

## 2. Wielkości i jednostki fizyczne

Wielkościami fizycznymi nazywamy te własności ciał lub zjawisk, które można porównywać ilościowo z takimi samymi własnościami innych ciał lub zjawisk. Przykładami wielkości fizycznych są np.: długość, prędkość, przyspieszenie, czas, siła, masa, natężenie prądu itp. W fizyce dokonujemy pomiarów wielkości fizycznych i dzięki temu wielkości fizyczne potrafimy wyrażać liczbowo. Pomiar wielkości fizycznej polega na jej porównaniu z wielkością tego samego rodzaju przyjętą za wielkość jednostkową.

Wielkości fizyczne dzielą się na podstawowe i pochodne. Aby móc właściwie posługiwać się jakąś wielkością fizyczną, należy tę wielkość zdefiniować: objaśnić co ona oznacza. Definicja powinna wyrażać wielkość nieznaną za pomocą wielkości wcześniej określonych. W ten sposób nie można określić wszystkich wielkości fizycznych. Pozostają takie, których zdefiniować nie potrafimy, musimy je przyjąć bez definicji, podając tylko dokładnie sposób ich pomiaru. Takie wielkości fizyczne nazywamy wielkościami podstawowymi, a wszystkie inne, które zdefiniujemy za pomocą wielkości podstawowych - wielkościami pochodnymi.

Chcąc wyrazić ilościowo wartość wielkości, należy umownie przyjąć pewien stan danej wielkości i przyporządkować mu wartość równą jedności. Tę wartość odniesienia nazywa się jednostką miary danej wielkości. W fizyce wprowadzono już wiele układów jednostek, a obecnie obowiązuje tzw. międzynarodowy układ jednostek SI.

### 2.1. Międzynarodowy układ jednostek /SI/

W roku 1960 na XII Generalnej Konferencji Miar i Wag w Paryżu wprowadzono tzw. międzynarodowy układ jednostek. Układ ten jest układem spójnym /koherentnym/, opartym na sześciu jednostkach podstawowych i trzech uzupełniających /tab. nr 2.1/.

#### 2.1.1. Jednostki podstawowe i uzupełniające

Określenia jednostek podstawowych są następujące:

Metr - /jednostka długości/ jest długością równą 1650 763, 73 długości fali w próżni promieniowania, odpowiadającego przejściu pomiędzy poziomami  $2p_{10}$  a  $5d_5$  atomu kryptonu 86. Przejścia elektronu, pomiędzy wymienionymi poziomami, odpowiada monochro-



matyczna, pomarańczowa linia widna emisyjnego izotopu o liczbie masowej 86, pobudzonego do świecenia wyładowaniem elektrycznym.

- Kilogram - /jednostka masy/ jest masą międzynarodowego wzorca tej jednostki, przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar. Masa tego wzorca, sporządzonego ze stopu platyny z irydem, jest bardzo bliska masie  $1000\text{cm}^3$  czystej wody w temperaturze  $4^{\circ}\text{C}$ .

- Sekunda - /jednostka czasu/ jest  $1/31556\ 925,9747$  części roku zwrotnikowego 1900r, stycznia 0 godz. 12 czasu efemeryd. Sekunda określona jak wyżej jest równa średniej wartości sekundy w okresie ostatnich trzynastu lat określonej jako  $1/86\ 4000$  części średniej doby słonecznej. Od roku 1976 sekundę związane również ze zjawiskami atomowymi, mianowicie jest ona równa trwaniem  $9\ 192\ 631\ 770$  okresów promieniowania, odpowiadającego przejściu między dwoma poziomami nadsubtelnymi podstawowego stanu atomu cezu 133. Wzorzec sekundy można zatem odtwarzać za pomocą atomowego zegara cezowego.

- Amper - /jednostka natężenia prądu/ jest to natężenie prądu elektrycznego nie zmieniającego się, który płynie w dwóch równoległych przewodach prostoliniowych nieskończenie długich, o przekroju okrągłym znikomo małym, umieszczonych w odległości jednego metra jeden od drugiego w próżni - wywołuje między tymi przewodami siłę równą  $2 \cdot 10^{-7}$  niutona na każdy metr długości przewodu.

Z tego określenia ampera trudno jest korzystać w praktyce, gdyż nie dysponujemy nieskończenie długimi przewodami. Określamy go więc przy użyciu wagi prądowej, w której mamy przewody o skończonej długości.

