I Pracownia Fizyczna

CHEMIA C

poniedziałek, 12:00-14:45

Prowadzący & kalendarz

dr hab. Joanna Raczkowska – tutor

joanna.raczkowska@uj.edu.pl

dr Mateusz Wróbel

mgr Szymon Parzych

mgr Anna Cieślik

Janusz Konarski

Andrzej Barecki

lp.	data		ćwiczenia
1.	**26 II**	**Zebranie organizacyjne**	**0**
2.	**4 III**		**1**
3.	**11 III**		**2**
4.	**18 III**		**3**
5.	**25 III**		**4**
	1 IV	**Wielkanoc**	
6.	**8 IV**		**5**
7.	**15 IV**		**6**
8.	**22 IV**	**Pracownia buforowa**	**7**
9.	**29 IV**	**Pracownia buforowa**	**8**
10.	**6 V**		
11.	**13 V**		
12.	**20 V**		
13.	**27 V**	**Ostateczny termin zaliczenia sprawozdań**	
14.	**3 VI**		
15.	**10 VI**		
16.	**17 VI**	**Sesja egzaminacyjna**	

Przed pierwszymi zajęciami – obowiązkowa ankieta, z potwierdzeniem zapoznania się z regułami obowiązującymi na IPF:

- Regulamin BHP
- Regulamin IPF UJ
- Wymagania etyczno-moralne

Wszystkie informacje – strona IPF

BHP

regulamin IPF

BIOCHEMIA

BIOFIZYKA

BIOTECHNOLOGIA

CHEMIA A

CHEMIA B

FIZYKA A

FIZYKA B

FIZYKA DLA FIRM

FACEBOOK

CHEMIA A - dr hab. Joanna Raczkowska prof. UJ

Proszę uważnie czytać wszystkie wiadomości e-mail i komunikaty na stronie Pracowni.

Spotkanie organizacyjne - *pdf.*

Przydział ćwiczeń dla **asystentów** w semestrze letnim 2022/2023r.

Przydział ćwiczeń dla **studentów** CHEMII grupa **A** w semestrze letnim 2022/2023r.

Aktualizacja na dzień:

Lista wykonywanych ćwiczeń:

C-1 Cechowanie termopary i termistora.

C-4 Wyznaczanie ciepła topnienia lodu.

E-3 Temperaturowa zależność oporu przewodników.

M-16 Pomiar współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa.

M-21 Badanie drgań wahadeł sprzężonych.

O-2 Wyznaczanie ogniskowej oraz badanie wad soczewek przy użyciu ławy optycznej.

O-7 Badanie skręcenia płaszczyzny polaryzacji światła w wodnych roztworach sacharozy za pomocą polarymetru Laurent'a.

O-10 Badanie widm emisyjnych za pomocą spektroskopu pryzmatycznego.

Przebieg ćwiczenia

Do Pracowni należy przyjść punktualnie. Kurtki i duże torby należy zostawić w szatni.

Należy posiadać:

- zeszyt laboratoryjny,
- plan pracy na piśmie.

Dopuszczenie do wykonywania ćwiczenia na podstawie (pisemnego) kolokwium (10-15 min.)

Przygotowanie stanowiska do wykonania pomiarów, w tym wypożyczenie wyposażenia dodatkowego np. suwmiarka, stoper, mierniki uniwersalne…

urządzenia elektryczne i zbudowane własnoręcznie obwody elektryczne student włącza do sieci <u>tylko w obecności i za zgodą asystenta</u>

Przystąpienie do wykonania pomiarów.
Wyniki pomiarów należy zapisywać w zeszycie laboratoryjnym.

Opuszczenie terenu Pracowni w czasie trwania zajęć jest dozwolone tylko za zgodą asystenta

Po zakończeniu pomiarów należy:

- oddać wypożyczone przyrządy,
- uporządkować stanowisko pracy,
- **uzyskać podpis asystenta pod protokołem pomiarowym**.

Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Część teoretyczną prezentującą w zwięzły sposób wszystkie zagadnienia teoretyczne niezbędne do wykonania ćwiczenia, w szczególności wzory, które będą wykorzystywane do analizy uzyskanych danych
- Cel ćwiczenia
- Opis metody pomiarowej
- Zestawienie oryginalnych danych uzyskanych podczas wykonywania ćwiczenia **(+ kopia zeszytu laboratoryjnego – OBOWIĄZKOWO!**)
- Wszystkie etapy opracowania danych oraz ilościowej analizy niepewności pomiarowych, przedstawione w sposób czytelny
- Podsumowanie i dyskusję uzyskanych wyników, w tym ich porównanie z przewidywaniami lub danymi literaturowymi
- Spis literatury

PLAGIAT

Żadna część sprawozdania nie może być kopią dostępnych dokumentów (publikacje, książki, Internet); Jeśli pojawi się absolutna konieczność skopiowania np. grafiki, należy obowiązkowo podać pełny odnośnik do źródła.

Zaliczenia

Zaliczenie ćwiczenia:

- Wykonanie ćwiczenia
- Oddanie sprawozdania – w formacie pdf (*Nazwisko_symbol.pdf*), na adres asystenta prowadzącego ćwiczenie, w ciągu **tygodnia** od jego wykonania
- Max. 2 spóźnienia (każde – 0.5 oceny)
- 3 spóźnienie – brak zaliczenia ćwiczenia (ocena 0.0)
- Poprawa zgodnie z uwagami asystenta (w razie kłopotów – konsultacje) w ciągu tygodnia
- W przypadku nie oddania poprawy po 2 tygodniach asystent wpisuje ocenę na podstawie wersji pierwotnej sprawozdania (nawet jeśli jest to 2.0)
- Ocena za ćwiczenie uwzględnia kolokwium, pracę laboratoryjną oraz sprawozdanie.

Zaliczenie IPF:

- Średnia arytmetyczna wszystkich ocen (z uwzględnieniem spóźnień);
- Aby zaliczyć IPF średnia musi być wyższa niż 3.0!

