

LABORATORIUM CHEMICZNE
sprzęt, BHP, zasady obliczeń

PODSTAWOWY SPRZĘT

1. Sprzęt szklany

Większość prac wykonywanych w laboratoriach chemicznych przeprowadza się w naczyniach szklanych. Szkło jest odporne na działanie większości odczynników chemicznych, a jego przezroczystość ułatwia obserwacje przeprowadzanych reakcji. Szkło cienkościenne jest bardziej odporne na zmiany temperatury od grubościennego, dlatego nie wolno ogrzewać naczyń ze szkła grubościennego np. butelek. Nie wolno używać naczyń szklanych pękniętych, uszkodzonych lub z tzw. gwiazdkami (pęknięcia w kształcie gwiazdki).

Probówki. Stosuje się probówki różnej wielkości i kształtu. W czasie ogrzewania roztworu w probówce należy pamiętać, aby ciecz nie zajmowała więcej niż 1/3 całkowitej objętości probówki. Probówkę ujmuje się szczypcami i ostrożnie wprowadza do płomienia. Ogrzewa się górną warstwę cieczy. Wylot probówki powinien być tak skierowany, aby nagłe wyrzucenie roztworu nie wyrządziło szkody eksperymentującemu lub jego otoczeniu.

Zlewki. W laboratorium chemicznym używa się w zależności od potrzeb zlewki różnego kształtu i wielkości. Najczęściej zlewka posiada dziobek, który ułatwia przelewanie cieczy. Nie można podgrzewać zlewki na otwartym ogniu.

Kolby. Kolby stożkowe używane są najczęściej w analizie miareczkowej, gdyż zmniejszony otwór utrudnia wyparowanie cieczy. Kolbki kuliste używane są najczęściej jako części aparatury, w której przeprowadza się złożone reakcje chemiczne. Kolbki ssawkowe wykonane są z grubego szkła. Mają z boku odprowadzenie w kształcie rurki, którą podłącza się do pompki wodnej. W otworze umocowuje się korek z lejkiem szklanym lub ceramicznym i sączkiem. Ten zestaw aparatury służy do szybkiego oddzielania roztworu od osadu.

Lejki. Służą do nalewania i przelewania cieczy oraz do sączenia. Nie należy wkładać lejka bezpośrednio do naczynia, do którego wlewa się ciecz. Umieszcza się w statywie w ten sposób, aby umożliwić ujście wypychanego przez ciecz powietrza. Lejki sitowe wykonane są z porcelany i mają dziurkowane dno, na które nakłada się bibułę filtracyjną. Duża powierzchnia dna znacznie przyspiesza sączenie.

Tryskawki. Najczęściej służą do splukiwania i przemywania osadów. Są to zwykle butelki plastikowe, z których podczas ściśnięcia wytryskuje cienki strumień cieczy.

Kolby miarowe. Kolby takie mają kreskę na szyjce oraz wytrawioną na bocznej ścianie informację o pojemności. Służą do przygotowania roztworów o dokładnym stężeniu, tzn. takich, w których dokładnie odważona substancja została rozpuszczona w dokładnie odmierzonym objętości roztworu. Jeśli przygotowuje się roztwór substancji stałej, to po odważeniu wsypuje się ją przez lejek do wnętrza kolby a następnie opłukuje lejek i szyjkę kolbki. Wodę nalewa się ok. 10 mm poniżej kreski, a następnie po rozpuszczeniu się stałej substancji dopełnia się (pipetą) do kreski. W przypadku cieczy bezbarwnych najniższy punkt dolnego menisku cieczy spotyka się z płaszczyzną wyznaczoną przez kreskę. W przypadku cieczy nieprzezroczystych bierze się menisk górny. Oko obserwatora powinno znajdować się na tym samym poziomie co kreska kolby.

Biurety stosuje się do dokładnego dozowania roztworów. Biurety mają podziałkę zazwyczaj, co $0,1 \text{ cm}^3$. Na dole zaopatrzone są w kurek szlifowany lub zamknięcie gumowe. Po wlaniu roztworu do biurety ustala się jego poziom na działce zero, a następnie po przekręceniu kurka ostrożnie wylewa się ciecz. Biurety umieszcza się pionowo, gdyż nawet lekkie odchylenie od pionu zmniejsza dokładność odczytu.