- Stopień Kelwina - /jednostka temperatury/ jest stopniem termodynamicznej skali temperatur Kelwina, w której temperatura potrójnego punktu wody jest równa dokładnie  $273,16^{\circ}\text{K}$ .

- Kandela - /jednostka natężenia światła/ jest światłością, która w kierunku prostopadłym ma pole równe  $1/600\ 000$  części metra kwadratowego powierzchni ciała doskonale czarnego, promieniającego w temperaturze krzepnięcia platyny pod ciśnieniem  $101\ 325$  niutonów na metr kwadratowy /dawniej jednej atmosfery fizycznej/.

Ponad to następująco określono jednostki uzupełniające:

- Radian - /jednostka kąta płaskiego/ jest kątem płaskim o wierzchołku w środku koła, wycinającym z obwodu tego koła łuk

o długości równej jego promieniowi.

- Steradian - /jednostka kąta bryłowego/ jest kątem bryłowym o wierzchołku w środku kuli, wycinającym z powierzchni tej kuli pole równe kwadratowi jej promienia.

- Mol - /jednostka ilości materii/ jest ilością materii zawierającą liczbę cząstek /albo atomów/, równą liczbie atomów zawartych w 0,012 kg czystego nuklidu węgla  $^{12}\text{C}$ .

## 2.2. Jednostki pochodne

Zgodnie z zasadą spójności układu jednostek, dowolną wielkość  $W$  można wyrazić w układzie SI za pomocą wielkości podstawowych

$$W = f\{m, kg, s, ^\circ K, A, cd\}$$

bądź uwzględniając jednostki uzupełniające

$$W = f\{m, kg, s, ^\circ K, A, cd, rad, sr, mol\}$$

Dla każdej wielkości istnieje jedna i tylko jedna jednostka SI.

## 2.3. Jednostki wielokrotne i podwielokrotne

Oprócz wymienionych jednostek podstawowych używa się jednostek wielokrotnych i podwielokrotnych, które tworzy się w oparciu o system dziesiętny podziału. Nazwy i oznaczenia wielokrotnych i podwielokrotnych jednostek miar tworzy się przez dodanie do nazw i oznaczeń jednostek odpowiedniego przedrostka albo jego oznaczenia podanego w tabelicy 2.2. Oto przykłady: jednostka podstawowa - metr, jednostki wielokrotne: kilometr /1000 m/, megametr / $10^6$  metrów/, jednostki podwielokrotne: centymetr / $10^{-2}$  metra/, milimetr / $10^{-3}$  metra/ itd.

## 3. Błędy pomiarowe

### 3.1. Zadania pomiarów.

Pomiarem dowolnej wielkości fizycznej nazywamy operację, w której stwierdzamy ile razy mierzona wielkość jest większa /lub mniejsza/ od odpowiedniej wielkości przyjętej za wzorzec. Pomiary wykonujemy za pomocą narzędzi pomiarowych, na które składają się wzorce miar /odważniki, linijki, pojemniki itp/ oraz przyrządy pomiarowe /waga, mierniki elektryczne, zegarki/.



Przyrządy pomiarowe podzielić możemy na pozwalające odczytać bezpośrednio miarę wielkości fizycznej np. śruba mikrometryczna, stoper oraz pośrednie np. cyfrowy, opornik, które nie dają bezpośrednio miary wielkości fizycznej, lecz pomiar ten umożliwiają. Ze względu na sposób pomiaru, wielkości fizyczne podzielić możemy na bezpośrednie i pośrednie. Miarę wielkości bezpośredniej otrzymujemy w wyniku pomiaru bezpośredniego za pomocą jednego przyrządu pomiarowego. Celem uzyskania miary wielkości pośredniej wykonać musimy równoczesny pomiar kilku wielkości bezpośrednich, stosując w tym celu niejednokrotnie bardzo złożoną aparaturę. Samą miarę wielkości pośredniej obliczamy w tym wypadku ze wzoru fizycznego.

