Τα τυχαία ή ακαθόριστα σφάλματα (random ή indeterminate) εκφράζουν την πειραματική αβεβαιότητα που υπάρχει σε κάθε μέτρηση. Αυτά μπορεί να είναι θετικά ή αρνητικά και επιφέρουν μικρές διαφορές στην επιτυχία μιας μέτρησης που γίνεται από τον ίδιο αναλυτή σε ιδανικές συνθήκες και δεν μπορούν να προβλεφθούν ή να υπολογισθούν.

Συνήθως προέρχονται από μη ελεγχόμενες μεταβλητές που ενυπάρχουν σε κάθε φυσική ή χημική μέτρηση. Οφείλονται σε αστάθμητους παράγοντες ή αιτίες που δεν είναι μόνιμες και δεν μπορούν να ελεγχθούν από τον αναλυτή, όπως για παράδειγμα οι διακυμάνσεις εξωτερικών επιδράσεων.

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα τυχαία σφάλματα προέρχονται από την περιορισμένη ικανότητα του αναλυτή να ελέγξει ή να διορθώσει τις εξωτερικές συνθήκες ή την ανικανότητά του να αναγνωρίσει την εμφάνιση παραγόντων που θα επηρεάσουν την ακρίβεια του αποτελέσματος.

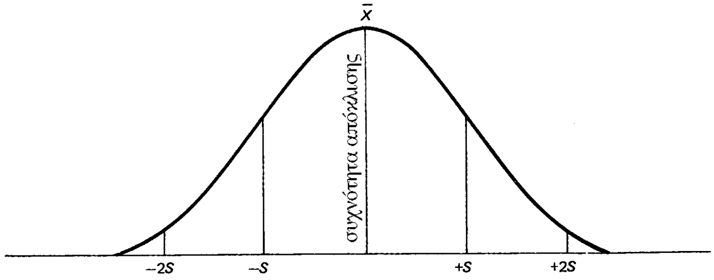
Τα τυχαία σφάλματα επηρεάζουν την επαναληπτικότητα της μεθόδου.

Τα τυχαία σφάλματα μπορεί να καθορισθούν με ένα προδιαγεγραμμένο τρόπο. ΄Εχει βρεθεί εμπειρικά ότι τα σφάλματα αυτά ακολουθούν μια συγκεκριμένη στατιστική κατανομή που ονομάζεται **κατανομή Gauss**. Η κατανομή αυτή χαρακτηρίζεται από μια συμμετρική καμπύλη σε σχήμα κώδωνα, της οποίας η κορυφή αντιστοιχεί στη μέση τιμή των μετρήσεων. Μια άλλη παράμετρος είναι το «εύρος» του κώδωνα στο μισό του ύψους του, που αντιστοιχεί στην τυπική απόκλιση.

Στην πράξη είναι δύσκολο να γίνει διαχωρισμός των συστηματικών σφαλμάτων από τα τυχαία, εξάλλου πολλά σφάλματα είναι συνδυασμός και των δύο τύπων.

Τα τυχαία σφάλματα εξουδετερώνονται μερικώς με την αύξηση του αριθμού των μετρήσεων. Μερικές φορές αλλάζοντας τις συνθήκες κάποιο άγνωστο σφάλμα εξαφανίζεται.

Φυσικά είναι αδύνατο να εξαλειφθεί η πιθανότητα τυχαίου σφάλματος σε μια ανάλυση και ο αναλυτής πρέπει να ελαχιστοποιεί τα τυχαία σφάλματα σε ένα ανεκτό ή μη σημαντικό επίπεδο.



Σχήμα 2.3
Συνήθης καμπύλη σφάλματος (Gauss)

2.3 Σημαντικά ψηφία.

Απόλυτη και σχετική αβεβαιότητα

Η απόλυτη αβεβαιότητα εκφράζει τα περιθώρια της αβεβαιότητας που συνδέονται με μια μέτρηση. Αν η υπολογιζόμενη αβεβαιότητα στην ένδειξη μιας προχοϊδας είναι ± 0,02 mL, λέμε ότι η απόλυτη αβεβαιότητα που συνδέεται με τη μέτρηση είναι ± 0,02 mL.