Podstawy analizy niepewności pomiarowych (I Pracownia Fizyki)

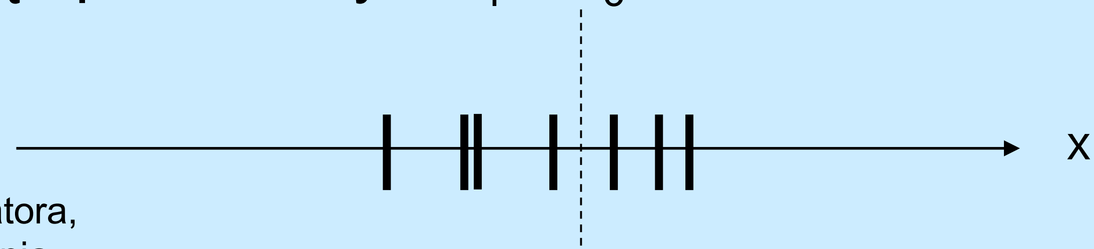
Autor: dr hab. Piotr Cyganik

Co to jest błąd pomiarowy?

wynik pomiaru   wartość prawdziwa

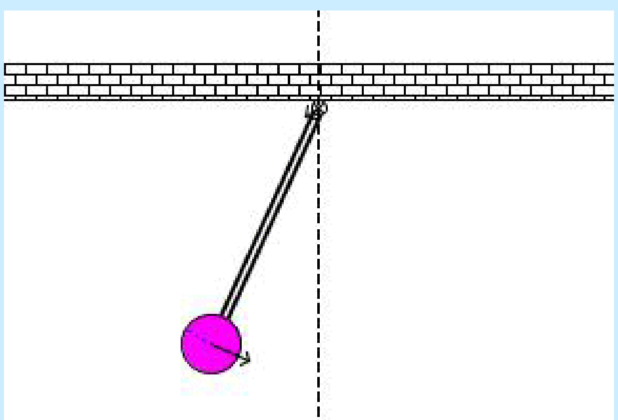
$$\text{Błąd pomiarowy} = x_i - x_0$$

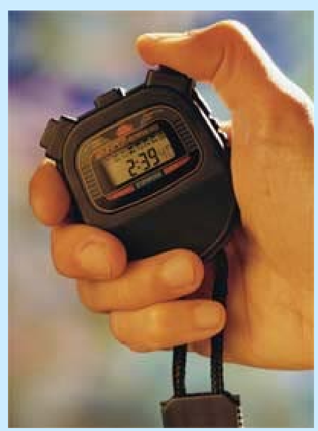
a) <u>błąd przypadkowy</u>



nie skorelowane błędy eksperymentatora,
szumy układu pomiarowego, zakłócenia

Przykład: Pomiar okresu drgań wahadła za pomocą stopera





Dokładność pomiaru stopera
0.01 s

Czas reakcji człowieka
~0.2 s
(ma charakter przypadkowy)

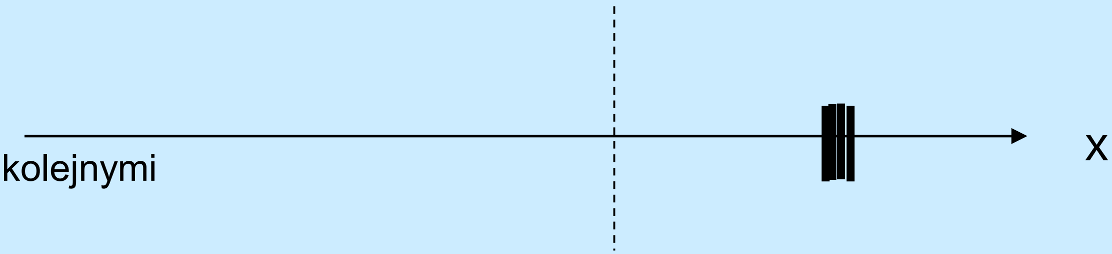
Co to jest błąd pomiarowy?

wynik pomiaru   wartość prawdziwa

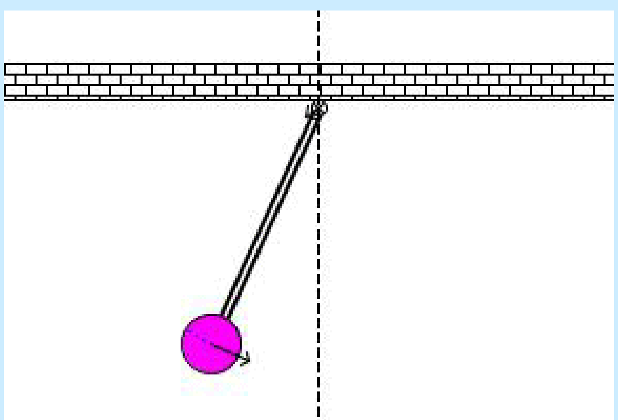
$$\text{Błąd pomiarowy} = x_i - x_0$$

b) <u>błąd systematyczny</u>

Systematyczna różnica pomiędzy kolejnymi pomiarami a wartością prawdziwą



Przykład: Pomiar okresu drgań wahadła za pomocą sekundnika



Dokładność pomiaru sekundnika
1 s
(mała dokładność podziałki czasu
da wyraźne i systematyczne przesuniecie
wyniku w stosunku do wartości prawdziwej)

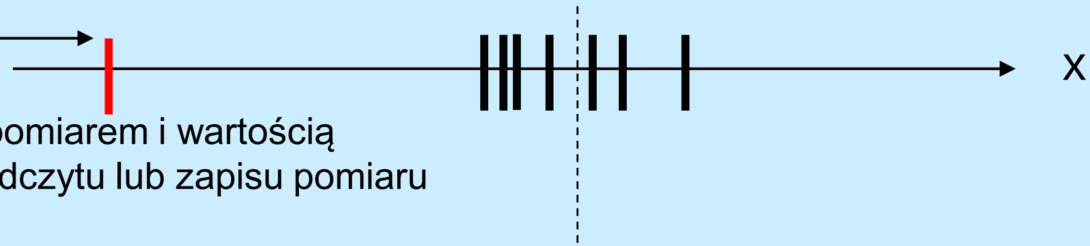
Czas reakcji człowieka
~0.2 s

Co to jest błąd pomiarowy?

wynik pomiaru   wartość prawdziwa

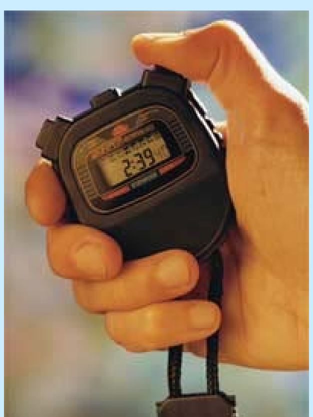
Błąd pomiarowy = $x_i - x_0$

c) <u>błąd gruby</u>



Drastycznie duża różnica pomiędzy pomiarem i wartością prawdziwą wynikająca np. ze złego odczytu lub zapisu pomiaru

Przykład: Pomiar czasu za pomocą stopera



Odczyt 239 s. zamiast 2 min. 39 s.

