



LABORATORIUM Z FIZYKI



Dr Jarosław Borc

pok. 101B w Wydziale Podstaw Techniki

tel.: 815384505

e-mail: j.borc@pollub.pl

borc.pollub.pl - materiały do zajęć

kfs.pollub.pl - instrukcje do ćwiczeń



**REGULAMIN OBOWIĄZUJĄCY W
PRACOWNIACH FIZYKI
I ELEKTROTECHNIKI
KATEDRY FIZYKI STOSOWANEJ
POLITECHNIKI LUBELSKIEJ**

I. Organizacja ćwiczeń i ustalenia porządkowe

1. Studenci wykonują ćwiczenia pojedynczo lub w zespołach w sali pracowni fizyki, zorganizowani w grupach laboratoryjnych.
2. Pierwsze zajęcia w pracowniach fizyki i elektrotechniki są poświęcone sprawom organizacyjnym oraz zapoznaniu studentów z najważniejszymi przyrządami pomiarowymi i podstawami teoretycznymi obliczania niepewności pomiarów.
3. Do wyznaczonego ćwiczenia studenci przygotowują się samodzielnie na podstawie wskazanych materiałów bibliograficznych.
4. Studenci przystępujący do wykonania ćwiczenia zobowiązani są znać teorię zagadnienia, ogólne zasady pomiaru wyznaczanych wielkości oraz sposoby opracowania otrzymanych wyników. Znajomość teorii, zasad prowadzenia eksperymentów oraz obliczenia niepewności pomiarów prowadzący zajęcia sprawdza w trakcie zajęć.

5. W przypadku niedostatecznego przygotowania prowadzący może nie dopuścić studenta do wykonywania ćwiczenia. Student, który nie został dopuszczony do wykonywania ćwiczenia, ma obowiązek odrobienia tego samego lub innego ćwiczenia w terminie zajęć odróbkowych.
6. Sprawozdanie z wykonania ćwiczenia każdy student opracowuje samodzielnie i przedkłada do zaliczenia w wyznaczonym przez prowadzącego terminie.
7. Liczbę zadań warunkujących zaliczenie zajęć laboratoryjnych oraz liczbę zajęć odróbkowych ustala prowadzący zajęcia w oparciu o obowiązujące plany studiów i liczby te podaje do wiadomości studentów.
8. Spis ćwiczeń laboratoryjnych jest wywieszony na tablicy informacyjnej KFS PL. Wersja drukowana instrukcji wykonania zadań jest dostępna w bibliotece Wydziału Mechanicznego oraz w salach laboratoryjnych. Wersja elektroniczna instrukcji wykonania zadań jest również dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL oraz na stronie: <http://www.kfs.pollub.pl> .

9. W salach laboratoryjnych mogą przebywać tylko osoby uczestniczące w zajęciach.
10. W trakcie ćwiczeń obowiązuje cisza, a student może opuścić salę jedynie po poinformowaniu prowadzącego zajęcia.
11. Student rozpoczyna wykonywanie ćwiczenia dopiero po sprawdzeniu zestawu eksperymentalnego przez prowadzącego zajęcia i wyrażeniu przez niego zgody. Student ponosi pełną odpowiedzialność materialną za szkody wynikające z jego winy.
12. W czasie wykonywania ćwiczenia student sporządza protokół pomiarów, który przedstawia prowadzącemu do podpisania. Opracowaniu podlegają wyłącznie wyniki podpisane przez prowadzącego.
13. Sposób przygotowania sprawozdań z wykonanych ćwiczeń oraz ich formę określa prowadzący zajęcia.
14. W przypadku stwierdzenia przez prowadzącego błędów lub niedociągnięć w sprawozdaniu, student powinien je poprawić w wyznaczonym przez prowadzącego terminie.

15. Zaliczenie zadania następuje po przedłożeniu sprawozdania z wykonania ćwiczenia. Prowadzący ustala ocenę na podstawie następujących punktów:
- (a) wiedzy prezentowanej w trakcie kolokwium,
 - (b) jakości pracy studenta na stanowisku pomiarowym,
 - (c) merytorycznej i technicznej jakości sprawozdania z wykonania ćwiczenia.
- Ocena negatywna z któregokolwiek punktu skutkuje nie zaliczeniem ćwiczenia.
16. Końcowego zaliczenia zajęć na pracowni dokonują prowadzący zajęcia na podstawie ocen z wszystkich ćwiczeń.
17. Student nie otrzymuje zaliczenia, jeśli w przewidzianym programem studiów czasie nie dopełni zobowiązań wynikających z niniejszego regulaminu.

II. Warunki Bezpieczeństwa i Higieny Pracy

1. Ćwiczenia laboratoryjne mogą wykonywać tylko studenci w pełni sprawni psychicznie i fizycznie. Student nie może być pod wpływem alkoholu oraz innych środków odurzających.
2. Nie wolno bez nadzoru, w oddzielnym pomieszczeniu laboratoryjnym, pozostawić jednego studenta.
3. Tablice zasilające może włączyć tylko prowadzący zajęcia, wszelkie obwody elektryczne student łączy ze źródłami prądu dopiero po sprawdzeniu przez prowadzącego.
4. W salach laboratoryjnych wszelkie urządzenia i zestawy elektryczne powinny posiadać instalację uziemiającą oraz odpowiednie oznakowania zabezpieczające przed porażeniem.
5. Wszelkie naprawy aparatury oraz instalacji dokonują wyłącznie pracownicy do tego upoważnieni.