W praktyce przeprowadzone pomiary wielkości fizycznych są zwykle obarczone błędami tzw. błędami obserwacji lub błędami pomiarowymi, spowodowanymi niewystarczającą dokładnością aparatury pomiarowej oraz niedoskonałościami naszych organów zmysłowych. I tak np. mierząc z dokładnością dostateczną, nigdy nie otrzymujemy identycznego wyniku już przy dwóch pomiarach wykonanych jednakowo starannie, tą samą aparaturą pomiarową - wyłączając naturalnie przypadkową zależność. Tym samym wyznaczona wielkość pomiarowa ma cechy probabilistyczne. Pomiar daje nam tylko wartość przybliżoną, której przedział tolerancji określa użyta aparatura oraz staranność eksperymentatora.

### 3.1.1. Błąd bezwzględny.

Do zadań i pomiarów należy nie tylko znalezienie samej wielkości mierzonej, ale także ocena popełnionego przy mierzeniu błędu.

Różnicę między wartością zmierzoną  $x_1$ , a prawdziwą wartością  $x_0$

$$\Delta x = |x_1 - x_0|$$

nazywać będziemy błędem bezwzględnym wartości  $x_1$ .

Bezwzględnego błędu rzeczywistego, podobnie jak i rzeczywistej wartości  $x_0$  nigdy nie znamy. W praktyce, wychodząc z odpowiednich metod rachunkowych, obliczamy z pomiarów wartość średnią i podajemy granice, w których z dużym prawdopodobieństwem zawiera się prawdziwa wartość mierzonej wielkości.

Do krytycznego opracowania wyników doświadczenia tzn. wybrania właściwych wartości średnich z odpowiednio przyporządkowanymi im tolerancjami błędów oraz wybrania metod służących do obliczeń danych eksperymentalnych, służy rachunek błędów. Prawidłowe oznaczenie błędów daje nam gwarancję właściwej oceny wartości mierzonej. Tak więc analiza pomiarów wielkości fizycznej nie zawierająca wraz z wynikiem oceny jego dokładności, jest bezwartościowa.

Sposób przeprowadzania analizy błędów jest zależny od postawionego zadania i nie można podać ogólnie obowiązującego schematu postępowania. Zaleca się rozważyć, która z przedstawionych ocen błędów najlepiej odpowiada użytej do badań aparaturze i metodzie pomiarowej oraz, które pomiary wnoszą największe błędy, aby je móc wykonać szczególnie starannie.

Czasami możemy ocenić szukaną wartość pomiarów w przybliżeniu z dokładnością do jednego czy też paru rzędów. Należy rozumieć przy tym, że jeśli dana wielkość jest rzędu  $10^n$ , to znaczy, że jej wartość zawiera się w granicach od  $0,5 \cdot 10^n$  do  $5 \cdot 10^n$ . Np.  $10^4$  jest to rząd wielkości liczb 5500 i 2500.

### 3.2. Rodzaje błędów.

Błędy występujące przy pomiarach wielkości fizycznych możemy podzielić na trzy rodzaje ze względu na źródło ich powstania i ich istotę, a mianowicie:

- a/ grube,
- b/ systematyczne,
- c/ przypadkowe.

#### 3.2.1. Błędy grube.

Błąd nazywany błędem grubym albo pomyłką, jeśli powodem jego powstania jest nieuwaga zasadniczo możliwa do uniknięcia lub niestaranność eksperymentatora. Popełnia on omyłkę np. przy odczytywaniu wyniku w obliczeniach lub wykonał pomiar w sposób niewłaściwy. Celem wyeliminowania tego rodzaju błędów, pomiary należy powtarzać kilkakrotnie, najlepiej po pewnym czasie lub też w nieco zmienionych warunkach. Zewnętrzną cechą wyniku zawierającego duży błąd jest to, że różni się on znacznie od wy-



ników pozostałych pomiarów. Na tym oparte są niektóre kryteria wykluczania dużych błędów wg ich wielkości. Najbardziej pewnym i skutecznym sposobem wykluczania niewłaściwych wyników jest ich eliminacja bezpośrednio w procesie dokonywania pomiarów.

### 3.2.2. Błędy systematyczne.

Błąd nazywamy błędem systematycznym w przypadku gdy:

- a/ pomiary wykonane w jednakowych warunkach wykazują błąd o stałej wartości,
- b/ przy zmianie warunków o określonej prawidłowości również wykazuje pewną prawidłowość lub zachowuje wartość stałą różną od zera.

Wiele różnorodnych przyczyn może spowodować powstanie błędów systematycznych, z których najważniejsze są:

- a/ same przyrządy pomiarowe,
- b/ metody pomiaru,
- c/ niedoskonałość naszych zmysłów.