Η σχετική αβεβαιότητα συγκρίνει το μέγεθος της απόλυτης αβεβαιότητας με το μέγεθος της συσχετιζόμενης μέτρησης. Η σχετική αβεβαιότητα μιας ένδειξης προχοϊδας 12,35 ± 0,02 mL είναι η ποσότητα

0,02 mL / 12,35 mL = 0,002

Επομένως:

Σχετική αβεβαιότητα = Απόλυτη αβεβαιότητα / μέγεθος δείγματος

Η % σχετική αβεβαιότητα γίνεται τότε:

% Σχετική αβεβαιότητα = 100 Χ Σχετική αβεβαιότητα

και για το παράδειγμά μας : 100 Χ 0,002 = 0,2%

Αν η απόλυτη αβεβαιότητα στην ένδειξη μιας προχοϊδας είναι σταθερή ίση με ± 0,02 mL, η % σχετική αβεβαιότη-

Το τελευταίο ψηφίο μιας μέτρησης έχει κάποια αβεβαιότητα. Δεν μπορούμε να συμπεριλάβουμε περισσότερα ψηφία.

Η έννοια της αβεβαιότητας συσχετίζεται με τα τυχαία σφάλματα. Υποθέτουμε ότι τα συστηματικά σφάλματα τα έχουμε εντοπίσει και διορθώσει.

τα για έναν όγκο 10mL είναι 0,2% και για έναν όγκο 20mL είναι 0,1%.

Διάδοση της αβεβαιότητας

Υποθέτουμε ότι θέλουμε να μετρήσουμε την πυκνότητα του νερού μετρώντας τη μάζα του (4,635 ± 0,002g) και τον όγκο του (1,13 ± 0,05 mL). Η πυκνότητα εκφράζεται ως η μάζα ανά μονάδα όγκου: 4,635/1,13=4,101 8 g/mL. Η αβεβαιότητα στην μετρούμενη μάζα είναι ± 0,002g και στον όγκο ± 0,05 mL, αλλά ποια είναι η αβεβαιότητα στο σύνθετο μέγεθος της πυκνότητας;

Όπως βλέπουμε και στο ερώτημα που μας απασχολεί, στα περισσότερα πειράματα είναι αναγκαίο να γίνουν αριθμητικές πράξεις με αριθμούς, ο καθένας από τους οποίους συνδέεται με κάποιο τυχαίο σφάλμα. Έτσι η αβεβαιότητα στο τελικό αποτέλεσμα δεν είναι εύκολο να προβλεφθεί αφού τα επιμέρους σφάλματα είναι άλλα θετικά και άλλα αρνητικά. Ως εκ τούτου υπολογίζουμε σε κάποια αλληλοεξουδετέρωση σφαλμάτων και καταλήγουμε στον εξής μαθηματικό χειρισμό της αβεβαιότητας.

Πρόσθεση και αφαίρεση

Υποθέτουμε ότι θέλουμε να κάνουμε τους ακόλουθους υπολογισμούς, όπου οι πειραματικές αβεβαιότητες ορίζονται ως A_1, A_2, και A_3 και δίνονται μέσα στις παρενθέσεις:

$$
\begin{array}{rl}
1{,}76\ (\pm\ 0{,}03) & \rightarrow A_1 \\
+1{,}89\ (\pm\ 0{,}02) & \rightarrow A_2 \\
-\ 0{,}59\ (\pm\ 0{,}02) & \rightarrow A_3 \\
\hline
3{,}06\ (\pm\ A) &
\end{array}
$$

Η αριθμητική απάντηση είναι 3,06. Ποια είναι όμως η αβεβαιότητα Α, η οποία συσχετίζεται με το ανωτέρω αποτέλεσμα;

Για την πρόσθεση και την αφαίρεση η απόλυτη αβεβαιότητα στο αποτέλεσμα αποκτάται σαν η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των απόλυτων αβεβαιοτήτων των επιμέρους τιμών, δηλαδή:

ΑΠΟΛΥΤΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΘΕΣΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΦΑΙΡΕΣΗ	$A=\left(A_1^2+A_2^2+A_3^2\right)^{1/2}$

ή $A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2}$

Για την πρόσθεση και την αφαίρεση χρησιμοποιούμε τις απόλυτες αβεβαιότητες.