Pipety służą do jednorazowego dokładnego odmierzenia określonej objętości roztworu. Pipetę zanurza się w roztworze a następnie przez drugi koniec wciąga się za pomocą specjalnej pompki roztwór powyżej kreski miarowej. Następnie zamyka się koniec wilgotnym palcem i przenosi się nad naczynie pomocnicze. Nadmiar cieczy wypuszcza się zwalniając ostrożnie palec. Następnie przenosi się pipetę nad właściwe naczynie i wypuszcza się całą objętość uważając by nie dotknąć roztworu w naczyniu końcem pipetki.

Cylindry miarowe. W celu odmierzenia większych ilości roztworu stosuje się cylindry. Są to naczynia szklane w kształcie pionowych rur z rozszerzoną podstawą. Na ściankach cylindrów umieszczona jest skala. W celu zwiększenia dokładności stosuje się cylindry różnej wielkości dostosowane do dozowania różnych ilości cieczy.

Opakowania szklane. Substancje stałe i ciekłe przechowuje się w laboratorium chemicznym w słoikach i butelkach opatrzonych nalepkami ze wzorem substancji, stężeniem. Butelki i słoiki zamknięte są dobrze dopasowanymi korkami. Korka po wyjęciu z butelki nie należy w zasadzie odkładać. Należy unikać otwierania kilku butelek jednocześnie, gdyż prowadzi to często do pomieszania korków a tym samym do zanieczyszczenia roztworów.

2. Inny sprzęt

Palniki. Najczęściej stosuje się w laboratoriach palniki typu Bunsena i Mekera. W palnikach gaz doprowadzony jest przez wąską dyszę a powietrze przez okrągłe dziurki w ruchomym pierścieniu. Przez obrót pierścienia zmniejsza się lub zwiększa dopływ powietrza a tym samym temperaturę płomienia. Palnik Mekera ma u wylotu siatkę metalową. Siatka ta powoduje równomierne palenie się gazu i płomień znajduje się na większej powierzchni. W przypadku, gdy ilość powietrza jest za duża, płomień może przeskoczyć do wnętrza palnika. Zauważa się to po buczeniu palnika oraz zmianie barwy płomienia na zieloną. Należy wtedy palnik zgasić i ostudzić.

3. Odczynniki chemiczne

Ze względu na bezpieczeństwo, z odczynnikiem chemicznymi należy obchodzić się ostrożnie. Najbardziej powszechnymi odczynnikiem wymagającymi ostrożnego obchodzenia się są kwasy i zasady. Rozcieńczając kwas należy pamiętać, że wlewamy zawsze kwas do wody a nie odwrotnie. Należy unikać stosowania obok siebie kwasu i zasady, a w szczególności kwasu solnego i amoniaku. Niedopuszczalne jest mieszanie stężonego kwasu ze stężoną zasadą. Stężony kwas solny i amoniak wydzielają gazy, dlatego nie należy się nad nimi nachylać lub wdychać opary.

ELEMENTARNE CZYNNOŚCI

1. Mycie szkła laboratoryjnego. Mycie szkła laboratoryjnego jest podstawową czynnością wykonywaną w laboratorium chemicznym i ma duże znaczenie. Używanie naczyń niewymytych, nawet z drobną ilością zanieczyszczeń na ściankach, może doprowadzić do całkowitej zmiany obrazu przeprowadzonego doświadczenia. Szkła laboratoryjnego nie można myć piaskiem lub ostrymi narzędziami. Może to doprowadzić do zarysowania ścianek

a następnie pęknięcia naczyń w czasie pracy. Najczęściej do wymycia osadu używa się specjalnych szczotek. Następnie szkło myje się odpowiednim środkiem do mycia i spłukuje wodą destylowaną. Naczynie jest dobrze umyte gdy woda spływa po ściankach równomiernie.

