

Literatura:

P. R. Bevington and D. K. Robinson, Data reduction and error analysis for the physical sciences. McGraw-Hill, Inc., 1992. ISBN 0-07-911243-9.

A. Zięba, 2001, Natura rachunku niepewności a jego nowa kodyfikacja. Postępy Fizyki 52, 238-247.

H. Szydłowski, 2000, Postępy Fizyki 51, 92-.

S. Brandt, Analiza danych. PWN, Warszawa 2002.

Wyrażanie niepewności pomiarowych. Przewodnik. GUM 1999, ISBN 83-906546-1-X (tłumaczenie normy ISO)
z dodatkiem: prof. dr hab. inż. Janusz M. Jaworskiego
"Niedokładność, błąd, niepewność"

Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). ISO 1995, ISBN 92-67-10188-9

Guide to the expression of uncertainty in measurement. Supplement 1. Numerical methods for the propagation of distributions. (projekt dokumentu Międzynarodowego Biura Miar i Wag)

B. N. Taylor, C. E. Kuyatt, Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297 (1994).

(dostępny na stronie www: <http://physics.nist.gov/Pubs/guidelines/>)

A. Zięba, Opracowanie danych pomiarowych (plik PDF)

<http://www.ftj.agh.edu.pl/zdf/danepom.pdf>

(na stronie www: <http://www.ftj.agh.edu.pl/pl/41.html#fizyka>)

<http://physics.nist.gov/cuu/index.html> - The NIST reference on constants, units, and uncertainties.

<http://platforma.polsl.pl/rmf/>

Pomiary wielkości fizycznych.

W metrologii pomiarem nazywa się proces poznawczy, w którym następuje odwzorowanie pewnych właściwości obiektu fizycznego (ciała, zjawiska) w dziedzinę liczb. Właściwość, którą można zmierzyć nazywa się wielkością fizyczną lub mierzalną.

Elementy procesu pomiarowego:

- ustalenie modelu fizycznego obiektu przez idealizację właściwości obiektu rzeczywistego (np. pominięcie pewnych czynników, oddziaływań, itp.),
- zbudowanie modelu matematycznego obiektu przez podanie związków (formuł matematycznych) ilościowych między właściwościami, które charakteryzują model fizyczny,
- ustalenie modelu metrologicznego obiektu przez przekształcenie modelu matematyczno-fizycznego w taki sposób, że opisują go tylko wielkości mierzalne,
- wybór metody pomiarowej i środków technicznych do przeprowadzenia pomiaru,
- wykonanie pomiaru(ów),
- analiza wyniku(ów) pomiaru i interpretacja (z uwzględnieniem analizy niepewności pomiarowej).

Jednostka miary i układ jednostek miar

Jednostką miary wielkości mierzalnej jest umownie przyjęta i wyznaczona z dostateczną dokładnością wartość tej wielkości.

Układ jednostek miar – zbiór jednostek miar wielkości mierzalnych.

Podstawowy układ jednostek miar – zbiór jednostek miar wybranych wielkości fizycznych. Pozostałe wielkości dają się wyrazić przez podstawowe za pomocą ścisłych związków.

Układ Międzynarodowy (SI) jednostek miar

jednostka	wielkość
metr	długość
kilogram	masa
sekunda	czas
amper	natężenie prądu elektrycznego
kelvin	temperatura
kandela	światłość
mol	ilość materii (liczba cząstek)
radian	miara kąta płaskiego
steradian	miara kąta bryłowego

Pomiar wielkości fizycznej polega na określeniu wartości liczbowej tej wielkości przez porównanie z jednostką miary tej wielkości.

Wzorzec

Wzorzec jest obiektem (narzędziem pomiarowym), który odtwarza jednostkę miary lub jej (pod)wielokrotność.

Wymagane cechy wzorca:

- stabilność (niezmiennność w czasie),
- odtwarzalność,
- dokładność,
- łatwość stosowania (wzorce niższego rzędu),

Parametry wzorca:

- nominalna miara wzorca,
- niepewność miary wzorca,
- okres ważności wzorca,
- warunki, w których miara i dokładność wzorca są zachowane,

Wzorce można podzielić na:

- naturalne (atomowy wzorzec czasu, wzorzec temperatury, wzorzec prędkości, ...),
- sztuczne (wzorzec masy, wzorzec światłości, wzorzec natężenia prądu, ...),
- wzorce pośrednie.