6. W razie porażenia elektrycznego, poparzenia, zatrucia, itp., należy udzielić pierwszej pomocy bądź przywołać na miejsce karetkę pogotowia, jeśli zachodziłaby taka konieczność.
7. W przypadku wybuchu pożaru, należy w pierwszej kolejności wyłączyć tablice zasilające, a następnie przystąpić do gaszenia gaśnicą i wszelkimi dostępnymi środkami. Jeśli nie udaje się stłumić ognia, należy nie przerywając gaszenia zawiadomić straż pożarną.
8. Każdy wypadek, nawet drobne skaleczenie, winien być natychmiast zgłoszony prowadzącemu ćwiczenia.
9. Wszystkie osoby znajdujące się podczas wyżej wymienionych wypadków w Pracowni muszą zastosować się do poleceń prowadzącego zajęcia.
10. Wszelką działalność i zachowanie się w Pracowni powinna cechować maksymalna ostrożność i rozwaga.

I. Przepisy przejściowe związane z sytuacją epidemiologiczną

1. Wchodząc do pomieszczenia Pracowni należy obowiązkowo odkazić dłonie. Obowiązkowe jest używanie rękawiczek ochronnych podczas trwania zajęć.
2. Każda osoba, zarówno studenci, jak i prowadzący zajęcia muszą mieć założoną maseczkę, zakrywającą przez cały czas nos i usta.
3. Podczas zajęć należy zachowywać odległość minimum 1,5 m od każdej z pozostałych osób znajdujących się w Pracowni.
4. Część zajęć będzie realizowana w trybie zdalnym. Szczegółowe wymagania i zasady odbywania się tych zajęć ustalają i przedstawiają prowadzący.
5. Sprawozdania z wykonanych ćwiczeń składane muszą być drogą elektroniczną, w postaci plików PDF, w ramach Office 365
6. Konsultacje, dotyczące wykonania ćwiczeń oraz przygotowania sprawozdań, odbywać się mogą wyłącznie w formie zdalnej, przy wykorzystaniu Office 365.

POMIARY

- Pośredni
- Bezpośredni

NIEPEWNOŚCI POMIAROWE

- Systematyczne i przypadkowe
- Subiektywne i obiektywne
- Grube
- Względna i bezwzględna

ΔW_{\max} - bezwzględna niepewność pomiarowa (dokładność pomiaru).

Jej źródłem może być przypadkowy rozrzut wyników pomiarów, dokładność przyrządu, wpływ warunków atmosferycznych, dokładność odczytu czy też niewłaściwe zapisanie wyniku. Jest ona wyrażana w jednostkach wielkości mierzonej, np. siła w [N] lub [mN].

δW_{\max} - względna niepewność pomiarowa (dokładność pomiaru).

$$\delta W = \frac{\Delta W}{W} \cdot 100\%$$

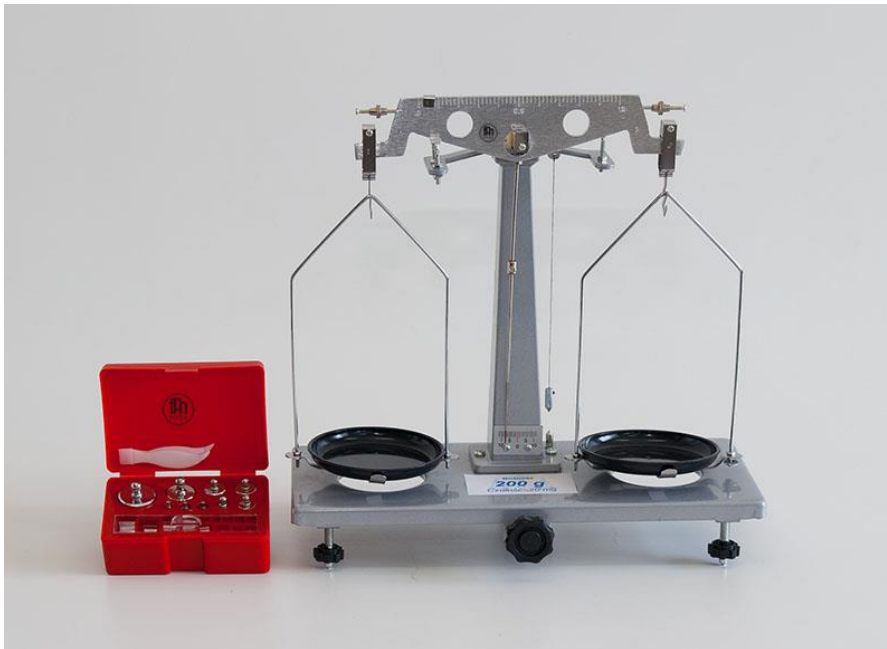
Jest ona wyrażana w % lub bezwymiarowo

SZACOWANIE NIEPEWNOŚCI POMIAROWEJ WIELKOŚCI MIERZONYCH BEZPOŚREDNIO

**SZACOWANIE NIEPEWNOŚCI
POMIAROWEJ WIELKOŚCI
MIERZONYCH BEZPOŚREDNIO
ZWIĄZANE Z DOKŁADNOŚCIĄ
PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH**

$$\Delta m_{\max}$$

Dla wagi elektronicznej jest to jej dokładność (zwykle jest to 1g, 0,1g lub 0,01g).