Błędy systematyczne podzielić możemy na trzy główne grupy:

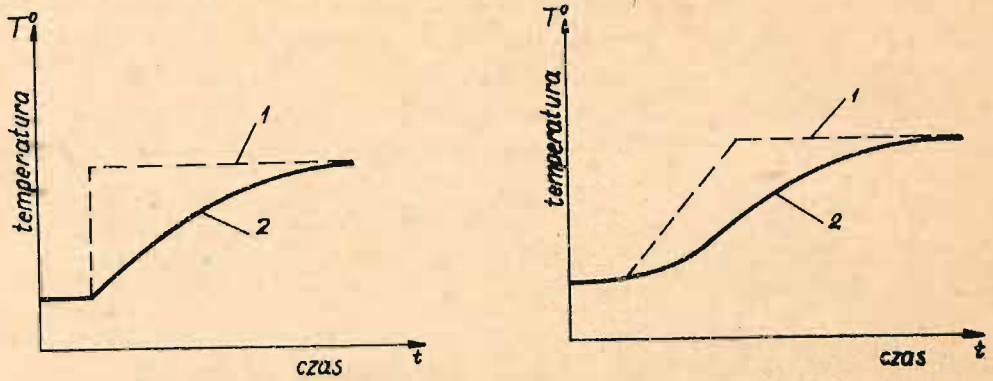
1. Pierwszą grupę stanowią takie błędy systematyczne, których natura jest nam znana i wielkość ich może być dostatecznie dokładnie wyliczona. Tego rodzaju błędy nazywamy poprawkami. Przy określaniu np. pewnej długości, do poprawek zaliczamy wydłużenie się /skutkiem zmiany temperatury/ mierzonego przedmiotu oraz linijki, którą mierzymy. Poprawkę np. wnosimy również w przypadku odczytu ciśnienia na barometrze rtęciowym. Istnieje reguła mówiąca, że jeśli poprawka nie przekracza 0,005 średniego kwadratowego błędu wyników pomiarów, to można ją pominąć.
2. Drugim rodzajem błędów systematycznych, są błędy wiadomego pochodzenia, lecz nieznannej wielkości. Do tego rodzaju błędów zaliczamy np. błąd przyrządów pomiarowych, określane czasem mianem klasy dokładności przyrządu. Jeśli np. przyrząd oznaczony jest klasą dokładności 0,5, to oznacza to, że odczyty przy jego pomocy są prawidłowe z dokładnością do 0,5% całej skali przyrządu. Elektryczne przyrządy pomiarowe charakteryzują się zwykle klasą dokładności w granicach 0,05 do 4. Przyrządy o gorszej dokładności nie mają oznaczenia klasy dokładności. Maksymalne błędy takich przyrządów względnie przyborów do mierzenia długości,

jak taśmy miernicze, mikrometry itp. nanosi się czasem na sam przyrząd, czasem za przytacza się je na fabrycznej karcie gwarancyjnej. Zwykle mówi się tutaj o maksymalnym błędzie bezwzględnym, który traktujemy jako stały dla całej skali przyrządu, jeśli nie ma specjalnej tablicy błędów dla każdej części poszalki skali tego przyrządu. Systematyczne błędy omówionego rodzaju, ogólnie biorąc, nie mogą być wykluczone, ale ich maksymalna wartość z reguły jest nam znana i może być uwzględniona przy podawaniu wyników pomiarów.