Για το παράδειγμά μας:

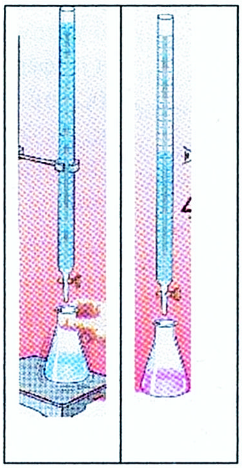
$$A = \left[(0{,}03)^2+(0{,}02)^2+(0{,}02)^2\right]^{1/2} = 0{,}04$$

Η απόλυτη αβεβαιότητα είναι ±0,04 και η απάντηση γράφεται: απόλυτη αβεβαιότητα 3,06 (± 0,04).

Η % σχετική αβεβαιότητα = 0,04/3,06 X100 = 1% και η απάντηση γράφεται: % σχετική αβεβαιότητα 3,06 (±1%)

Παράδειγμα 4ο:

Ο όγκος που παραδίδεται από μια προχοΐδα είναι η διαφορά ανάμεσα στην τελική ένδειξη και στην αρχική ένδειξη του οργάνου. Αν η αβεβαιότητα για κάθε ένδειξη είναι ± 0,02 mL, ποια θα είναι η αβεβαιότητα για τον όγκο που παραδίνεται;



Αρχική και τελική ένδει - ξη προχοΐδας.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Υποθέτουμε ότι η αρχική ένδειξη του οργάνου είναι 0,05(± 0,02) mL και η τελική ένδειξη 17,88(± 0,02) mL. Ο όγκος που παραδίνεται είναι η διαφορά:

17,88(± 0,02) mL - 0,05 (± 0,02) mL = 17,83 (±A)

$$A = \left(0{,}02^2+0{,}02^2\right)^{1/2} = 0{,}03$$

Άσχετα από την αρχική και τελική ένδειξη, αν η αβεβαιότητα για κάθε μια τιμή είναι ± 0,02 mL, η αβεβαιότητα στον όγκο που παραδίνεται είναι ± 0,03 mL.

Πολλαπλασιασμός και διαίρεση

Για τον πολ/σμό και τη διαίρεση πρώτα μετατρέπουμε τις απόλυτες αβεβαιότητες σε % σχετικές αβεβαιότητες και στη συνέχεια υπολογίζουμε την % σχετική αβεβαιότητα για το αποτέλεσμα ως εξής:

Για τον πολ/σμό και τη διαίρεση χρησιμοποιούμε τις % σχετικές αβεβαιότητες.

% ΣΧΕΤΙΚΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΤΟΝ ΠΟΛ/ΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΔΙΑΙΡΕΣΗ $\%A = \left(\%A_1^2 + \%A_2^2 + \%A_3^2\right)^{1/2}$

Για παράδειγμα θεωρούμε ότι εκτελούμε τις ακόλουθες πράξεις:

1,76(± 0,03) X 1,89 (± 0,02) / 0,59(± 0,02) = 5,64 ± A

πρώτα μετατρέπουμε τις απόλυτες αβεβαιότητες σε % σχετικές βεβαιότητες

1,76(± 1%) X 1,89 (± 1%) / 0,59(± 3%) = 5,64 ± A

κατόπιν υπολογίζουμε την % σχετική αβεβαιότητα

$$\%A = \left(1^2 + 1^2 + 3^2\right)^{1/2} = 4\%$$

Η απάντηση είναι : % σχετική αβεβαιότητα 5,6 (±4%)

Για να μετατρέψουμε την % σχετική αβεβαιότητα σε απόλυτη αβεβαιότητα πολ/ζουμε την % σχετική αβεβαιότητα επί την αριθμητική τιμή, δηλαδή:

4% X 5,6 = 0,04 X 5,6 = 0,2

Η απάντηση είναι: απόλυτη αβεβαιότητα 5,6 (±0,2)

Η αβεβαιότητα στην κάθε μέτρηση, και κατά συνέπεια στους μαθηματικούς μας υπολογισμούς, καθορίζει και τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων, με τα οποία εκφράζουμε τα αποτελέσματά μας.

Το πρώτο αβέβαιο ψηφίο μιας απάντησης είναι το τελευταίο σημαντικό ψηφίο αυτής.

Ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων είναι ο ελάχιστος αριθμός ψηφίων που απαιτείται για να γράψουμε μια δεδομένη τιμή σε επιστημονική σημείωση χωρίς να έχουμε απώλεια στην ακρίβεια. Με δεδομένη την αβεβαιότητα σε κάθε μέτρηση, ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων περιλαμβάνει όλα τα ψηφία που είναι γνωστά συν το πρώτο αβέβαιο ψηφίο.