Dla wagi szalkowej jest to wartość najmniejszego odważnika, który powoduje wychylenie szalek z położenia równowagi



$$\Delta t_{\max}$$

Suma niedokładności stopera (0,01s lub 0,2s) i niepewności związanej z czasem reakcji mierzącego na start (0,2s) i na zatrzymanie (0,2s).

$$\Delta t_{\max} = 0,01s + 0,2s + 0,2s = 0,41s$$

TEMPERATURA

Dla termometru rtęciowego lub alkoholowego jest to wartość jednej lub połowy działki.



$$\Delta T_{\max}$$



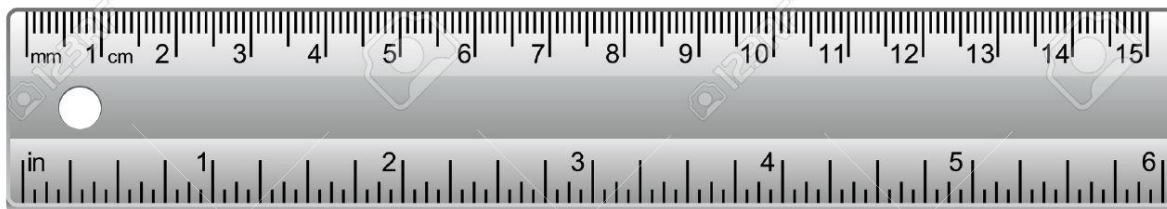
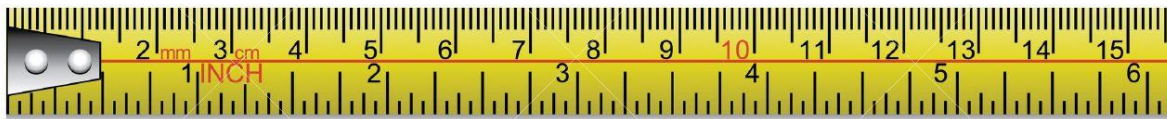
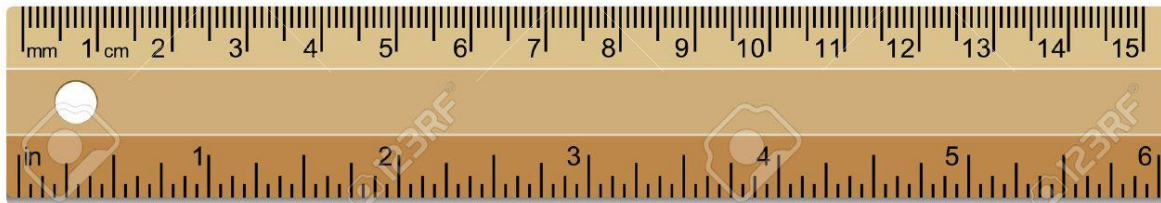
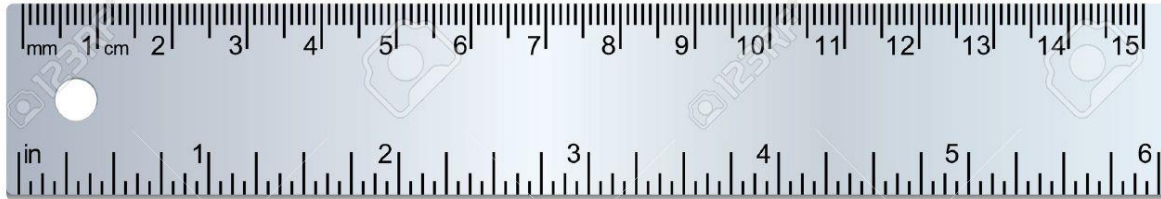
Dokładność termometru elektronicznego to 1 deg lub 0,1 deg



$$\Delta l_{\max}$$

Wartość jednej lub dwóch działek w zależności od rodzaju przyrządu użytego do pomiaru

Linijka, taśma miernicza



$$\Delta l_{\max} = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

DŁUGOŚĆ LUB ŚREDNICA

Suwmiarka



noniuszowa

$$\Delta d_{\max} = 0,02 \text{ mm} = 2 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\Delta d_{\max} = 0,05 \text{ mm} = 5 \times 10^{-5} \text{ m}$$