Co to jest niepewność pomiaru ?

„Wyrażanie Niepewności Pomiaru. Przewodnik”. Warszawa, Główny Urząd Miar 1999.

*Niepewność pomiaru jest związanym z rezultatem pomiaru **parametrem, charakteryzującym rozrzut wyników**, który można w uzasadniony sposób przypisać wartości mierzonej.*

Mamy dwa generalne podejścia do oceny niepewności pomiarowych

TYP A
Podejście statystyczne

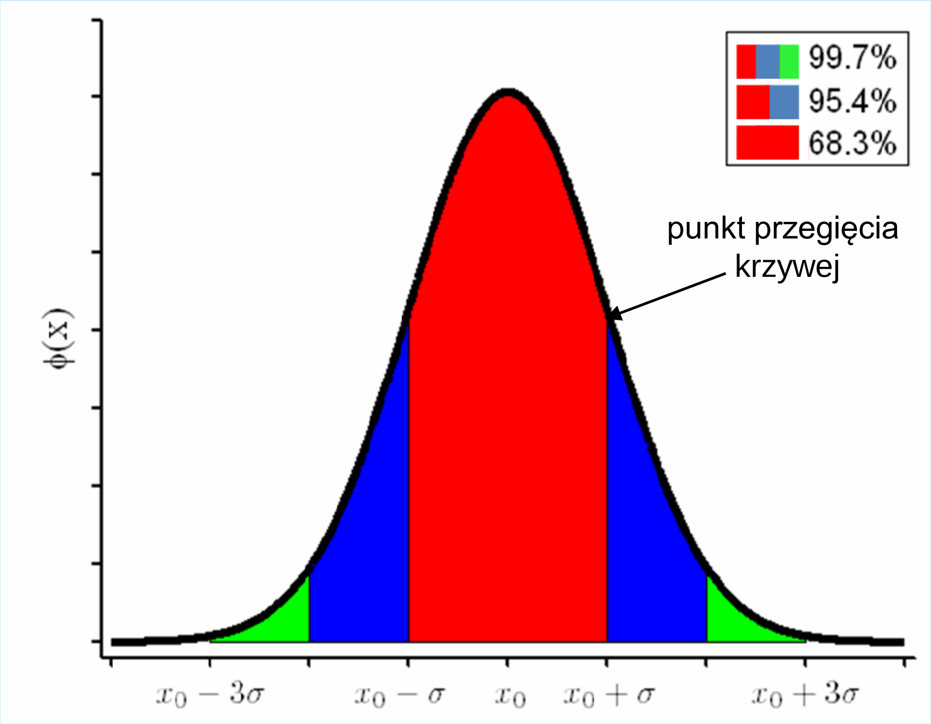
statystyczna analiza danych pomiarowych stosujemy do błędów przypadkowych i odpowiednio dużej liczby pomiarów

TYP B
Podejście deterministyczne

w przypadku braku możliwości statystycznej analizy danych wykonujemy pewne oszacowanie - stosujemy do błędów systematycznych i pojedynczych pomiarów

Typ A: Statystyczna analiza danych pomiarowych

Niepewności przypadkowe opisane są rozkładem prawdopodobieństwa typu Gaussa (normalnym).



$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} exp\left(-\frac{(x - x_0)^2}{2\sigma^2}\right)$$

to jest rozkład w postaci unormowanej

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x)dx = 1$$

x – wartość mierzona

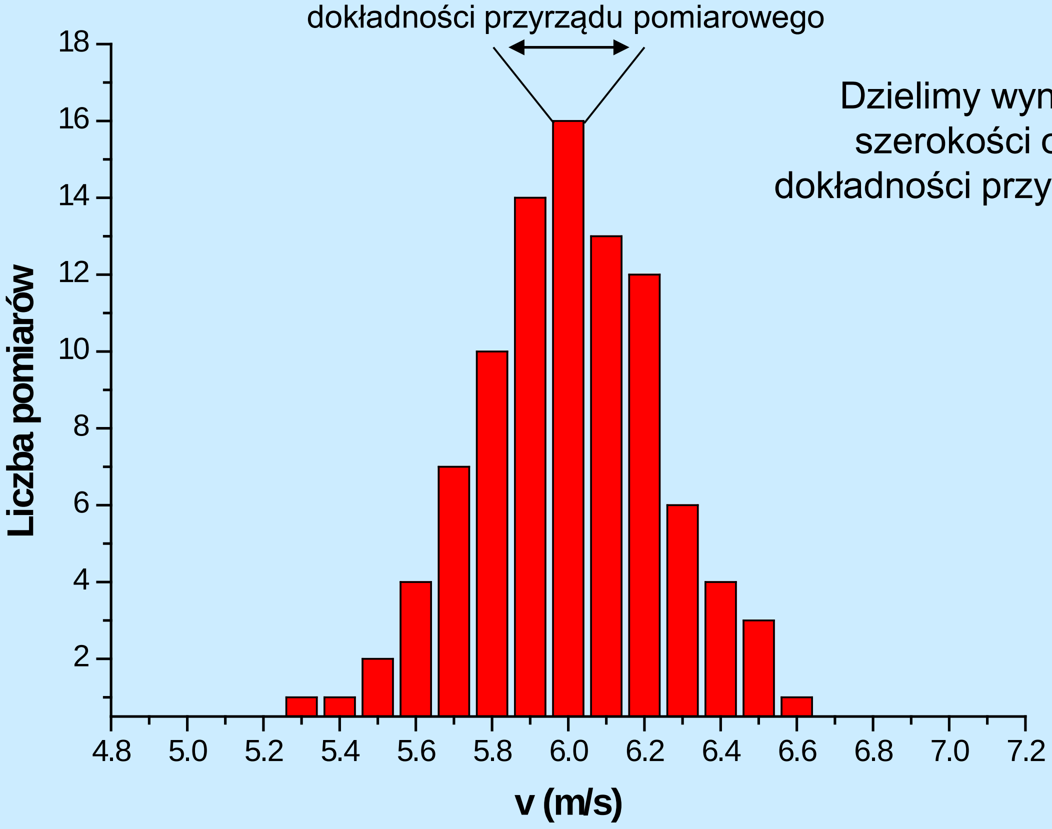
x_0 – wartość oczekiwana

σ– odchylenie standardowe (miara niepewności pojedynczego pomiaru)

Ponieważ w praktyce laboratoryjnej wykonujemy zawsze skończoną liczbę pomiarów to parametry rozkładu Gaussa możemy jedynie estymować !