Σημαντικά ψηφία είναι όλοι οι αριθμοί 1,2,3,4,5,6,7,8 και 9. Το μηδέν ανάλογα με τη θέση που έχει στον αριθμό μπορεί να είναι ή να μην είναι σημαντικό ψηφίο. Το μηδέν μπορεί να είναι σημαντικό ψηφίο μιας μέτρησης ή μπορεί να εκφράζει τη θέση της υποδιαστολής ή να προσδιορίζει την τάξη (εκατοντάδα, χιλιάδα κλπ). Ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων δεν έχει σχέση με το μέγεθος του αριθμού. Οι αριθμητικές τιμές 104 000 μm, 104 m, 10,4cm, 1,04 dm, 0,104 m και 0,000104 km, έχουν όλες τον ίδιο αριθμό σημαντικών ψηφίων: τρία. Το μηδέν, δηλαδή, όταν βρίσκεται στην αρχή του αριθμού και καθορίζει τη θέση της υποδιαστολής, δεν θεωρείται ως σημαντικό ψηφίο όπως στους αριθμούς 0,104 και 0,000104 . Επίσης όταν καθορίζει την τάξη (εκατοντάδα, χιλιάδα κλπ) όπως στον αριθμούς 104 000. Όταν όμως βρίσκεται μεταξύ άλλων ψηφίων ή στο τέλος δεκαδικού αριθμού είναι σημαντικό ψηφίο όπως στους αριθμούς 104, 10,4 ή 10,40.

Το μηδέν είναι σημαντι - κό ψηφίο όταν βρίσκεται: στο μέσον ενός αριθμού, στο τέλος του αριθμού στη δεξιά πλευρά μετά από υποδια - στολή.

Στην περίπτωση ενός πολύ μεγάλου ή πολύ μικρού αριθμού ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων καθορίζεται από την **τυποποιημένη ή εκθετική μορφή** του. Έτσι ο αριθμός γράφεται ως γινόμενο ενός αριθμού μεγαλύτερου ή ίσου του 1 αλλά μικρότερου του 10 επί μια θετική ή αρνητική δύναμη του 10, ενώ η υποδιαστολή μπαίνει μετά το πρώτο σημαντικό ψηφίο. Για παράδειγμα η αριθμητική τιμή μιας απόστασης 152 300 000 m γράφεται 1,523X108 m και έχει τέσσερα σημαντικά ψηφία. Επίσης το μήκος 0,000104 km γράφεται 1,04X10-4 km και έχει τρία σημαντικά ψηφία.

Τα σημαντικά μηδέν κατωτέρω είναι έντονα:

106

0,0106

0,106

0,1060

Παράδειγμα 5ο:

Βρείτε τον αριθμό των σημαντικών ψηφίων των αριθμών 0,216, 90,7, 800,0 και 0,0670 και δείξτε ποια από τα μηδέν είναι σημαντικά.

ΛΥΣΗ:

Καμιά υπολογιζόμενη τιμή δεν μπορεί να είναι περισσότερο ακριβής από το λιγότερο ακριβές αποτέλεσμα μιας μέτρησης που χρησιμο - ποιείται στους υπολογισμούς.

0,216 τρία σημαντικά ψηφία, το μηδέν δεν είναι σημαντικό ψηφίο

90,7 τρία σημαντικά ψηφία, το μηδέν είναι σημαντικό ψηφίο

800,0 τέσσερα σημαντικά ψηφία, όλα τα μηδέν είναι σημαντικά ψηφία

0,0670 τρία σημαντικά ψηφία, μόνο το τελευταίο μηδέν είναι σημαντικό ψηφίο

Τα σημαντικά ψηφία στις αριθμητικές πράξεις

Ας απαντήσουμε τώρα στο ερώτημα πόσα σημαντικά ψηφία δίνονται για να εκφράσουμε ένα αποτέλεσμα μετά από κάποιες αριθμητικές πράξεις των δεδομένων μας. Η στρογγυλοποίηση θα πρέπει να γίνεται μόνο στην τελική απάντηση για να αποφεύγονται τα σφάλματα στρογγυλοποιήσεων.