zegarowa

$$\Delta d_{\max} = 0,01 \text{ mm} = 10^{-5} \text{ m}$$

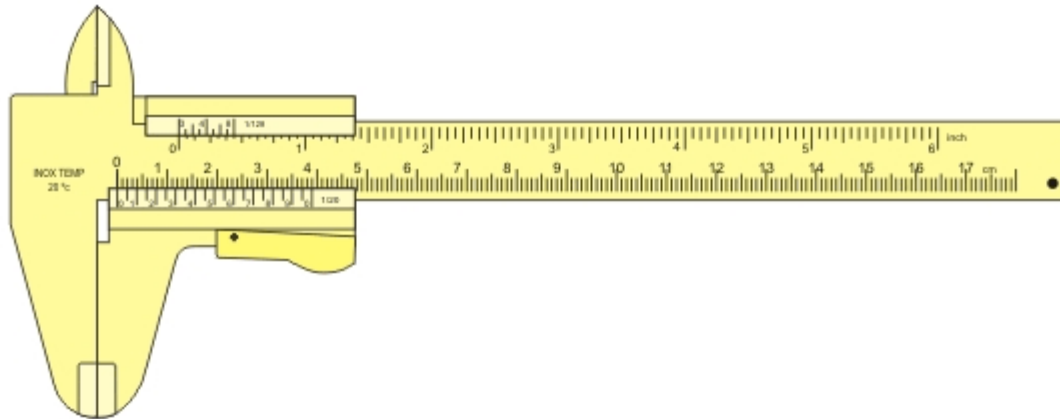


cyfrowa

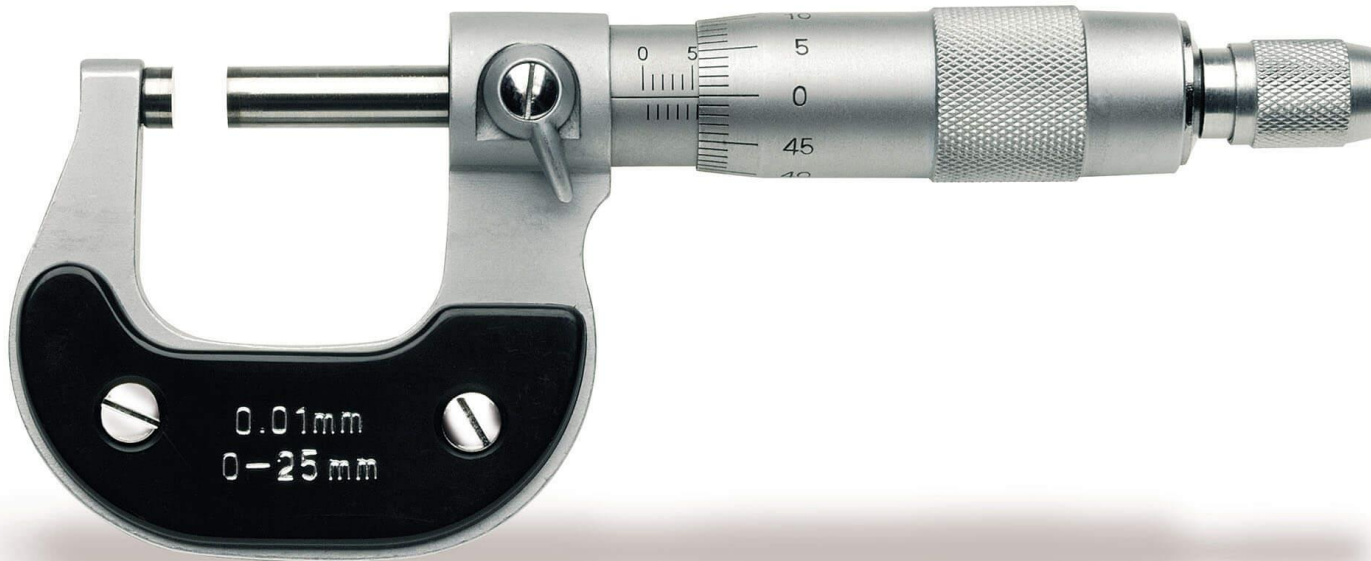
$$\Delta d_{\max} = 0,01 \text{ mm} = 10^{-5} \text{ m}$$

DŁUGOŚĆ LUB ŚREDNICA

Jak odczytujemy wynik pomiaru

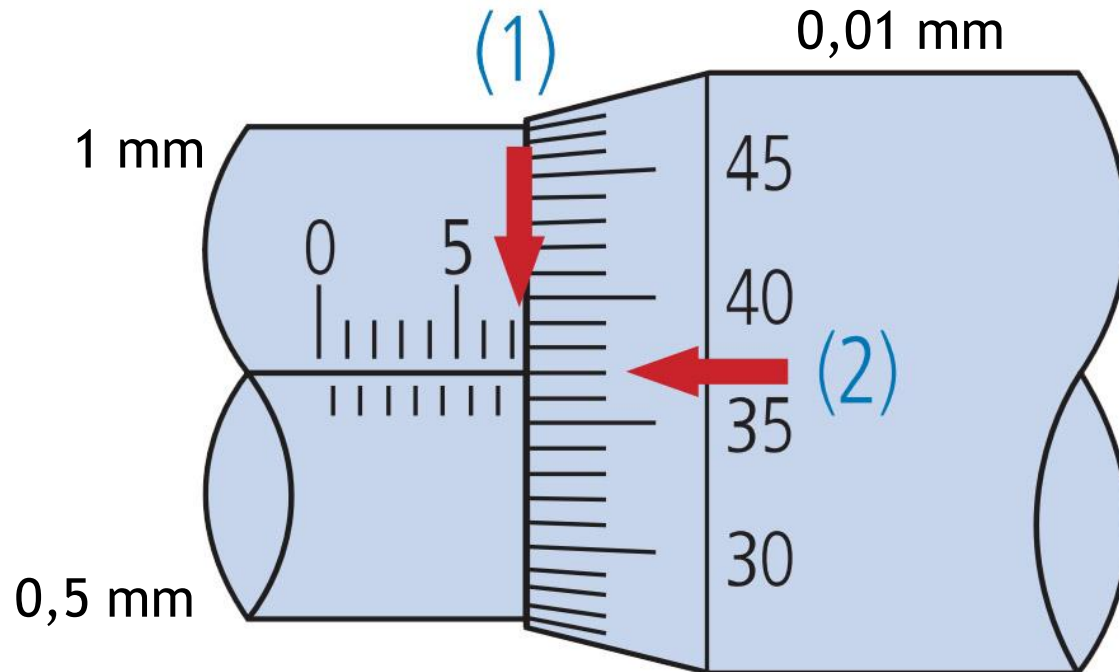


Śruba mikrometryczna (mikrometr)



$$\Delta d_{\max} = 0,01 \text{ mm} = 10^{-5} \text{ m}$$

Jak odczytujemy wynik pomiaru



$$d = 7 \text{ mm (1)} + 0,37 \text{ mm (2)} = 7,37 \text{ mm} = 7,37 \times 10^{-3} \text{ m}$$