2. Sączenie. W pracy laboratoryjnej uzyskany osad często należy oddzielić od roztworu. W laboratorium chemicznym używa się specjalnych sączków o różnym stopniu przepuszczania roztworu, które stosuje się w zależności od wielkości uzyskanych kryształów osadu. W analizie ilościowej używa się sączków, które po spaleniu mają mniej niż 0,0001 g popiołu. Jeżeli bibuła jest w arkuszach, sączek przygotowuje się w następujący sposób: kawałek bibuły składa się na czworo a następnie nożyczkami obcina się rogi tak, aby po rozłożeniu uzyskać koło. Sączek składamy na czworo i wkładamy do lejka. Następnie sączek przemywamy wodą destylowaną. Roztwór z osadem wlewamy powoli po bagietce szklanej. Najpierw zlewamy sam roztwór, a następnie osad. Osad pozostawiony w zlewce wmywamy wodą z tryskawki. Należy uważać aby wysokość roztworu na sączku nie była większa od wysokości sączka. W przypadku sączenia przy zmniejszonym ciśnieniu lejek umieszczamy szczelnie w korku gumowym a ten z kolei w kolbie ssawkowej. Następnie włączamy pompkę wodną. Używając lejków z dziurkowanym dnem należy pamiętać aby wielkość sączka dokładnie odpowiadała wielkości dna i aby sączek nie odstawał w żadnym miejscu.

3. Odparowywanie. Często w pracy laboratoryjnej konieczne jest zagęszczenie roztworu lub całkowite jego odparowanie. Odparowywanie przeprowadza się w porcelanowych parowniczkach o odpowiednim kształcie. Roztwór odparowywany nie powinien wrzeć, gdyż istnieje możliwość nagłego wyrzucenia cieczy z parowniczką. Odparowywanie przeprowadza się w łaźni wodnej, piaskowej lub na siatkach metalowych ogrzewanych małym płomieniem palnika gazowego.

BEZPIECZEŃSTWO I HIGIENA PRACY W LABORATORIUM CHEMICZNYM

Praca w laboratorium chemicznym, wykonywana z zachowaniem wszelkich zasad ostrożności, jest całkowicie bezpieczna. Konieczne jest zapoznanie ćwiczących studentów z elementarnymi zasadami zachowania się w laboratorium chemicznym. Niebezpieczeństwa zagrażające zdrowiu lub życiu mogą mieć następujące źródła: zatrucia lub poparzenia substancjami chemicznymi, pożar w laboratorium, porażenie prądem elektrycznym oraz zranienie będące powodem nieostrożnego obchodzenia się z aparaturą szklaną. Nakłada to obowiązek ścisłego przestrzegania przepisów bezpieczeństwa.

Zranienia szkłem. Spowodowane jest najczęściej przez nieostrożne i nieumiejętne wkładanie rur szklanych w otwory korków lub węże kauczukowe – zranienia unika się stosując następujące zasady: rurkę obtopioną na końcu należy przy wkładaniu w otwór trzymać w odległości nie większej niż 2 cm od wkładanego końca a wylot rurki należy zwilżyć wodą lub gliceryną.

Doświadczenia z palnymi gazami jak np. wodór, prowadzone w aparaturze szklanej muszą być wykonywane pod wyciągiem albo za specjalną szybą ochronną. Student bezpośrednio zajęty tym doświadczeniem powinien pracować w okularach ochronnych. Rozpoczęcie doświadczenia następuje po sprawdzeniu aparatury przez prowadzącego zajęcia i jedynie za jego zgodą.

Ogrzewanie, względnie destylację stężonych kwasów, substancji żrących lub silnie dymiących dokonuje się tylko pod zamkniętym i pracującym wyciągiem. Manipulacje

stężonymi gorącymi kwasami wymagają nałożenia gumowych rękawiczek oraz okularów ochronnych.

Rozcieńczenia stężonych kwasów należy zawsze dokonywać przez powolne wlewanie stężonego kwasu do wody, przy równoczesnym mieszaniu. Nigdy odwrotnie.