Typ A: Statystyczna analiza danych pomiarowych

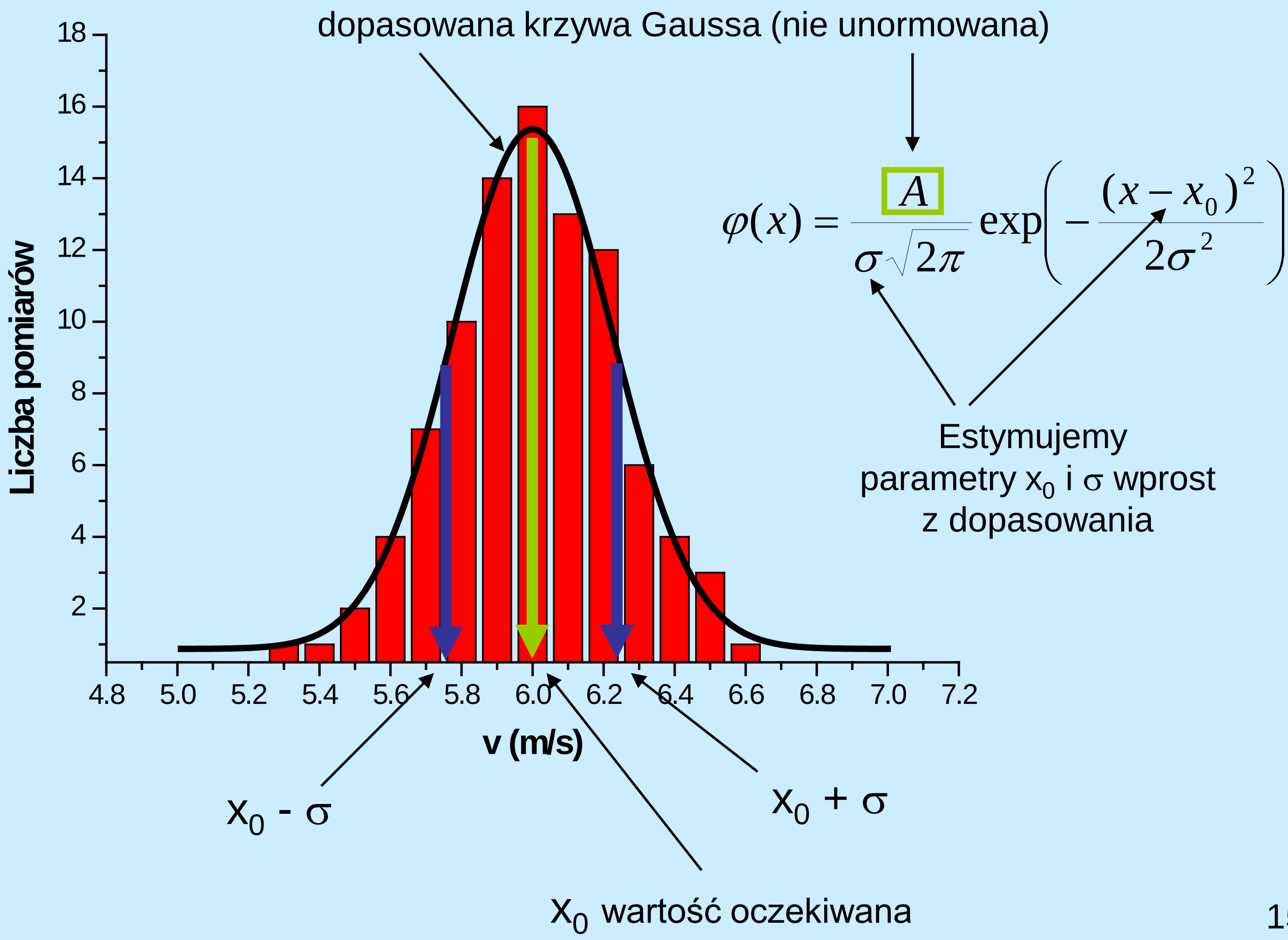
Przykład: analiza 94 wyników (duża statystyka!) pomiaru prędkości rowerzysty w postaci histogramu



Dzielimy wyniki na przedziały szerokości odpowiadającej dokładności przyrządu pomiarowego

Typ A: Statystyczna analiza danych pomiarowych

Przykład: analiza 94 wyników (duża statystyka!) pomiaru prędkości rowerzysty w postaci histogramu



Typ A: Statystyczna analiza danych pomiarowych

Dla mniejszych statystyk (np. 10-30 pomiarów) nie jesteśmy w stanie dopasować rozkładu Gaussa i uzyskać w ten sposób oszacowanie parametrów x_0 i σ.
Możemy jednak zawsze posłużyć się następującymi przybliżeniami tych wartości:

Estymatorem wielkości oczekiwanej x_0 jest średnia arytmetyczna:

$$x_0 \longrightarrow \bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

Miarą niepewności pojedynczego pomiaru jest jego odchylenie od wartości średniej (estymator odchylenia standardowego):

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

Typ A: Statystyczna analiza danych pomiarowych

Estymatorem niepewności wyniku pomiaru jest odchylenie standardowe średniej arytmetycznej:

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

wielkość $S_{\bar{x}}$ można zmniejszać zwiększając liczbę pomiarów !!!