3. Trzeci typ błędów systematycznych, szczególnie niebezpieczny, to błędy, których istnienia nawet nie podejrzewamy, chociaż wielkość ich może być znaczna. Błędy tego typu popełnia się przy pomiarach za pomocą złych przyrządów, np. przy pomocy złej podziałki, przy pomocy źle wyskalowanego termometru itp. Błędy tego typu mogą wystąpić również wtedy, gdy metoda pomiaru nie odpowiada założeniom, przy których wprowadzono wzory stosowane do obliczenia wyników. Najczęściej pojawiają się one przy złożonych pomiarach, np. uważamy, że jakaś wielkość została określona z dokładnością paraprocentową, a w rzeczywistości okazuje się znacznie większa. Powód powstawania błędów systematycznych może tkwić nie tylko w aparaturze pomiarowej, lecz także może być spowodowany przez samego eksperymentatora, np. znany błąd paralaksy, polegający na przeprowadzeniu odczytu pomiaru przy niewłaściwym wykorzystaniu aparatury. Ujawnienie błędów systematycznych, powstałych w określonych okolicznościach wymaga specjalnych badań. Jednym z najbardziej godnym zalecenia sposobów wykrycia tego typu błędów jest przeprowadzenie pomiarów interesującej nas wielkości zupełnie inną metodą i w innych warunkach. Zgodność otrzymanych obu metodami wyników świadczy, aczkolwiek też nie ze stuprocentową gwarancją, o ich poprawności. Zdarza się bowiem, że przy mierzeniu różnymi metodami wyniki obarczone są jednym i tym samym błędem systematycznym wymykającym się z pod uwagi eksperymentatora. Wówczas oba zgadzające się ze sobą wyniki są błędne.

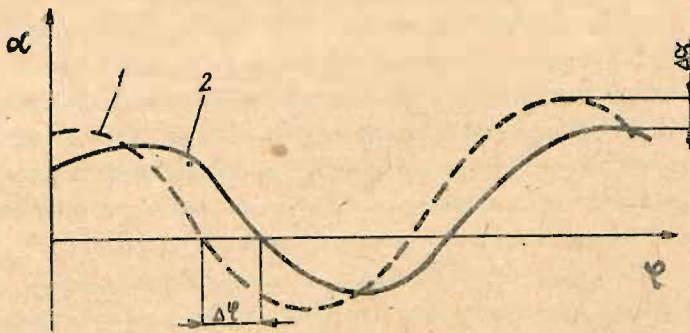
4. Oprócz wyżej wymienionych trzech grup błędów systematycznych należy wskazać na jeszcze jedno źródło błędów systematycznych, które choć nie jest związane bezpośrednio z operacjami pomiarowymi, to może w sposób istotny wypaczać ich wyniki. W grę będą





Rys. 3.1. Przykłady zmian temperatury środowiska i temperatury termometru

- 1 - przebieg zmian temperatury środowiska
- 2 - przebieg zmian temperatury termometru.



Rys. 3.2. Zmiana temperatury ośrodka i temperatury wskazywanej przez termometr, gdy wielkość mierzona zmienia się okresowo

- 1 - przebieg zmian ośrodka
- 2 - przebieg zmian temperatury termometru.

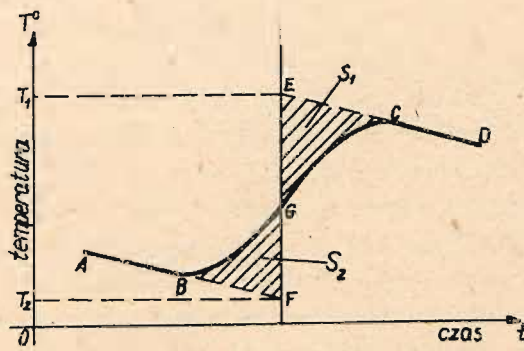


tu wchodziły błędy spowodowane właściwościami mierzonego obiektu np. mierząc pole powierzchni walca, którego przekrój uważamy za kołowy, podczas gdy w rzeczywistości ma on kształt owalny. Innym przykładem może być pomiar przewodnictwa materiału, mającego niejednorodną budowę lub pęknięcie. Opór tego materiału będzie nieprawdziwie charakteryzować przewodnictwo tego materiału.

5. Potencjalnym źródłem błędów systematycznych są rozmaite wady urządzeń i aparatury, mogące prowadzić do nierzetelnych i źle odtworzonych wyników pomiarów. Częstość wystarcza zupełnie miała niezgodność między położeniem wskazówki przy włączonym przyrządzie, a początkiem skali, aby obniżona została czułość przyrządu w pewnym zakresie mierzonych wartości. Wpływ na wielkość błędu może mieć zbyt powolna reakcja rejestratora, podwyższone wielkości szumu aparatury itp. Tych i niektórych innych niejednokrotnie dość trudnych do przewidzenia okoliczności, nie można przeważnie stwierdzić inaczej niż przez porównanie wartości znalezionych z rzeczywistymi wartościami różnych standardów i wzorców. Jeżeli mierzona wielkość ulega zmianom w czasie, to należy liczyć się z tym, że wynik pomiaru, wskutek bezwładności przyrządu pomiarowego, nie ustala się natychmiast, lecz dopiero po pewnym czasie. Na przykład przy zmiennej temperaturze środowiska termometr nie wskazuje natychmiast temperatury w danej chwili, lecz dopiero po pewnym czasie /rys.3.1./.