Ogrzewając roztwór w probówce należy jej wylot skierować od siebie tak, aby ewentualnie wyrzucona ciecz nie oblała eksperymentującego, względnie sąsiadów. Badając zapach substancji w ogrzewanych probówkach należy zwrócić szczególnie uwagę na możliwość wyrzucenia cieczy z naczynia i oparzenia twarzy a zwłaszcza oczu. W wypadku oparzenia kwasem lub ługami należy natychmiast splukać miejsce oparzone silnym strumieniem wody z wodociągu. Tak samo należy postępować przy poparzeniu oczu.

Pożar. W przypadku pożaru należy równocześnie udzielić pomocy poszkodowanej osobie i usunąć źródło pożaru. Stłumienie palącej się odzieży następuje za pomocą koca lub natrysku. Lokalizowanie pożaru dokonuje się piaskiem lub gaśnicami.

Wszelkie czynności, podczas których wydzielają się szkodliwe pary lub gazy (HCl, NO₂, H₂S, HCN, HF, NH₃, itp.) muszą być wykonywane pod zamkniętym i działającym wyciągiem.

Ogrzewanie i odparowywanie cieczy może być wykonane na stołach laboratoryjnych jedynie w takim przypadku, kiedy ulatnia się czysta para wodna, wolna od lotnych kwasów, zasad lub przykrych zapachów.

Przy badaniu zapachu nieznanymi próbek należy wykonać tę czynność ostrożnie np. przez wachanie korka lub skierowanie powietrza z nad naczynia z próbką ku nosowi przez wachlowanie dłonią, nigdy zaś przez bezpośrednie wdychanie.

Kategorycznie zabrania się badania smaku wszelkich substancji chemicznych.

O wszelkich zranieniach, oparzeniach, zatruciach czy innych przypadkach należy bezzwłocznie powiadomić najbliższą osobę spośród personelu.

Substancje szkodliwe. Pod względem szkodliwego działania na organizm ludzki substancje możemy podzielić na trujące, np. cyjanek, arsenik i żrąco parzące jak np. stężone kwasy lub zasady. Substancją trującą może być zasadniczo każdy związek chemiczny. Zależy to od dawki i częstości wprowadzania do organizmu oraz drogi jaką substancja chemiczna dostała się do organizmu. Do pewnych substancji chemicznych można się częściowo przyzwyczaić (np. arsenik) inne natomiast gromadzą się systematycznie w organizmie i są potem przyczyną poważnych i długotrwałych schorzeń (np. ołów). Niektóre osoby mogą być uczulone na dany związek chemiczny. Osoby te w zetknięciu z małą ilością substancji ulegają znacznemu zatruciu. Trucizny dostają się do organizmu przez drogi oddechowe (pary i pyły), przez skórę (brom, fenol, fosfor), przez przewód pokarmowy lub do krwioobiegu w przypadku zranienia.

PIERWSZA POMOC

W przypadku zatrucia należy chorego wynieść na świeże powietrze, udzielić pierwszej pomocy i wezwać lekarza. Podaje się sposoby postępowania w poszczególnych przypadkach.

1. Zatrucie arsenikiem. Należy spowodować wymioty roztworem mydła podać roztwór tiosiarczanu (4g Na₂S₂O₃ w 450 ml wody) a następnie mleko i środki pobudzające.

2. Zatrucie bromem w roztworze. Należy spowodować wymioty, podać 5-procentowy roztwór NaHCO_3 , mleko i środki pobudzające.
3. Zatrucie chlorem w roztworach. Należy podać 2 ml amoniaku w 100 ml wody, spowodować wymioty.
4. Zatrucie cyjankami. Należy usunąć chorego z pomieszczenia, spowodować wymioty, podać 3 - procentowy roztwór H_2O_2 .
5. Zatrucie gazami trującymi (CO , H_2S , gaz, tlenki azotu). Należy przenieść chorego na świeże powietrze, zastosować sztuczne oddychanie, podać tlen, chorego trzymać w ciepłe, zapewnić odpoczynek i unikanie wysiłku.
6. Zatrucie gazami żrącymi (NH_3 , Cl_2 , Br_2 , SO_2). Należy przenieść chorego na świeże powietrze. W przypadku zatrucia amoniakiem należy dawać do wdychania kwas octowy rozcieńczony, przy zatruciu Br_2 , Cl_2 , HCl rozcieńczony amoniak.
7. Zatrucie kwasami mineralnymi. Nie wolno stosować środków wymiotnych, gdyż spowodowałyby oparzenie dróg pokarmowych. Podać tlenek magnezowy lub wodę wapienną ponawiając dawki w krótkich odstępach. Nie podawać węglanów. Stosować środki pobudzające.
8. Zatrucie zasadami żrącymi. Nie wolno stosować środków wymiotnych, podać mleko i 5-procentowy roztwór kwasu octowego.
9. Porażenie prądem elektrycznym. Należy porażonego odizolować od prądu, zastosować sztuczne oddychanie i podać środki pobudzające.