Tak obliczoną niepewność interpretujemy następująco: wykonując kolejną serie *n* pomiarów i obliczając średnią wartość wielkości x, możemy tę wartość znaleźć w przedziale

$\langle \bar{x} - S_{\bar{x}}, \bar{x} + S_{\bar{x}} \rangle$ z prawdopodobieństwem 0.683.

<u>Interpretacja taka jest równoznaczna ze stwierdzeniem, że wartość rzeczywista mierzonej wielkości x mieści się w tym przedziale z prawdopodobieństwem 0.683.</u>

Typ A: Statystyczna analiza danych pomiarowych

Dla bardzo małych serii pomiarowych ≤ 10 odchylenie standardowe średniej arytmetycznej daje zaniżoną wartość niepewności wyniku:

$$S_{\bar{x}} \rightarrow t_{n,\propto} S_{\bar{x}}$$

Ten poziom ufności stosujemy
w analizie pomiarów I prac.

n	α=0.68 28	α=0.95	α=0.99
2	1.837	12.706	63.657
3	1.321	4.303	9.926
4	1.197	3.182	5.841
5	1.141	2.776	4.604
6	1.11	2.58	4.032
7	1.09	2.447	3.707
8	1.077	2.365	3.5
9	1.066	2.306	3.355
10	1.059	2.252	3.25

$t_{n,\alpha}$ -współczynnik Studenta

n - liczba pomiarów

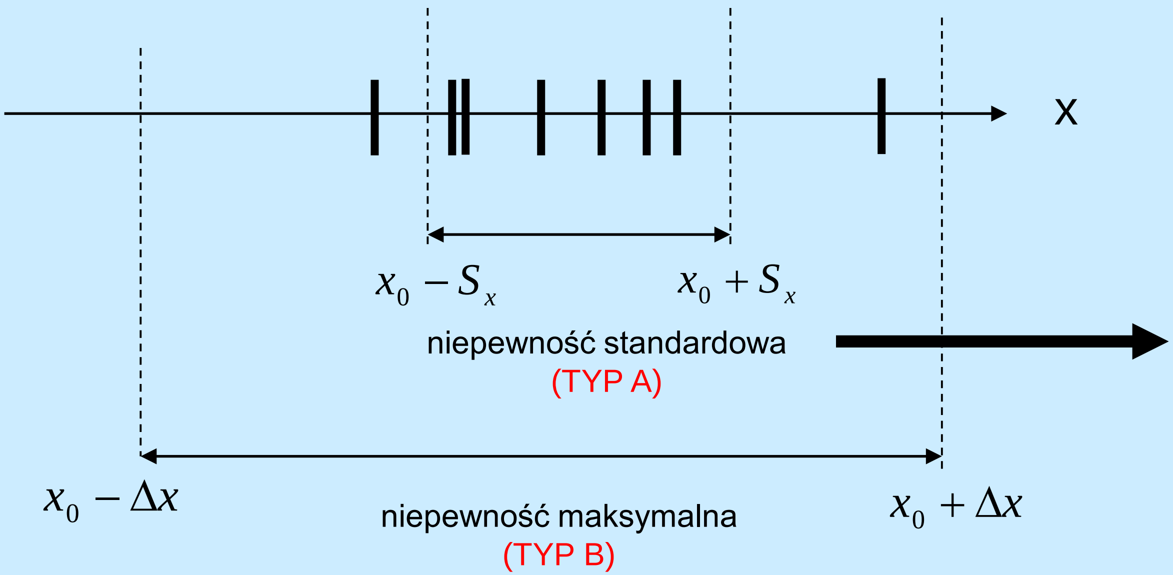
α - poziom ufności
prawdopodobieństwo z jakim
wyznaczony przedział

$$\left\langle \bar{x} - t_{n,\alpha} S_{\bar{x}}, \bar{x} + t_{n,\alpha} S_{\bar{x}} \right\rangle$$

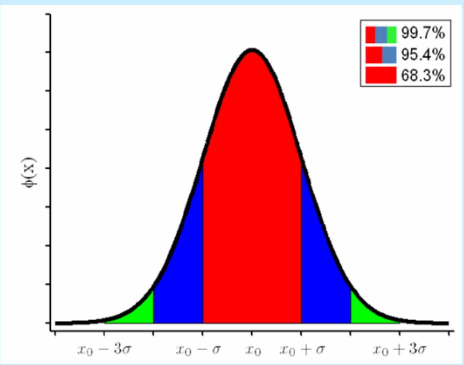
zawiera wartość rzeczywistą mierzonej wielkości

Typ B: Brak możliwości statystycznej analizy danych

Dla błędów systematycznych lub pojedynczych pomiarów możemy stosować niepewność maksymalną (nazywaną także graniczną)

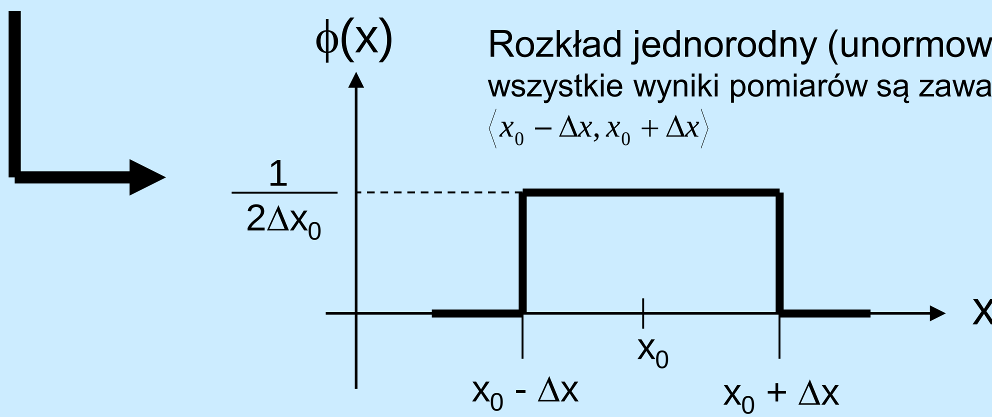


Rozkład Gaussa



Rozkład jednorodny (unormowany)

wszystkie wyniki pomiarów są zawarte w przedziale $\langle x_0 - \Delta x, x_0 + \Delta x \rangle$



