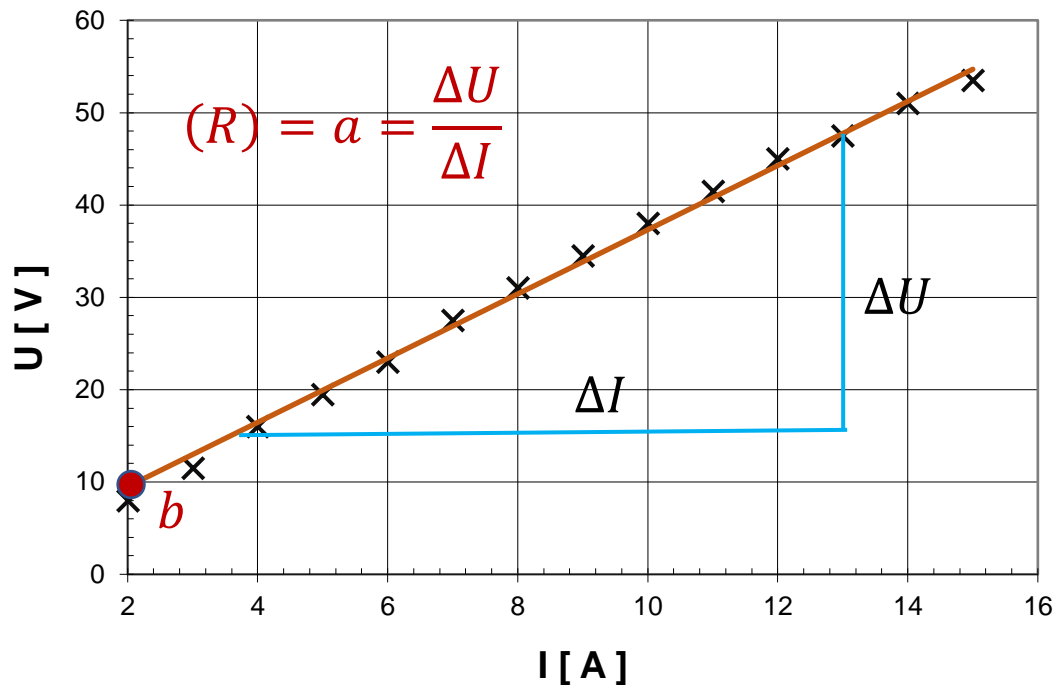
6. Metoda graficzna

Polega ona na wykonaniu wykresu, a następnie na wykreśleniu prostej tak, by odległości punktów eksperymentalnych od prostej były średnio jak najmniejsze. Współczynnik nachylenia prostej

$$a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Współczynnik a posiada wymiar, będący ilorzem Wymiarów (jednostek) wielkości y i x

jest ilorzem przyprostokątnych Δy i Δx trójkąta, którego przeciwprostokątna jest częścią poprowadzonej graficznie prostej (Rysunek 1).



Rysunek 1: Wyznaczenie parametrów prostej metodą graficzną.

Współczynnik b wyznacza punkt przecięcia prostej z osią OY . Dość często źródłem nieporozumień bywa utożsamianie współczynnika nachylenia a z tangensem kąta nachylenia prostej do osi OX . W wykresach wielkości fizycznych kąt nachylenia prostej może być różny dla tych samych danych pomiarowych – w zależności od tego, jakie podziałki zastosujesz na osiach wykresu.

Wadą metody graficznej wydawać się może subiektywność – każdy poprowadzi prostą trochę inaczej. Jednak w przypadku prawidłowo wykonanego wykresu i odrobiny wprawy wartości parametrów prostej są w granicach niepewności takie same jak uzyskane za pomocą metod analitycznych.

Ponadto zaletą metody graficznej jest eliminacja punktów drastycznie odbiegających od prostej. **Największą wadą metody jest brak informacji o niepewności parametrów prostej.**

7. Metoda najmniejszych kwadratów

Wyniki pomiarów wielkości x_i i y_i naniosłeś na wykres w odpowiednim układzie współrzędnych i okazało się, że w przybliżeniu układają się one na pewnej prostej $y = ax + b$. Ale takich prostych „przybliżających” może być wiele. Jak znaleźć najlepsze przybliżenie? Jak zmierzyć, które przybliżenie jest lepsze?

Metoda najmniejszych kwadratów jest najpowszechniej stosowaną metodą analityczną. Swoją nazwę zawdzięcza kryterium jakości dopasowania takiego doboru parametrów prostej, by suma kwadratów różnic wartości eksperymentalnych y_i i obliczonych $ax_i + b$ była jak najmniejsza:

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 = \min$$

Kryterium to zapewnia najlepsze oszacowanie parametrów prostej przy założeniu, że wszystkie punkty pomiarowe obarczone są jednakowym błędem przypadkowym o rozkładzie normalnym. Jak szukać minimum funkcji dwóch zmiennych? W celu znalezienia współczynników a i b korzysta się z warunku na minimum funkcji dwu zmiennych.

Metoda ta szczegółowo jest opisana w skrypcie do I pracowni fizycznej !