W szczególnym przypadku, gdy wielkość mierzona /np. temperatura/ zmienia się okresowo, błąd pomiaru będzie charakteryzowany dwiema wielkościami, a mianowicie: błędem amplitudowym  $\Delta\alpha$  oraz błędem fazowym  $\Delta\varphi$ . Powstanie w tym przypadku sytuacja, w której temperatura źródła w danej chwili będzie niższa od temperatury wskazywanej przez termometr lub odwrotnie, gdyż zmiany tych temperatur w czasie są przesunięte w fazie /rys.3.2/. Jeśli bezwładność przyrządu jest duża, to przy pomiarach uzyskuje się pomiar zniekształcony, a niekiedy wręcz nie można dokonać pomiaru. Błędy pomiarowe spowodowane bezwładnością dodają się do błędów występującym w stanie ustalonym.

6. W niektórych przypadkach udaje się nam, dzięki odpowiedniej technice pomiarowej, wyeliminować błędy systematyczne. Przykładem może być sposób wyeliminowania błędu systematycznego powstałego



Rys. 3.3. Wykres krzywej idealnego wyrównania temperatur.



w kalorymetrze wskutek wymiany ciepła z otoczenia. W tym celu wykreślamy tzw. krzywą idealnego wyrównania temperatur, polegającą na znalezieniu zmian temperatury  $T$  w czasie  $t$ , tzn. zależności  $T = f(t)$ , /rys. 3.3/. Krzywa ABCD przedstawia zmiany temperatury obserwowane w kalorymetrze. Punkt B odpowiada momentowi wrzenia gorącego ciała. Przedłużamy odcinki prostoliniowe AB i CD krzywej poza punkty B i C. Przedłużenia te łączymy prostą prostopadłą EF do osi czasu w ten sposób, aby powierzchnie  $S_1$  i  $S_2$  były sobie w przybliżeniu równe. Punkty F i E będą odnosiły się odpowiednio do temperatury początkowej  $T_2$  i temperatury końcowej  $T_1$  w przypadku nieskończonego szybkiego wyrównania temperatur.

### 3.2.3. Błędy przypadkowe /losowe/.

Błędy losowe powstają z powodu szeregu przyczyn, których działanie jest niejednakowe w każdym doświadczeniu. Ujawniają się one tylko wtedy, gdy dokładności przyrządów są na tyle małe, że możemy zaobserwować zróżnicowanie wyników kolejnych pomiarów. Przyjmuje się, że jeśli kolejne pomiary tego samego obiektu wykonane za pomocą tego samego przyrządu /lub aparatury/ dają różniące się wyniki, wtedy każdy z tych wyników obciążony jest błędem przypadkowym. Na powstawanie błędów przypadkowych może złożyć się wiele różnorodnych przyczyn, spośród których najważniejsze są:

1. Statystyczny charakter obserwowanych zjawisk. Na przykład średnica mierzonego pręta jest faktycznie inna w każdym miejscu, tak samo nie ma dwóch idealnie równych kulek itp.
2. Niedoskonałość przyrządów pomiarowych. Ze względu na takie parametry fizyczne jak: tarcie, opór powietrza, zmiany czasowe parametrów materiałowych, zmienne warunki atmosferyczne itp., nie uzyskuje się zwykle jednakowego wskazania przyrządów pomiarowych.
3. Niedoskonałość ludzkich zmysłów. Błąd pomiaru może być ściśle związany z osobą eksperymentatora i zależy przede wszystkim od jego zręczności i staranności przeprowadzania doświadczenia, a więc od jego sprawności fizycznej. Wyraźnie występuje to w takich pomiarach, w których np. oceniamy maksimum natężenia dźwięku,

równomierność oświetlenia całego pola widzenia, lub też pomiary czasu za pomocą sekundomierza.