Całkowita niepewność pomiarowa (Typ A + Typ B)

Całkowita niepewność pomiarowa zawiera zarówno niepewności przypadkowe jak i niepewności systematyczne.
Mamy dwa możliwe podejścia:

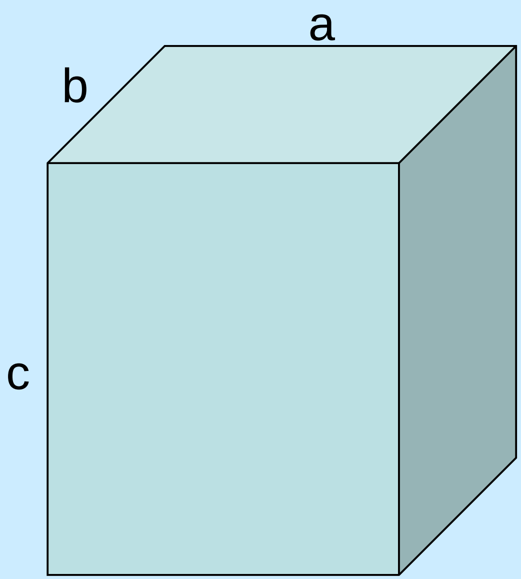
Włączenie niepewności maksymalnej do analizy statystycznej

$$\overline{S}_x = \sqrt{S_{\bar{x}}^{\,2} + \frac{1}{3}(\Delta x)^2}$$

Włączenie niepewności standardowej do analizy deterministycznej

$$\Delta x_{MAX} = \Delta x + 3S_{\bar{x}}$$

Pomiar bezpośredni i pośredni



Prosty przykład:

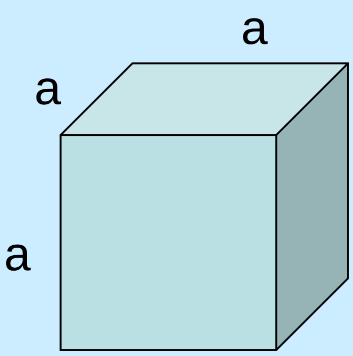
Obiekt pomiaru – prostopadłościan (a, b, c)

Pomiar bezpośredni:
pomiar wysokości (c)
prostopadłościanu

Pomiar pośredni:
pomiar objętości
prostopadłościanu
$V = abc$

Niepewność w pomiarach pośrednich – propagacja błędów statystycznych.

Prosty przykład:



Jaki jest błąd pomiaru objętości V sześcianu jeśli ustaliliśmy, że błąd pomiaru długości $a = \overline{x}$ wynosi Δx?

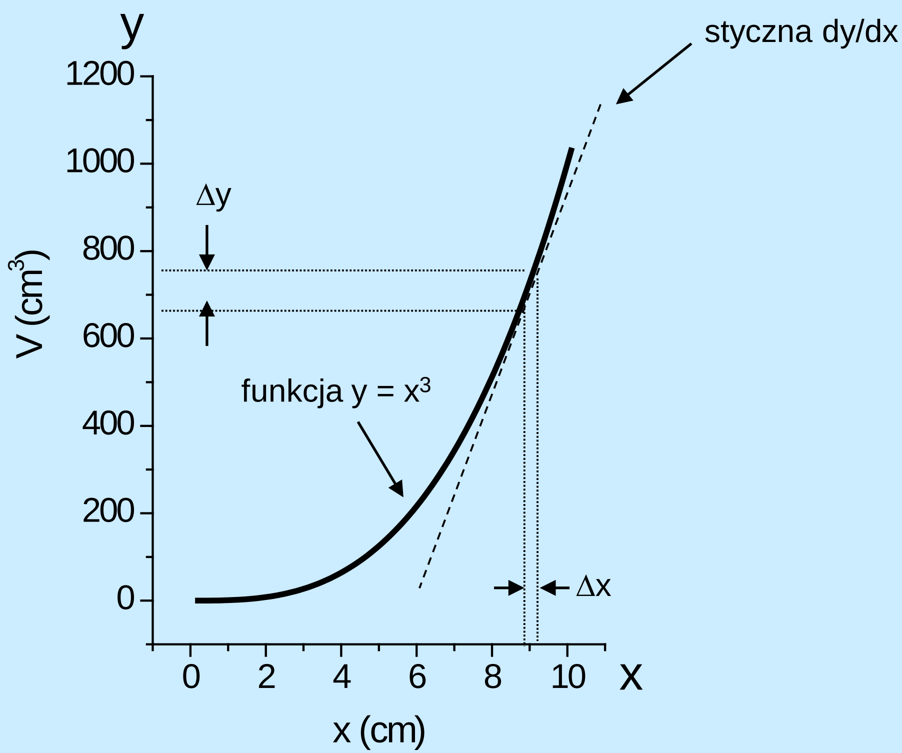
$$a \longrightarrow \overline{x}$$

$$V \longrightarrow \overline{y}$$

$$y = f(x) = x^3$$

$$V = \overline{y} = f(\overline{x}) = \overline{x}^3$$

$$\Delta y = \left|\frac{dy}{dx}\right| \Delta x$$



Niepewność w pomiarach pośrednich – propagacja błędów statystycznych.

Ogólna postać niepewności dla funkcji wielu zmiennych

TYP B Podejście deterministyczne	TYP A Podejście statystyczne

TYP B — Podejście deterministyczne

$$y = f(x_1, x_2, \ldots x_n)$$

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots \bar{x}_n)$$

$$\Delta y = \left|\frac{\partial f}{\partial x_1}\Delta x_1\right| + \left|\frac{\partial f}{\partial x_2}\Delta x_2\right| + \ldots + \left|\frac{\partial f}{\partial x_n}\Delta x_n\right|$$

TYP A — Podejście statystyczne

$$y = f(x_1, x_2, \ldots x_n)$$

$$\bar{y} = f(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots \bar{x}_n)$$

$$S_{\bar{y}} = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} S_{\bar{x}_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} S_{\bar{x}_2}\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} S_{\bar{x}_n}\right)^2}$$

Zapis niepewności

•Podaje się tylko **dwie cyfry znaczące** estymatora niepewności . Liczymy co najmniej trzy i zaokrąglamy zawsze do góry.