ZASADY OBLICZEŃ

Jednostki SI

Układ SI oparty jest na siedmiu wielkościach podstawowych i dwóch uzupełniających. Dla każdej z tych wielkości przyjęto jedną jednostkę. Układ SI pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Układ jednostek SI

Wielkości	Zalecane oznaczenia wielkości	Jednostki miar	Oznaczenia jednostek
Podstawowe			
długość	l	metr	m
masa	m	kilogram	kg
czas	t	sekunda	s
natężenie prądu elektr.	I	amper	A
temperatura	T	kelwin	K
światłość	J	kandela	cd
liczność materii	n	mol	mol
Uzupełniające			
kąt płaski		radian	rad
kąt bryłowy		steradian	sr

Wszystkie inne wielkości fizyczne można zdefiniować za pomocą wielkości podstawowych. Podstawiając do wzoru definiującego daną wielkość fizyczną, zamiast wielkości podstawowych, odpowiadające im jednostki podstawowe i opuszczając występujące we wzorze współczynniki liczbowe, uzyskuje się jednostkę danej wielkości fizycznej. Tak uzyskane jednostki pochodne wraz z jednostkami podstawowymi nazywa się jednostkami głównymi. Niektóre jednostki pochodne, poza symbolami utworzonymi z symboli jednostek podstawowych, uzyskały osobne nazwy, np. kulomb ($C = A \cdot s$), dżul ($J = m^2 \text{ kg s}^{-2}$), paskal ($\text{Pa} = \text{N m}^{-2} = \text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$).

Oprócz głównych jednostek miar, układ SI dopuszcza stosowanie jednostek krotnych (wielokrotnych i podwielokrotnych). W celu utworzenia jednostki krotnej stosuje się odpowiednie przedrostki (tabela 2).

Przedrostki nie będące wielokrotnością trzeciej potęgi (h, da, c) należy stosować tylko dla tych jednostek, dla których są dotychczas w użyciu, np. można używać jednostkę dm (decymetr) ale nie należy używać jednostki hm (hektometr). Układ SI przyjmuje zasadę, że jednostki krotne nie mogą mieć własnych nazw, takich jak dawniej stosowany angstrom, mikron itp., a ich nazwy tworzone są za pomocą tylko jednego przedrostka, np. dawny milimikron (10^{-9} m) - to w układzie SI nie milimikrometr, lecz nanometr (tabela 3). Dlatego też krotność jednostki masy tworzy się nietypowo, nie od kg, lecz od g, a więc 1000 kg to nie kkg (kilokilogram) lecz Mg (megagram). W wypadku jednostek pochodnych zaleca się

stosowanie krotności jedynie w liczniku, a więc np. jako jednostkę 1000 -krotnie większą od kg/m^3 lepiej jest używać nie $\text{kg/dm}^3 = \text{g/cm}^3$ lecz Mg/m^3 .

Tabela 2.

Przedrostek	Znaczenie	Oznaczenie
eksa	10^{18}	E
peta	10^{15}	P
tera	10^{12}	T
giga	10^9	G
mega	10^6	M
kilo	10^3	k
hekto	10^2	h
deka	10^1	da
decy	10^{-1}	d
centy	10^{-2}	c
mili	10^{-3}	m
mikro	10^{-6}	μ
nano	10^{-9}	n
piko	10^{-12}	p
femto	10^{-15}	f
atto	10^{-18}	a

Tabela 3.