DŁUGOŚĆ

Miernik zegarowy



$$\Delta l_{\max} = 0,01 \text{ mm} = 10^{-5} \text{ m}$$



$$\Delta l_{\max} = 0,001 \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$$

DŁUGOŚĆ

Mikrometr okularowy

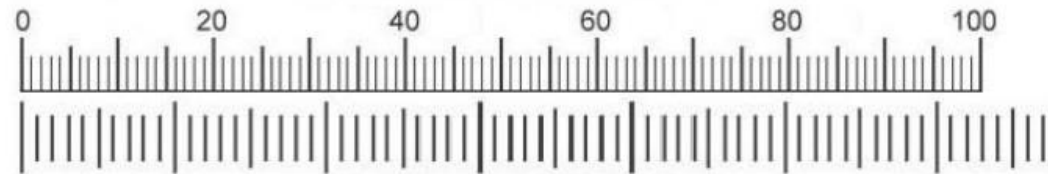
Wartość działki skali okularu mikroskopu (podana przy mikroskopie używanym do pomiaru).



$$\Delta l_{\max} = \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$



skala okularowa



skala mikrometryczna

NATĘŻENIE, NAPIĘCIE

$$\Delta I_{\max}, \Delta U_{\max}$$

Suma niepewności wynikającej z klasy miernika i niepewności związanej z odczytem.

NATĘŻENIE, NAPIĘCIE



Miernik analogowy (magnetoelektryczny typu LM-3)

Przeznaczone do pomiarów prądów
i napięć stałych,
jedno lub wielozakresowe

Klasa: 0,5

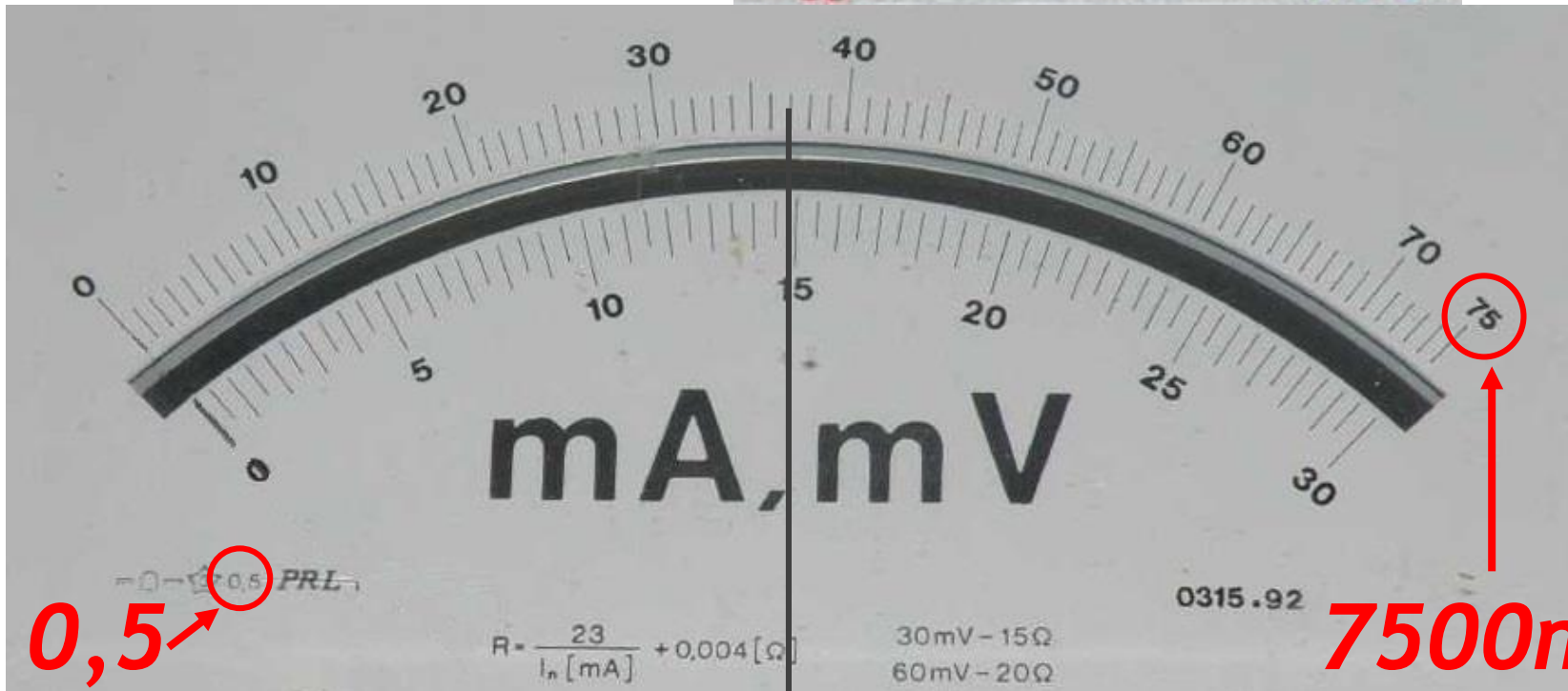
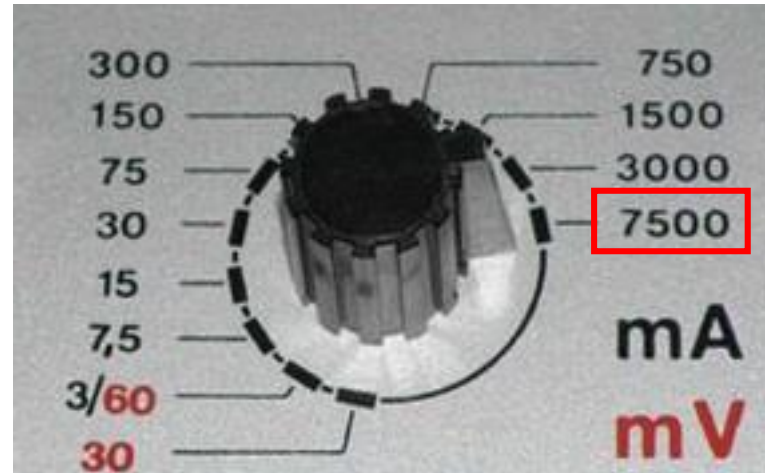
Liczba dziątek skali górnej: 75