•Wynik pomiaru obliczamy o co najmniej jedno miejsce dziesiętne dalej niż miejsce dziesiętne, na którym zaokrąglono błąd, a następnie zaokrąglamy wg. normalnych reguł do tego samego miejsca dziesiętnego, do którego zaokrąglono błąd.

Notatki

$$\bar{g} = 9.8145467 \frac{m}{s^2} \quad S_{\bar{g}} = 0.21434 \frac{m}{s^2}$$

Sprawozdanie

$$\bar{g} = 9.81 \frac{m}{s^2} \quad S_{\bar{g}} = 0.22 \frac{m}{s^2}$$

Zapis nieprawidłowy

$$\bar{g} = 9.814 \frac{m}{s^2} \quad S_{\bar{g}} = 0.22 \frac{m}{s^2}$$

$$\bar{g} = 9.81 \frac{m}{s^2} \quad S_{\bar{g}} = 0.214 \frac{m}{s^2}$$

Niepewność bezwzględna, względna i procentowa ?

$$x \pm \Delta x$$ niepewność bezwzględna

$$\frac{\Delta x}{|x|}$$ niepewność względna

$$\frac{\Delta x}{|x|} \cdot 100\%$$ niepewność procentowa

Porównywanie wyników

1) porównanie z wielkością tablicową

warunek zgodności $$|\bar{x} - x_{tab}| < kS_{\bar{x}}$$

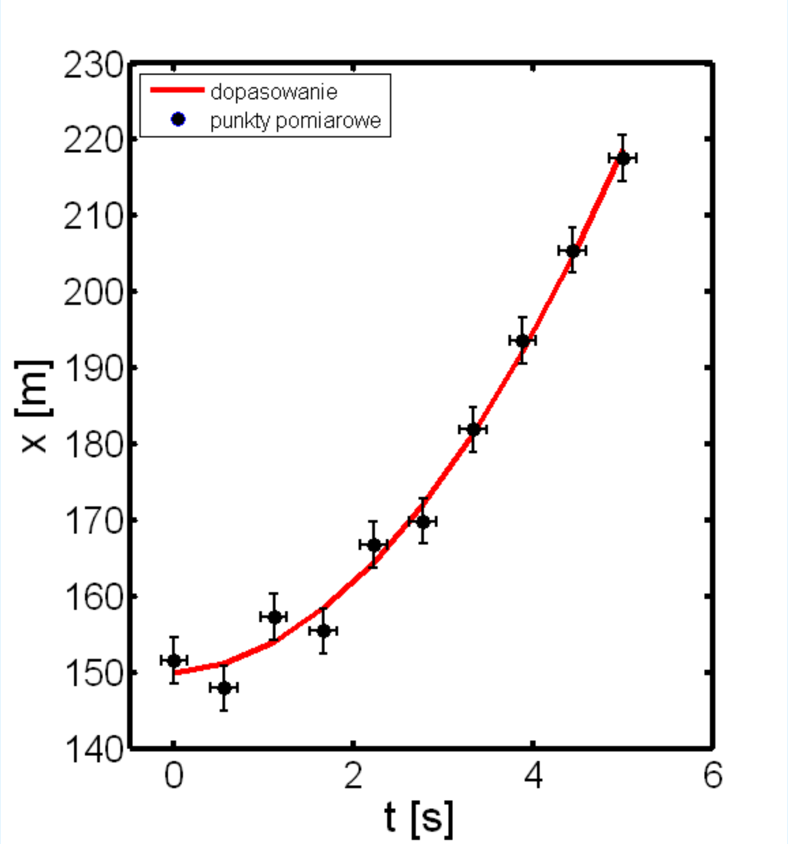
gdzie $k = 2$ *wg. ISO*

2) porównanie dwóch zmierzonych wielkości

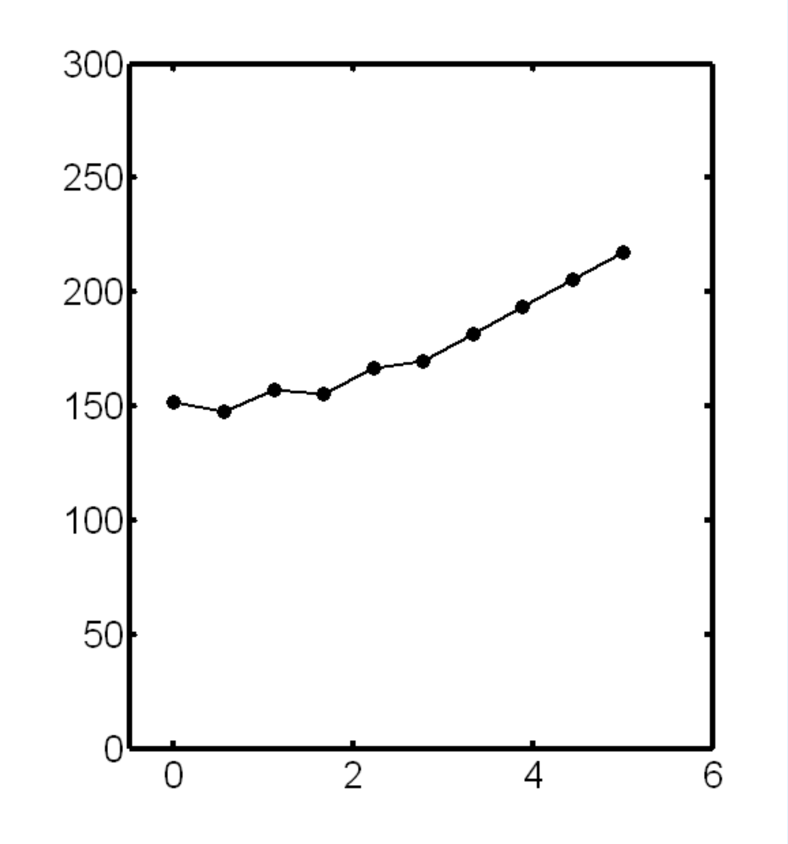
warunek zgodności $$|\bar{x}_A - \bar{x}_B| < k\sqrt{S_{\bar{x}_A}^2 + S_{\bar{x}_B}^2}$$