Πρόσθεση και Αφαίρεση

Πρόσθεση και αφαίρεση:

1. *Εκφράστε όλους τους αριθμούς με την ίδια δύναμη*
2. *Στοιχείστε τους αριθμούς με προσοχή στα δεκαδικά ψηφία*
3. *Στρογγυλοποιείστε την απάντηση σύμφωνα με τα δεκαδικά ψηφία του αριθμού, που έχει τα λιγό - τερα δεκαδικά ψηφία*

Αν οι αριθμοί που προστίθενται ή αφαιρούνται έχουν ίδιο αριθμό ψηφίων, τότε και το αποτέλεσμα έχει την ίδια δεκαδική θέση με τους επιμέρους αριθμούς;

$$\begin{array}{r} 1{,}362 \text{ X } 10^{-4} \\ +3{,}111 \text{ X } 10^{-4} \\ \hline 4{,}473 \text{ X } 10^{-4} \end{array}$$

Ο αριθμός των σημαντικών ψηφίων σε μια απάντηση μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος από τα αρχικά δεδομένα.

$$\begin{array}{r} 5{,}347 \\ +6{,}728 \\ \hline 12{,}073 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 7{,}26 \text{ X } 10^{14} \\ -6{,}69 \text{ X } 10^{14} \\ \hline 0{,}57 \text{ X } 10^{14} \end{array}$$

Αν οι αριθμοί που προστίθενται δεν έχουν τον ίδιο αριθμό σημαντικών ψηφίων, περιοριζόμαστε στο αριθμό του λιγότερου βέβαιου αριθμού. Για παράδειγμα για τον υπολογισμό της σχετικής μοριακής μάζας του KrF_2

18,998 403 2	(F)
+18,998 403 2	(F)
+83,80	(Kr)
121,79**6 806 4**	

τα ψηφία που σημειώνονται με κόκκινο είναι μη σημαντικά και ο αριθμός 121,796 806 4 στρογγυλοποιείται σε 121,80 σαν τελική απάντηση.

Όταν στρογγυλοποιούμε, ελέγχουμε όλα τα ψηφία μετά το τελευταίο επιθυμητό ψηφίο. Στο ανωτέρω παράδειγμα τα ψηφία 6 806 4 βρίσκονται πέρα από το τελευταίο σημαντικό δεκαδικό ψηφίο που είναι το 9. Επειδή ο αριθμός αυτός είναι πάνω από το μισό για την αμέσως υψηλότερη μονάδα στρογγυλοποιούμε το 9 σε 10 (121,80 αντί 129,79). Αν τα μη σημαντικά ψηφία είναι λιγότερα από το μισό, στρογγυλοποιούμε στην κατώτερη μονάδα, δηλαδή τα στοιχεία δεν λαμβάνονται υπόψη. Για παράδειγμα 121,794 8 στρογγυλοποιείται σε 121,79.

Αν τα μη σημαντικά ψηφία είναι ακριβώς στο μισό τότε στρογγυλοποιούνται στην ανώτερη μονάδα.

Στην πρόσθεση ή την αφαίρεση όλοι οι αριθμοί θα πρέπει να εκφράζονται με την ίδια δύναμη.

1,632	$X10^5$
+ 4,107	$X10^3$
+ 0984	$X10^6$

1,632	$X10^5$
+ 0,04107	$X10^5$
+ 9,84	$X10^5$
11,51	$X10^5$

Το άθροισμα 11,51307 $X10^5$ στρογγυλοποιείται σε 11,51$X10^5$ επειδή ο αριθμός 9,84 $X10^5$ έχει δύο δεκαδικά ψηφία όταν εκφράζεται σαν δύναμη του 10^5.

Πολλαπλασιασμός και διαίρεση

Στον πολ/σμό και τη διαίρεση κανονικά περιοριζόμαστε να εκφράσουμε την απάντηση σύμφωνα με τον αριθμό που έχει τα λιγότερα σημαντικά ψηφία:

$$\begin{array}{rl} & 3{,}26\ \mathrm{X}10^{5} \\ \mathrm{X} & \underline{1{,}78\qquad\quad} \\ & 5{,}80\ \mathrm{X}10^{5} \end{array}$$

$$\begin{array}{rl} & 4{,}317\,9\ \mathrm{X}10^{12} \\ \mathrm{X} & \underline{3{,}6\ \mathrm{X}10^{-19}\quad} \\ & 1{,}6\ \mathrm{X}10^{-6} \end{array}$$

$$\begin{array}{rr} & 34{,}60 \\ \div & \underline{2{,}462\,87} \\ & 14{,}05 \end{array}$$

Η δύναμη του 10 δεν έχει επίδραση στον αριθμό των ψηφίων που θα παραμείνουν.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων σε πίνακες και διαγράμματα (σύστημα Guggenheim).