Przeliczenie niektórych jednostek dawniej stosowanych na jednostki SI:

angsztre	$1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm}$
litr	$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$
atmosfera fizyczna	$1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ (dokładnie)
milimetr słupa rtęci	$1 \text{ mmHg} = 133,322 \text{ Pa}$
stopień Celsjusza	$1^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$. $t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$
kaloria	$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$ (dokładnie)

Jak podano już w tabeli 1 wielkością opisującą ilość materii jest liczność materii, a jej jednostką jest mol. Mol definiuje się jako liczność materii występującą gdy liczba cząstek (cząstek, atomów, jonów itp.) jest równa liczbie atomów zawartych w 0,012 kg (dokładnie) nuklidu ^{12}C . To znaczy, że mol jest jednostką tego samego typu, co tuzin czy kopa i jest równoznaczny z terminem liczba Avogadro. Masa mola różnych substancji jest różna i np. jeden mol siarki ma masę 32 g a główną jednostką masy molowej jest kg/mol . Należy przy tym zwrócić uwagę, że podobnie brzmiące pojęcia masa atomowa i masa cząsteczkowa są wielkościami bezwymiarowymi (względny), które są określone następująco: masa

atomowa (cząsteczkowa) jest to stosunek średniej masy atomu danego pierwiastka (cząsteczki danego związku) do 1/12 (dokładnie) masy atomu nuklidu ^{12}C .

Na przykład masa atomowa cynku wynosi:
 $(1,085 \cdot 10^{-25} \text{ kg}) / (1,660 \cdot 10^{-27}) \text{ kg} = 65,37$.

Dokładność obliczeń

Nauki takie jak fizyka czy chemia zajmują się ilościowymi zależnościami między różnymi wielkościami fizycznymi. Wartość określonej wielkości jest iloczynem liczby przez odpowiednią jednostkę miary (np. 5 kmol/m^3). Wartości liczbowe uzyskuje się z pomiarów. Pomiar wielkości fizycznych są wykonane z pewną skończoną dokładnością. Celem poprawnego pomiaru jest ustalenie przedziału, wewnątrz którego znajduje się rzeczywista wartość. W wyniku pomiaru otrzymuje się wartość wielkości fizycznej (w), obciążoną pewnym błędem bezwzględnym, co zapisuje się następująco:

$$w = 2,37 \pm 0,03 \text{ lub ogólnie } w = M \pm F.$$

Często danej wielkości fizycznej nie mierzy się bezpośrednio, lecz jej wartość oblicza się z wartości kilku innych wielkości fizycznych. W takim przypadku należy, korzystając ze znanych granic dokładności pierwotnych wartości, określić błąd wartości obliczonej. A zatem:

A. Jeżeli F jest maksymalnym błędem wartości M , to:

1) maksymalny błąd sumy różnicy kilku wartości jest sumą błędów poszczególnych wartości:

$$a - b + c = M_a - M_b + M_c \pm (F_a + F_b + F_c),$$

a błąd względny F/M sumy jest zawarty między najmniejszym a największym błędem względnym F_i/M_i , poszczególnych składników

2) błąd względny iloczynu lub ilorazu kilku wartości jest równy sumie błędów względnych poszczególnych czynników, stąd wynika, że:

$$\frac{a \cdot b}{c} = \frac{M_a \cdot M_b}{M_c} \pm \frac{M_a \cdot M_b}{M_c} \left(\frac{F_a}{M_a} + \frac{F_b}{M_b} + \frac{F_c}{M_c} \right)$$

$$a^n = M_a^n \pm M_a^n \cdot n \cdot \frac{F_a}{M_a}$$

$$\sqrt[n]{a} = \sqrt[n]{M_a} \pm \sqrt[n]{M_a} \frac{1}{n} \frac{F_a}{M_a}$$

B. Jeżeli M jest wartością średnią, uzyskaną z n pomiarów, natomiast F jest średnim błędem wartości średniej obliczonym ze wzoru:

$$F = \sqrt{\frac{\sum_i f_i^2}{n(n-1)}},$$

gdzie f jest różnicą między M a wynikiem i -tego pomiaru, to można przyjąć, że;

$$1. \quad a - b + c = M_a - M_b + M_c \pm (F_a^2 + F_b^2 + F_c^2)$$

$$2. \quad \frac{a \cdot b}{c} = \frac{M_a \cdot M_b}{M_c} \pm \frac{M_a \cdot M_b}{M_c} \sqrt{\frac{F_a^2}{M_a^2} + \frac{F_b^2}{M_b^2} + \frac{F_c^2}{M_c^2}}$$