Liczba dziątek skali dolnej: 60

$$\Delta I_{\max} = \Delta I'_{\max} + \Delta I''_{\max} = \frac{\textit{klasa} \times \textit{zakres}}{100} + \frac{\textit{zakres}}{\textit{liczba dziątek}}$$

NATĘŻENIE, NAPIĘCIE

Jak odczytujemy wynik pomiaru



NATĘŻENIE, NAPIĘCIE

Wynik odczytujemy ze skali górnej miernika.

Odczyt to 37 działek. Ustawiony zakres to 7500 mA.

Oznacza to, że na końcu skali mamy nie 75 mA, a 7500 mA

Zatem uzyskany wynik to 3700 mA czyli w jednostkach SI: 3,7 A

Klasa miernika: 0,5

Liczba działek skali górnej: 75

Niepewność pomiarowa bezwzględna pomiaru natężenia prądu przy powyższych ustawieniach miernika wyniesie:

$$\Delta I_{\max} = \Delta I'_{\max} + \Delta I''_{\max} = \frac{0,5 \times 7500 \times 10^{-3} \text{ A}}{100} + \frac{7500 \times 10^{-3} \text{ A}}{75}$$

Miernik cyfrowy

Wielozakresowe przeznaczone do pomiarów prądów i napięć stałych i zmiennych, oporów, pojemności, indukcyjności



$$\Delta I_{\max} = \Delta I'_{\max} + \Delta I''_{\max} = \frac{\textit{klasa} \times \textit{wart.mierz.}}{100} + \textit{dokładność odczytu}$$

Jak odczytujemy wynik pomiaru



Miernik ustawiony na pomiar napięcia (wciśnięty przycisk V)

Ustawiony zakres pomiarowy: 1V

Uzyskany wynik pomiaru: 0,0289 V

Dokładność odczytu przy tym ustawieniu wynosi więc 0,0001V

NATĘŻENIE, NAPIĘCIE

Klasa miernika V 560 przy pomiarze napięcia stałego wynosi 0,5

Niepewność pomiarowa bezwzględna pomiaru napięcia prądu przy powyższych ustawieniach miernika wyniesie:

$$\Delta U_{\max} = \Delta U'_{\max} + \Delta U''_{\max} = \frac{0,5 \times 0,0289V}{100} + 0,0001V$$

Klasy mierników cyfrowych używanych w Pracowniach Fizyki i Elektrotechniki PL WM

Typ miernika	Klasa miernika
V 534	Pomiar U: DC - 0,05
V 540	Pomiar U: DC - 0,05
V 541	Pomiar U: DC - 0,05; AC - 0,05
V 562	Pomiar U: DC - 0,5; AC - 1; I: DC - 0,5; AC - 1
DT 890 G	Pomiar U: DC - 0,5; AC - 1; I: DC - 0,8; AC - 2; R: 0,8
UT 801	Pomiar U: DC - 0,5; AC - 1; I: DC - 0,8; AC - 1; R: 0,8; C: 4
UT 803	Pomiar U: DC - 0,3; AC - 1; I: DC - 0,8; AC - 1; R: 0,5; C: 2
UT 70 A	Pomiar U: DC - 0,8; AC - 2; I: DC - 1,2; AC - 1; R: 1,0; C: 2,5; L: 2
V 628 W	Pomiar U: DC - 0,1
V 628 A	Pomiar I: DC - 0,1

OPÓR POJEMNOŚĆ INDUKCYJNOŚĆ DEKADOWA

$$\Delta R_{\max}, \Delta C_{\max}, \Delta L_{\max}$$



Niepewność wynikająca jedynie z klasy urządzenia.
Jest równa sumie niepewności pomiarowych
poszczególnych dekad (n jest niepewnością n-tej dekady)

OPÓR POJEMNOŚĆ INDUKCYJNOŚĆ DEKADOWA

Dla pojedynczej dekady:

$$\Delta R_{\max n} = \frac{\textit{klasa}\% \times \textit{nastawa} \Omega}{100\%}$$

np.: dla oporu $R = 850 \Omega$ niepewność pomiaru oporu wyniesie:

$$\Delta R_{\max} = \Delta R_{\max 1} + \Delta R_{\max 2}$$

$$\Delta R_{\max} = \frac{0,05\% \times 800\Omega}{100\%} + \frac{0,05\% \times 50\Omega}{100\%}$$

$$\Delta R_{\max} = 0,4\Omega + 0,025\Omega = 0,425 \Omega$$

JAK PODAJEMY WYNIK

Wszystkie wyniki podajemy w jednostkach układu SI (m, kg, A, K) pamiętając, że wartość obliczona i wartość niepewności pomiarowej muszą być tego samego rzędu:

$$\text{Jeżeli } \Delta l = 0,2 \text{ mm} = 0,2 \times 10^{-3} \text{ m}$$
$$\text{to } l = (86,8 \pm 0,2) \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Jeżeli } \Delta l = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$
$$\text{to } l = (87 \pm 2) \times 10^{-3} \text{ m}$$