Συνήθως στην ποσοτική ανάλυση, όπως και σε κάθε άλλη πειραματική επιστήμη, τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων παρουσιάζονται με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων. Ο τρόπος αυτός παρουσίασης προτάθηκε από τον Άγγλο χημικό Guggenheim και υιοθετήθηκε από τη Διεθνή ΄Ενωση της Καθαρής και Εφαρμοσμένης Χημείας, IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) και είναι αυτός που πρέπει να χρησιμοποιείται για τη σωστή παρουσίαση των αποτελεσμάτων μας.

Πίνακες

Όταν παρουσιάζονται σε πίνακες ποσότητες με μονάδες, είναι καλύτερα να δίνονται οι αριθμητικές τιμές χωρίς τις μονάδες τους και να χρησιμοποιείται μια επικεφαλίδα της στήλης που να καθορίζει τις μονάδες. Επίσης συνιστάται ο αριθμός να γράφεται με την τυποποιημένη ή εκθετική μορφή του, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω.

Για παράδειγμα ας εμφανίσουμε σε πίνακα τις τιμές του παραδείγματος 3 της παρ. 2.1, που είναι:

Σε μια σειρά ζυγίσεων πήραμε τις ακόλουθες τιμές:

29,8 mg, 30,2 mg, 28,6 mg και 29,7 mg.

Ο πίνακας θα παρουσιαστεί ως εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1

Παρουσίαση σειράς ζυγίσεων

Μάζα (mg)	**Μάζα (x10^{-2} g)**
29,8	2,98
30,2	3,02
28,6	2,86
29,7	2,97

Γραφικές παραστάσεις ή διαγράμματα

Πολλές φορές τα πειραματικά δεδομένα πρέπει να απεικονίζονται με τη μορφή γραφικών παραστάσεων σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων καρτεσιανών συντεταγμένων.

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων στοχεύει:

- να απεικονίζεται σχηματικά η σχέση δύο μεγεθών και να αποδεικνύονται χαρακτηριστικά που δεν γίνονται εμφανή σε έναν πίνακα αριθμητικών τιμών
- να διερευνάται η μορφή της σχέσης (γραμμική ή εκθετική) που μπορεί να συνδέει δύο μεγέθη

- να απορρίπτονται τιμές που απέχουν πολύ από την τελική καμπύλη που σχεδιάζουμε και προφανώς έχουν μεγάλο ποσοστό σφάλματος.

Επιλογή αξόνων

Αρχικά επιλέγουμε την κλίμακα του κάθε άξονα, η οποία δεν είναι απαραίτητο να είναι η ίδια και για τους δύο άξονες.

Ως κριτήρια επιλογής χρησιμοποιούμε αφενός τη διάσταση που επιθυμούμε να έχει το διάγραμμα στο χιλιοστομετρικό χαρτί και αφετέρου τη μεταβολή του μεγέθους που απεικονίζεται σε κάθε άξονα. Συνήθως επιλέγουμε κλίμακα όπου κάθε υποδιαίρεση του χιλιοστομετρικού χαρτιού είναι πολλαπλάσιο του 2, 5 ή 10 για να προσδιορίζονται ευκολότερα οι ενδιάμεσες τιμές τόσο κατά το σχεδιασμό του διαγράμματος όσο και κατά την αξιοποίησή του.

Σε κάθε άξονα αναγράφονται τελικά οι αριθμητικές τιμές και σε παρένθεση οι χρησιμοποιούμενες μονάδες, όπως και στην περίπτωση των πινάκων.