Ze względu na uciążliwość zapisu wartości liczbowych z podawaniem ich błędów można stosować zapis uproszczony, zakładając, że ostatnia zapisana cyfra jest niepewna w granicach ± 1 . Jeżeli takie uproszczenie jest dla podającego wynik nie do przyjęcia należy wtedy podać zarówno wartość średnią jak i błąd.

Aby błąd wartości uzyskanej z obliczeń był zgodny z błędem wynikającym z błędów danych wyjściowych, trzeba przy wykonywaniu rachunków stosować pewne zasady oparte na pojęciu cyfry znaczącej. Cyfry znaczące są to wszystkie cyfry, począwszy od pierwszej nie będącej zerem do ostatniej zapisanej po przecinku. Np. liczba 0,0130070 ma 6 cyfr znaczących. W przypadku gdy liczba nie ma cyfr po przecinku, końcowe zera nie muszą być cyframi znaczącymi i dlatego np. liczbę 13700 należy zapisywać: $1,37 \cdot 10^4$ (3 cyfry znaczące), $1,370 \cdot 10^4$ (4 cyfry znaczące) lub $1,3700 \cdot 10^4$ (5 cyfr znaczących).

1. Przy mnożeniu i dzieleniu wartości liczbowych należy zachować w wyniku tyle cyfr znaczących, ile jest ich w tej wartości, która ma najmniejszą liczbę cyfr znaczących, np: $W = 2,7 \cdot 1,34 \approx 3,618$, $W = 3,6$, ale $2,700 \cdot 1,34 = 3,62$. Podobnie, przy podnoszeniu do potęgi i wyciąganiu pierwiastka z wartości liczbowej, w wyniku należy zachować tyle cyfr znaczących, ile ich ma dana wartość.

2. Przy dodawaniu i odejmowaniu błędy mogą się sumować, ale mogą się również wzajemnie kompensować. Przy dodawaniu niewielu liczb (np. dwóch) dla uproszczenia obliczeń zwykle przyjmuje się, że dokładność wyniku jest taka sama jak najmniej dokładnego składnika sumy, a za taki przyjmuje się liczbę, która ma mniej miejsc po przecinku. Na przykład 2,7 jest przy dodawaniu mniej dokładną liczbą niż 0,027, liczba 22,7 jest mniej dokładną od 22,700, a liczba $1,37 \cdot 10^3$, czyli 1370, jest mniej dokładną niż 18,1.

W przypadku liczb całkowitych bez miejsc dziesiętnych liczba mniej dokładna ma ostatnią cyfrę nie będącą zerem położoną najbardziej w lewo w stosunku do jedności. Na przykład liczba $1,37 \cdot 10^3$, czyli 1370, czyli 1370 ± 10 , jest mniej dokładną niż 18.

Przykłady:

$$\begin{array}{ll} a = 22,752 + 38,2737 + 3,34 \sim 64,3657, & a = 64,37, \\ b = 283,4 + 0,003 \sim 283,403, & b = 283,4, \\ c = 7,382 - 7,38 \sim 0,002, & c = 0,00. \end{array}$$

3. Logarytmy liczb o 2 lub więcej cyfrach znaczących mają mantysy o takiej samej ilości cyfr znaczących co liczba logarytmowana a dokładność mantysy wynosi ± 4 na ostatniej cyfrze znaczącej. Na przykład:

$$\begin{array}{l} \log 0,20 = -1,70, \\ \log 2,00 \cdot 10^{21} = 21,301. \end{array}$$

4. We wszystkich obliczeniach pośrednich należy zachować o jedną cyfrę znaczącą więcej, niż to wynika z reguł podanych w punktach 1-3. Np. $2,7 \cdot 1,34 \sim 3,618$ do dalszych obliczeń należy wziąć liczbę 3,62 a nie 3,6 lecz ostateczny wynik zaokrąglić do dwóch cyfr znaczących.