OBLICZANIE NIEPEWNOŚCI POMIAROWEJ WIELKOŚCI WYZNACZANYCH POŚREDNIO

OBLICZANIE NIEPEWNOŚCI POMIAROWEJ WIELKOŚCI MIERZONYCH POŚREDNIO

Założmy, że wzór, z którego obliczamy szukaną wielkość fizyczną jest funkcją trzech zmiennych:

$$W = W(x, y, z)$$

Ilość zmiennych (wielkości mierzonych bezpośrednio) zależy od wybranego ćwiczenia laboratoryjnego i może być równa od jeden do pięciu. Naszym zadaniem jest obliczenie niepewności bezwzględnej maksymalnej, niepewności względnej maksymalnej, niepewności względnej maksymalnej procentowej oraz niepewności popełnionej dla dowolnie wybranego wyniku wyznaczanej wielkości fizycznej z grupy wyników pomiarowych. To, którą z niepewności: względną czy bezwzględną obliczamy jako pierwszą, zależy od wyboru metody analizy niepewności pomiarowej.

METODA SZACUNKOWA

Metoda szacunkowa polega na obliczeniu zmiany wartości funkcji W przy przyroście każdej z wielkości mierzonych bezpośrednio o wielkość jej niepewności pomiaru (np. $x + \Delta x_{\max}$)

Jako pierwszą obliczamy niepewność bezwzględną maksymalną:

$$\Delta W_{\max} = |W(x + \Delta x_{\max}, y, z) - W(x, y, z)|$$

$$+ |W(x, y + \Delta y_{\max}, z) - W(x, y, z)| + |W(x, y, z + \Delta z_{\max}) - W(x, y, z)|$$

gdzie poszczególne składniki odpowiadające każdej z wielkości mierzonych bezpośrednio obliczamy jako wartość bezwzględną różnicy między wartością wielkości W dla powiększonego argumentu x , y albo z a wielkością W dla wartości zmierzonych.

METODA SZACUNKOWA

Następnie obliczamy niepewność względną maksymalną:

$$\delta W_{\max} = \frac{\Delta W_{\max}}{W_{\text{obliczona}}}$$

oraz niepewność względną maksymalną procentową:

$$\delta W_{\max} \% = \frac{\Delta W_{\max}}{W_{\text{obliczona}}} \cdot 100\%$$

METODA RÓŻNICZKOWA

W metodzie różniczkowej jest wygodniej, jeśli jako pierwszą obliczamy niepewność względną maksymalną:

$$\delta W_{\max} = \frac{\Delta W_{\max}}{W} = \left| \frac{\partial W}{\partial x} \right| \cdot \frac{\Delta x_{\max}}{W} + \left| \frac{\partial W}{\partial y} \right| \cdot \frac{\Delta y_{\max}}{W} + \left| \frac{\partial W}{\partial z} \right| \cdot \frac{\Delta z_{\max}}{W}$$

gdzie poszczególne składniki we wzorze są równe wartości bezwzględnej z pochodnej cząstkowej wzoru W po kolejnej zmiennej (wielkości mierzonej) pomnożonej przez iloraz niepewności bezwzględnej maksymalnej tej wielkości i wzoru W , z którego obliczamy szukaną wielkość fizyczną.

METODA RÓŻNICZKOWA

Otrzymaną niepewność względną maksymalną wyrazimy w procentach:

$$\delta W_{\max} \% = \delta W_{\max} \cdot 100\%$$

Następnie obliczmy niepewność bezwzględną maksymalną:

$$\Delta W_{\max} = \delta W_{\max} \cdot W_{\text{obliczona}}$$

Niezależnie od wyboru metody analizy niepewności pomiarowej obliczamy jeszcze niepewność pomiarową zupełną:

$$\Delta W_{\text{pełniona}} = \left| W_{\text{zmiierzona}} - W_{\text{średnia}} \right|$$

gdzie $W_{\text{zmiierzona}}$ jest największym odchyleniem od wartości średniej wielkości mierzonej

Na koniec sprawdzamy warunek:

$$\Delta W_{\max} \geq \Delta W_{\text{popętniona}}$$

Podajemy ostateczny wynik:

$$W = (W_{\text{obliczona}} \pm \Delta W_{\max}) \text{ jednostka}$$

METODA GAUSSA

W niektórych doświadczeniach pomiar wielkości fizycznej (umownie oznaczonej przez x) nie daje tej samej wartości dla kolejnych powtórzeń pomiaru, a wartości mogą nawet wykraczać poza dokładność wskazań przyrządu pomiarowego. Ocenę niepewności pomiarowej wielkości mierzonej przeprowadzamy metodą Gaussa. Należy w tym celu dużą liczbę pomiarów. Dane wpisujemy do tabeli:

l.p.	x	\bar{x}	$x - \bar{x}$	$(x - \bar{x})^2$	σ_x	$3\sigma_x$	$\sigma_{\bar{x}}$
1							
2							
3							
n							
				$\sum_{i=1}^n =$	$\sum_{i=1}^n =$		

METODA GAUSSA

Miarą rozrzutu punktów pomiarowych wielkości x jest odchylenie standardowe:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

gdzie x_i oznacza i -ty wynik pomiaru, a $x_{\text{śr}}$ ich średnią arytmetyczną. W przedziale $\langle x_{\text{śr}} - \sigma_{x_i}, x_{\text{śr}} + \sigma_{x_i} \rangle$ leży około 68,3% wszystkich wyników pomiarów, natomiast w przedziale trzykrotnie większym, tzn. wewnątrz $\langle x_{\text{śr}} - 3\sigma_{x_i}, x_{\text{śr}} + 3\sigma_{x_i} \rangle$ leży ich aż 99,7% (399 na 400 pomiarów), czyli w praktyce wszystkie wyniki poprawnie wykonanych pomiarów.