Metody pomiarowe

Metoda pomiarowa – ogół czynności wykonywanych w celu określenia wartości wielkości mierzonej (wyniku pomiaru).

Metoda bezpośrednia – wartość wielkości otrzymuje się bezpośrednio w wyniku prostego pomiaru

- pomiar prądu amperomierzem,
- pomiar długości pryzmiarem,
- pomiar masy na wadze równoramiennej.

Metoda pośrednia – wartość wielkości otrzymuje się pośrednio z pomiarów bezpośrednich innych wielkości

- pomiar gęstości ciała na podstawie bezpośrednich pomiarów masy i objętości,
- pomiar oporności na podstawie pomiarów natężenia prądu i napięcia,

Metoda podstawowa (bezwzględna) – wartość wielkości jest wyznaczana z pomiarów wielkości podstawowych, występujących w definicji wielkości mierzonej

- pomiar powierzchni prostokąta na podstawie pomiarów długości jego boków.

Dokładność pomiaru

x_i – wyniki kolejnego pomiaru wielkości fizycznej X ,
której wartość wynosi x_0

Błędem pomiaru (w sensie ilościowym) jest wartość

$$x_i - x_0$$

Błędowi pomiaru nie można używać w charakterze miary dokładności pomiaru z dwóch powodów.

- wartość x_0 nie jest najczęściej znana,
- w kolejnych pomiarach tej samej wielkości X , wykonanych w tych samych lub innych warunkach, otrzymujemy na ogół różne rezultaty.

Błąd pomiaru jest wartością losową o nie dającej się przewidzieć wartości.

W tym kontekście definiuje się następujące pojęcia:

dokładność pomiaru

jest pojęciem jakościowym i oznacza zgodność (bliskość) wyniku pomiaru z wartością wielkości mierzonej
Nie należy jej mylić z precyzją pomiaru.

powtarzalność (wyników pomiarów)

zgodność wyników kolejnych pomiarów tej samej wielkości w tych samych warunkach pomiarowych
Powtarzalność można wyrazić ilościowo przez rozrzut (dyspersję) wyników.

odtworzalność (wyników pomiarów)

zgodność wyników pomiarów tej samej wielkości w zmienionych warunkach pomiarowych
Odtwarzalność można wyrazić ilościowo przez rozrzut (dyspersję) wyników.

precyzja

zgodność wyników niezależnych pomiarów wykonanych w określonych warunkach.

Precyzja jest pojęciem jakościowym. Najczęściej rozumie się przez nią powtarzalność.

Błędy pomiaru są wynikiem działania różnych czynników, które są poza kontrolą wykonującego pomiar, lub zostały pominięte przy konstrukcji modelu fizycznego.

Tradycyjnie mówimy o błędach przypadkowych i systematycznych.

błąd przypadkowy

$$x_i - \bar{x}_\infty$$

$$\bar{x}_\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} \bar{x}_n$$

$$\bar{x}_n = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

błąd systematyczny

$$\bar{x}_\infty - x_0$$

Błąd przypadkowy jest równy błędowi minus błąd systematyczny. Błąd systematyczny równa się błąd minus błąd przypadkowy.

Ponieważ możemy dokonać jedynie skończenie wielu pomiarów, to błąd przypadkowy możemy tylko szacować (podać wartość estymatora). Podobnie jak wartość wielkości mierzonej błąd systematyczny, ani jego przyczyny, nigdy nie są dokładnie znane.

Tym co służy do ilościowej oceny dokładności jest niepewność pomiaru.

niepewność pomiaru

związany z rezultatem pomiaru parametr charakteryzujący rozrzut wyników, który można w uzasadniony sposób przypisać wartości mierzonej.

Należy zawsze pamiętać o różnicy między błędem pomiaru i niepewnością pomiaru. Na przykład, wynik pomiaru po wprowadzeniu poprawek może stać się bardzo bliski nieznannej wartości wielkości mierzonej, a zatem mieć zanedbywalnie mały błąd, nawet jeśli jego niepewność jest duża.