5. Przy zaokrągleniu wyników obliczeń do liczby cyfr wynikającej z dokładności danych stosuje się następujące reguły:

a) jeżeli zaokrąglana końcówka ma cyfrę od 0 do 4, lub od 0 do 49 lub od 0 do 499 itd., to się je odrzuca. Przykładowo, zaokrąglając liczbę 4,62 do dwóch cyfr znaczących otrzymamy 4,6 a liczbę 6,732 do dwóch cyfr znaczących podajemy ją jako równą 6,7 bo zaokrąglana końcówka w liczbie 6,732 to 32 i jest ona mniejsza od 49

b) przy odrzucanej końcówce, zaczynającej się od cyfr 6,7,8 lub 9 (lub od 51 do 99, czy też od 501 do 999 itd.) ostatnią cyfrę pozostającą powiększa się o 1 np. $6,753 = 6,8$

c) jeżeli odrzuconą końcówką jest cyfra 5 lub cyfra 5 po której są same zera, pozostająca cyfra powinna być parzysta, np. $6,650 = 6,6$ ale $6,75 = 6,8$

6. W obliczeniach, w których dane wyjściowe mają bardzo dużą dokładność, należy przed wykonaniem działań zaokrąglić wyjściowe wartości liczbowe tak, aby miały najwyżej o jedną cyfrę znaczącą więcej (przy dzieleniu lub mnożeniu) lub o jedno miejsce dziesiętne więcej (przy odejmowaniu lub dodawaniu), niż najmniej dokładna wartość.

Należy przy tym pamiętać, że dokładność otrzymanego wyniku zależy nie tylko od dokładności danych wyjściowych i użytych stałych fizycznych, lecz często także od dokładności zastosowanych praw fizycznych, i tak: prawo $pV=nRT$ nie jest prawdziwe z dowolną dokładnością dla gazów rzeczywistych.

Wykonaj następujące zadania

1. Ile jest cyfr znaczących w następujących liczbach

- a) 12,010; b) $l = 0,50$ cm; c) $(37,82 \pm 0,04)\%$;
d) 22,990; e) 3,0 %; f) $m = 0,0563$ g; g) stała Faradaya = 96500 ± 10 C.

2. Zaokrąglić następujące liczby do dwóch cyfr znaczących

- a) 237,2; b) 0,505; c) $1,342 \cdot 10^{-5}$.

3. Zaokrąglić następujące liczby do trzech cyfr znaczących

- a) 145,11; b) 8945,71; c) 7,3986; d) 0,05557; e) 3,835.

4. Zaokrąglić następujące liczby, zostawiając tylko dwie cyfry po przecinku

- a) 3645; b) 3,655; c) 0,0747; d) 0,0087; e) 0,0043.

5. Obliczyć iloczyny:

$$a = 2,53 \cdot 32,82 \cdot 48,14; \quad b = 24,02 \cdot 0,00450 \cdot 1,855; \quad c = 682 \cdot 0,22531 \cdot 32,55.$$

Obliczyć granicę dokładności wyników przy najmniej korzystnym ułożeniu się błędów poszczególnych wartości.

6. Obliczyć sumy:

$$a = 34,52 + 0,0845 + 5,3427; \quad b = 1,304 + 31,22 + 6,32;$$

$$c = (1,276 \cdot 0,004730) - 2,84 \cdot 10^{-4} + (0,0021 \cdot 0,012);$$

$$d = (1,276 \cdot 0,000473) - 2,84 \cdot 10^{-4} + (0,021764 \cdot 0,01213).$$

7. Obliczyć wartość liczbowa wyrażenia:

$$w = \{ 0,522 (63,4 + 3,29) / (344,5 - 340,1) \}$$

8. Znaleźć logarytmy liczb: 2; 20; 300; 0,5; 0,0103 i 98,7 i określić jakie są rzeczywiste granice dokładności powyższych logarytmów, wynikające z granic dokładności liczb logarytmowanych.