METODA GAUSSA

Dodatkowo obliczamy odchylenie standardowe wartości średniej:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Sprawdzamy czy kryterium 3σ jest spełnione:

$$|x - \bar{x}| < 3\sigma_x$$

Gdy kryterium 3σ jest spełnione więc ostatecznie możemy zapisać:

$$x = \bar{x} \pm \sigma_x = (\dots \pm \dots) \text{ jednostka}$$

$$x = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}} = (\dots \pm \dots) \text{ jednostka}$$

METODA NAJMNIEJSZYCH KWADRATÓW

Metodę najmniejszych kwadratów stosujemy w przypadku kiedy jedna wielkość mierzona (y) jest funkcją innej mierzonej wielkości (x) przy równoległym pomiarze obydwu wielkości.

Założmy, że mamy funkcję:

$$f(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i (ax_i + b - y_i)^2$$

w_i jest wagą statystyczną pomiaru, którą przyjmujemy za $=1$ jeżeli wszystkie pomiary są jednakowo dokładne.

METODA NAJMNIEJSZYCH KWADRATÓW

W ogólności dla pojedynczego pomiaru:

$$w_i = \sqrt{n_i}$$

Funkcja $f(a,b)$ osiąga minimum jeżeli: $\frac{\partial f}{\partial a} = 0$ i $\frac{\partial f}{\partial b} = 0$

Układ ten można rozwiązać przy pomocy wyznaczników Cramera:

$$a = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i y_i \\ \sum_{i=1}^n w_i x_i \sum_{i=1}^n w_i x_i y_i \end{vmatrix}}{\Delta} \quad b = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n w_i y_i \sum_{i=1}^n w_i x_i \\ \sum_{i=1}^n w_i x_i y_i \sum_{i=1}^n w_i x_i^2 \end{vmatrix}}{\Delta} \quad \Delta = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i x_i \\ \sum_{i=1}^n w_i x_i \sum_{i=1}^n w_i x_i^2 \end{vmatrix}$$

METODA NAJMNIEJSZYCH KWADRATÓW

Błędy, którymi obarczone są wielkości a i b obliczamy stosując średnie odchylenia standardowe: $\sigma_a = \Delta a$ i $\sigma_b = \Delta b$

$$\Delta a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i (ax_i + b - y_i)^2}{\Delta(n-2)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \sum_{i=1}^n w_i (y_i' - y_i)^2}{\Delta(n-2)}}$$

$$\Delta b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i^2 \sum_{i=1}^n w_i (ax_i + b - y_i)^2}{\Delta(n-2)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i^2 \sum_{i=1}^n w_i (y_i' - y_i)^2}{\Delta(n-2)}}$$

gdzie: $y_i' = ax_i + b$



METODA NAJMNIEJSZYCH KWADRATÓW

Dane wpisujemy do tabeli:

L.p.	x_i	y_i	y'_i	$y = (y'_i - y_i)$	y^2	x_i^2	$x_i y_i$	w_i	a	b
1.										
2.										
n.										
	$\sum_{i=1}^n =$	$\sum_{i=1}^n =$			$\sum_{i=1}^n =$	$\sum_{i=1}^n =$	$\sum_{i=1}^n =$	$\sum_{i=1}^n =$		

Ostatecznie zapisujemy:

$$y = (a \pm \Delta a)x + (b \pm \Delta b)$$

SPIS ĆWICZEŃ

Nr ćwiczenia	Temat ćwiczenia
1	Wyznaczanie gęstości ciał stałych i cieczy. >>
3	Wyznaczanie modułu Younga metodą jednostronnego rozciągania. >>
4	Wyznaczanie modułu Younga z ugięcia. >>
5	Wyznaczanie współczynnika sprężystości przy pomocy wahadła sprężynowego. >>
6	Wyznaczanie przyspieszenia ziemskiego przy pomocy wahadła prostego. >>
9	Sprawdzanie drugiej zasady dynamiki ruchu obrotowego. >>
10	Wyznaczanie momentu bezwładności brył nieregularnych. >>
12	Wyznaczanie współczynnika lepkości dynamicznej metodą Stokes'a. >>
16	Skalowanie mikroskopu i pomiar małych przedmiotów. >>
18	Wyznaczanie długości fal świetlnych diody laserowej przy pomocy siatki dyfrakcyjnej. >>
19	Wyznaczanie stałej siatki dyfrakcyjnej. >>
20	Wyznaczanie współczynnika załamania światła z pomiarów kąta załamania i kąta granicznego. >>
22	Pomiary oporu przewodników na podstawie prawa Ohma. >>
23	Wyznaczanie oporu elektrycznego metodą mostka Wheatstone'a. >>
24	Pomiar współczynnika temperaturowego oporu metali. >>
25	Pomiar SEM ogniwa metodą kompensacji. >>
26	Wyznaczanie SEM ogniwa na podstawie prawa Ohma dla obwodu zamkniętego. >>
28	Wyznaczanie równoważników elektrochemicznych metali, stałej Faraday'a i ładunku elementarnego. >>
33	Pomiar ładunku właściwego elektronu metodą pól skrzyżowanych. >>

JAK RYSOWAĆ WYKRESY

LABORATORIUM Z FIZYKI