Rysowanie wykresów

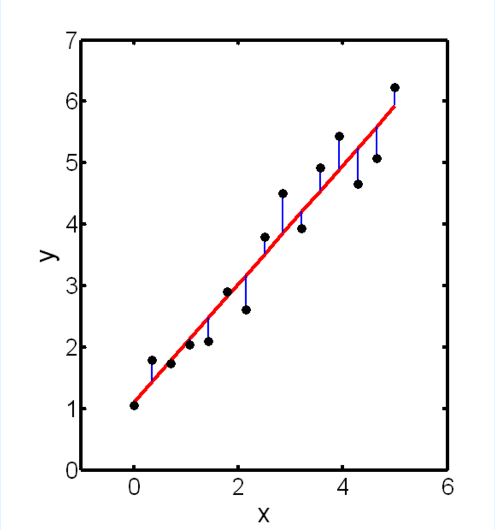
Poprawnie



Błędnie



Regresja liniowa – dopasowywanie prostej do zbioru punktów doświadczalnych



Problem:
poprowadzenie prostej $y = a \cdot x + b$ jak najlepiej dopasowanej do zbioru punktów doświadczalnych (y_1x_1, y_2x_2, …,y_nx_n) i znalezienie parametrów a i b oraz ich niepewności (S_a i S_b).

Metoda analityczna:
Metoda najmniejszych kwadratów polegająca na takim doborze parametrów a i b aby zminimalizować sumę kwadratu różnicy pomiędzy odciętą punktu pomiarowego i odpowiadającym mu punktem dopasowywanej prostej.

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

$$\bar{a} = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{C} \qquad S_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{n}{n-2}\cdot\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \bar{a}\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \bar{b}\sum_{i=1}^{n} y_i}{C}}$$

$$\bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i - \bar{a}\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad S_{\bar{b}} = S_{\bar{a}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n}}$$

gdzie

$$C = n\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2 \qquad D = n\sum_{i=1}^{n} y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)^2$$

Współczynnik korelacji

$$r = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{i=1}^{n} y_i}{\sqrt{CD}}$$

$$|r| \le 1$$

im r bliższe 1 tym lepsze dopasowanie !

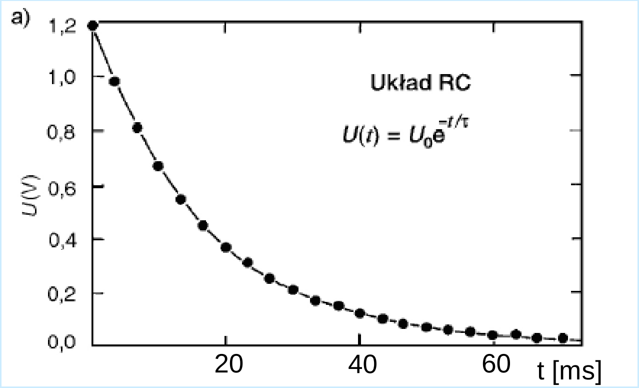
Liczymy używając odpowiedniego oprogramowania

Regresja liniowa – linearyzacja nieliniowych zależności funkcyjnych.

Przykład:
Zmiana napięcia w czasie w trakcie rozładowywania kondensatora

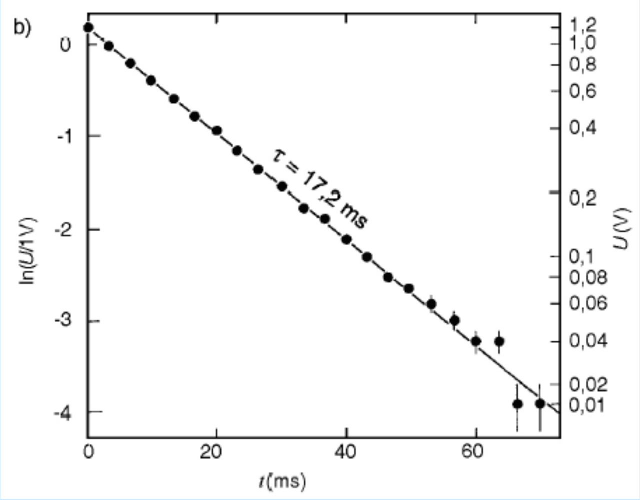
$$U(t) = U_0\exp(-t/\tau)$$

A.Zięba, Pracownia Fizyczna WFiTJ, 2002



$$\ln(U) = \ln U_0 - t/\tau$$

$$y = b + a\cdot x$$



Kilka praktycznych uwag - podsumowanie:

1. Przed przystąpieniem do analizy błędów proszę zastanowić się jakiego rodzaju błędy mają kluczowe znaczenie statystyczne (szumy, czas i sposób reakcji eksperymentatora) czy systematyczne (dokładność przyrządu pomiarowego). Proszę porównać ich wielkość.

2. W znakomitej większości przypadków pomiary na I Pracowni opierają się na zaledwie kilkukrotnym pomiarze danej wielkości dlatego konieczne jest <u>wykorzystanie wsp. Studenta (poziom ufności 0.95)</u> lub oszacowanie błędu maksymalnego (w zależności od charakteru błędu – patrz punkt 1).

3. Uzyskany wynik pomiaru należy sprawdzić poprzez 1) sprawdzenie zgodności jednostek 2) porównanie z jakimś odniesieniem literaturowym

4. Uzyskaną wartość niepewności wyniku należy koniecznie przedstawić jako niepewność względną tak aby uniknąć „genialnych” wniosków w postaci: pojemność C = 100 μF $\pm$ 10mF gdzie względna niepewność jest = 10000% wielkości mierzonej

5. Wykresy związane z opracowanie danych pomiarowych można dokonywać tylko przy użyciu komputera (np. w programie Origin).

6. Sprawozdania powinny być przygotowywane w edytorze tekstu – ma to dwie praktyczne zalety: 1) Ułatwia poprawę i dyskusję z prowadzącym ćwiczenie 2) Umożliwia nauczenie się płynnego korzystania z edytora – niezbędne w przyszłej pracy niezależnie od wybranego zawodu.

Literatura

1) **I Pracownia fizyczna , red. A. Magiera, OWI Kraków 2006**

2) H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN Warszawa 1999

3) A. Zięba, Postępy Fizyki, tom 52, zeszyt 5, 2001, str.238-247