Błędy przypadkowe przy pomiarach wielkości fizycznych podlegają pewnym prawidłowościom, które można sformułować w sposób następujący:

- a/ błędy dodatnie i ujemne zdarzają się jednakowo często,
- b/ szanse popełnienia błędu o wartości  $\Delta x$  maleją wraz z bezwzględną wartością  $\Delta x$ ,
- c/ Największe jest prawdopodobieństwo, że błąd  $\Delta x$  będzie zawarty w pewnych granicach  $-\Delta$ ,  $+\Delta$ .

Błędów przypadkowych nie da się wyeliminować, lecz ich wpływ na wynik końcowy można wyznaczyć teoretycznie w oparciu o wyniki matematyki statystycznej.

#### 3.2.4. Uwagi ogólne dotyczące przypadkowych /losowych/ i systematycznych błędów.

Właściwe określenie wartości średniej, opracowanie odpowiednich wzorów do jej obliczenia, oraz wyznaczenie jej granic błędów jest zadaniem rachunku błędów, natomiast zadaniem techniki pomiarowej jest udoskonalanie metod doświadczalnych w celu wyeliminowania błędów systematycznych i zwiększenia dokładności pomiaru, co wiąże się ze zmniejszeniem błędu przypadkowego. Po uwzględnieniu wszystkich błędów systematycznych i uwzględnieniu poprawek, wyniki pomiarów mimo to nie są wolne od pewnych błędów losowych. Jeśli te błędy losowe okażą się mniejsze od błędów systematycznych to nie ma potrzeby starać się jeszcze zmniejszać błędu losowego, gdyż chcąc poprawić wtedy dokładność pomiarów należy szukać sposobu, który zmniejszyłby błąd systematyczny. Na odwrót, jeśli błąd losowy okaże się większy od systematycznego, to w pierwszej kolejności należy zmniejszyć błąd losowy przez przeprowadzenie nie jednego lecz wielu pomiarów, przy czym im więcej wykonany pomiarów, tym mniejszą wartość będzie miał błąd losowy.

Z powyższych rozważań wynikają pewne reguły, które można sformułować w sposób następujący:

1. Jeśli błąd systematyczny jest błędem głównym tzn., gdy jego wielkość jest istotnie większa od wielkości błędu losowego, ce-



chującego daną metodę pomiarów, to wystarczy przeprowadzić pomiar jeden raz.

2. Jeśli błąd losowy jest błędem głównym, to pomiar należy przeprowadzać wielokrotnie. Liczbę pomiarów należy tak dobrać, ażeby błąd losowy średniej arytmetycznej był mniejszy od błędu systematycznego, tak aby ten ostatni znów określał błąd rezultatu.

Należy przy tym pamiętać, że możemy ograniczyć się do jednego tylko pomiaru wyjątkowo w tych przypadkach, kiedy z pewnych innych źródeł wiemy, że wielkość błędu losowego jest mniejsza niż błędu systematycznego. Dzieje się tak zwykle wówczas, gdy mierzenia dokonuje się znaną metodą, której błędy są zbadane i znane.

#### 4. Cyfry znaczące.

Cyframi znaczącymi w liczbach przyjęto nazywać wszystkie cyfry 1,2,3.....9, a także zero, ale tylko w tych przypadkach, jeśli znajduje się ono w środku lub na końcu liczby. Jeśli jednak zero w ułamkach dziesiętnych znajduje się po przecinku z lewej strony pozostałych cyfr, to nie jest wtedy cyfrą znaczącą. Np. liczby 3, 14159 oraz 980,665 lub 86 4000 posiadają po sześć cyfr znaczących. Jeśli natomiast weźmiemy liczby 1,015, 0.15, 0.015, 0.0015 to pierwsza z nich posiada cztery cyfry znaczące, a pozostałe trzy po dwie cyfry znaczące.

#### 5. Błąd względny i bezwzględny.

Przy opracowywaniu wyników eksperymentalnych większość obliczeń przeprowadza się na przybliżonych wartościach mierzonych wielkości, ponieważ ich dokładne wartości nie są znane. Jakość wyników pomiarów zwykle wygodnie jest charakteryzować nie absolutną wielkością błędu  $\Delta x$ , a jego stosunkiem do mierzonej wielkości  $x$ , a mianowicie:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x}$$

1.5

Wartość 1.5 nazywamy błędem względnym i zazwyczaj wyrażamy go w procentach. Szczególną zaletą tego błędu jest to, że jest on wielkością niemianowaną, a więc można go porównywać z błędami względnymi pochodzącymi od pomiarów różnych wielkości nieporównywal-