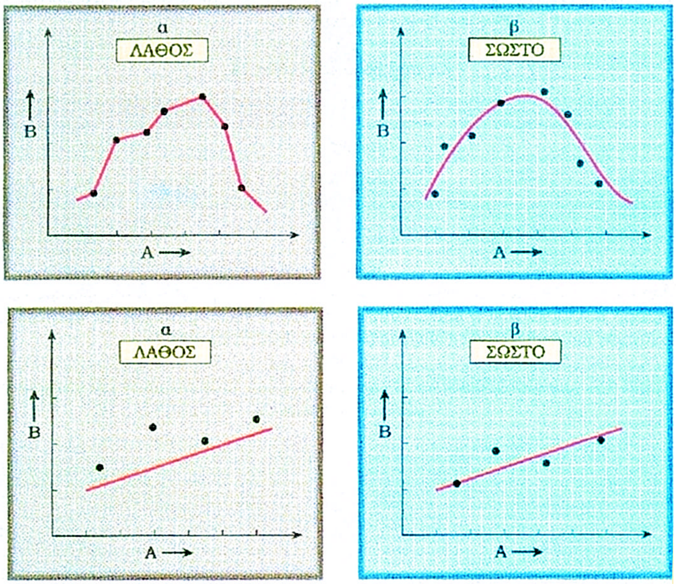
Απεικόνιση των πειραματικών μετρήσεων

Σε κάθε ζεύγος τιμών της ανεξάρτητης και της εξαρτημένης μεταβλητής αντιστοιχεί ένα σημείο στο διάγραμμα. Αυτό σημειώνεται με μια μεγάλη κουκίδα και ένα κύκλο γύρω της για να είναι ευδιάκριτο.

Αν χρειάζεται να σχεδιαστούν δύο ή περισσότερες σειρές μετρήσεων στο ίδιο σχήμα, χρησιμοποιούμε διαφορετικά σύμβολα για την κάθε σειρά.

Σχεδιασμός της καμπύλης

Αφού σημειώσουμε όλα τα σημεία στο διάγραμμα σχεδιάζουμε την καλύτερη καμπύλη που αντιστοιχεί σε αυτά. Η εκτίμηση αυτή γίνεται με το μάτι (ή καλύτερα με τον Η/Υ αν διατίθεται), έτσι ώστε τα πειραματικά σημεία να κατανέμονται ισόρροπα γύρω από την καμπύλη.



ΣΧΗΜΑ 2.4
Στα σχήματα φαίνεται ο σωστός τρόπος σχεδιασμού καμπύλης και χάραξης ευθείας.

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Με βάση όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, καταλήγουμε ότι οι επιστημονικές παρατηρήσεις περιέχουν σφάλματα, τα οποία μπορούν να ανακαλυφθούν με επανάληψη των μετρήσεων και υπολογισμό της ακρίβειάς τους από το μέγεθος των αποκλίσεων. Κανένα αποτέλεσμα δεν πρέπει να απορρίπτεται εκτός της περίπτωσης που είναι γνωστή η πηγή του σφάλματος.

Μετρήσεις που διαφέρουν πολύ από τη μέση τιμή, σε μια μεγάλη σειρά μετρήσεων, συχνά παραλείπονται. Όμως και αυτή η ενέργειά μας πρέπει να αιτιολογείται.

Αν έχουμε ένα μικρό αριθμό επαναλήψεων (μετρήσεων), από τρεις έως οκτώ, μπορούμε να απορρίψουμε μια μέτρηση, εφόσον η απόκλισή της από τη μέση τιμή των άλλων μετρήσεων είναι μεγαλύτερη από το τετραπλάσιο της μέσης απόκλισης των τιμών των υπολοίπων μετρήσεων από τη μέση τιμή αυτών.

Παράδειγμα 6ο:

Σε τέσσερις προσδιορισμούς υγρασίας σε δείγμα αλεύρου βρέθηκαν οι κατωτέρω τιμές: 14,22%, 14,20%, 14,12% κι 14,44%.

Η πιο αμφίβολη τιμή είναι η 14,44. Για να την απορρίψουμε εργαζόμαστε ως εξής:

1) Βρίσκουμε τη μέση τιμή των τριών άλλων τιμών
   14,22+14,20+14,12=42,54
   Μέση τιμή: 42,54/3 = 14,18
2) Βρίσκουμε την απόκλιση κάθε τιμής από τη μέση τιμή (απόλυτες τιμές)
   14,22 – 14,18=0,04
   14,20 – 14,18=0,02
   14,12- 14,18=0,06
3) Βρίσκουμε τη μέση απόκλιση
   0,04+0,02+0,06=0,12
   Μέση απόκλιση: 0,12/3=0,04
4) Η απόκλιση του αμφιβόλου αποτελέσματος 14,44% από τη μέση τιμή των άλλων μετρήσεων είναι:
   14,44 – 14,18=0,26
5) Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από το τετραπλάσιο της μέσης απόκλισης των άλλων τιμών (4X0,04=0,16)
6) Επομένως, το αμφίβολο αποτέλεσμα μπορεί να απορριφθεί.