Składniki niepewności pomiarowej

Wyróżnia się dwie kategorie składników niepewności pomiarowej:

- A. składniki, których wartości szacuje się metodami statystycznymi,
- B. składniki, których wartości szacuje się w inny sposób.

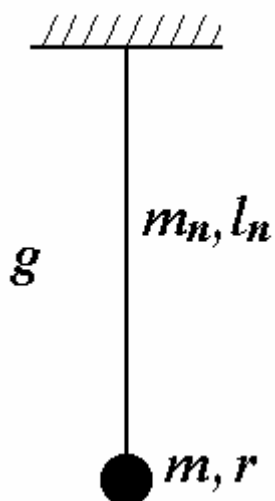
Podstawowym rodzajem niepewności pomiaru jest

niepewność standardowa

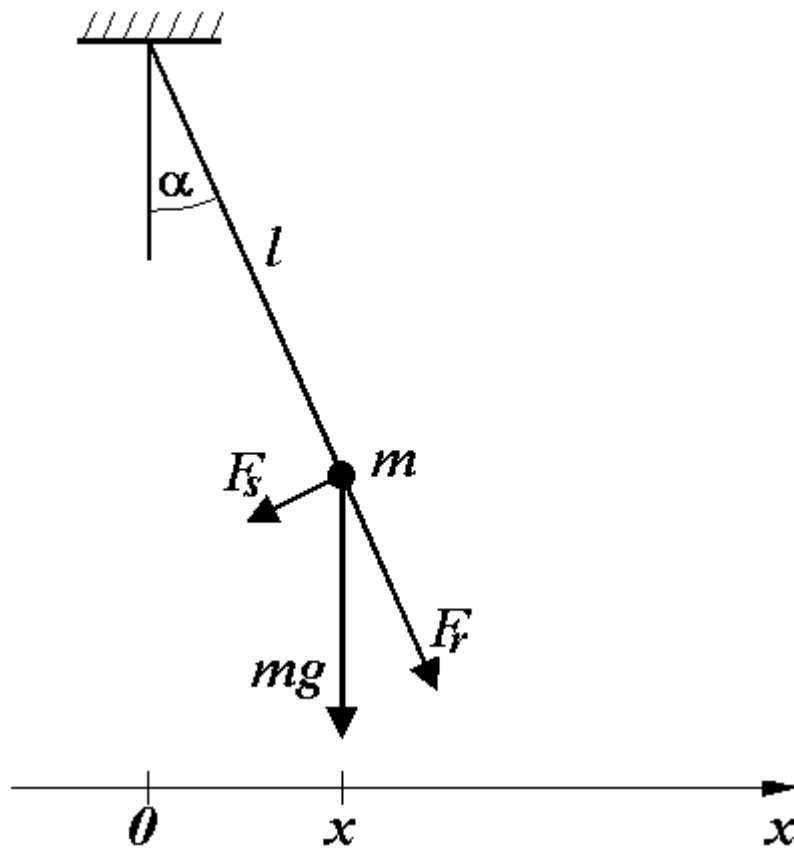
równa pierwiastkowi kwadratowemu z estymatora wariancji wyników.

Pomiary wielkości fizycznych. Dodatek A.

Obiekt fizyczny: kulka o promieniu r masie m zawieszona w powietrzu na lekkiej nitce o masie m_n i długości l_n w polu siły ciężkości o przyspieszeniu spadku swobodnego g



Model fizyczny: wahadło matematyczne o długości $l = l_n + r$ w polu siły ciężkości o przyspieszeniu spadku swobodnego g



Model matematyczny:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Model metrologiczny: identyczny z matematycznym
wartość g można wyznaczyć pośrednio z pomiarów T i l

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

W rzeczywistości okres drgań wahadła matematycznego zależy jeszcze od oporu powietrza i od amplitudy drgań. Na przykład, dla wahadła w próżni drgającego z amplitudą kątową α okres powiększa się do

$$T = 2\pi \left(1 + \frac{\alpha^2}{16} + \dots \right) \sqrt{\frac{l}{g}} .$$

Oznacza to, że przyjęty model wprowadza systematyczną różnicę do wyniku pomiaru, zależną od amplitudy drgań wahadła.