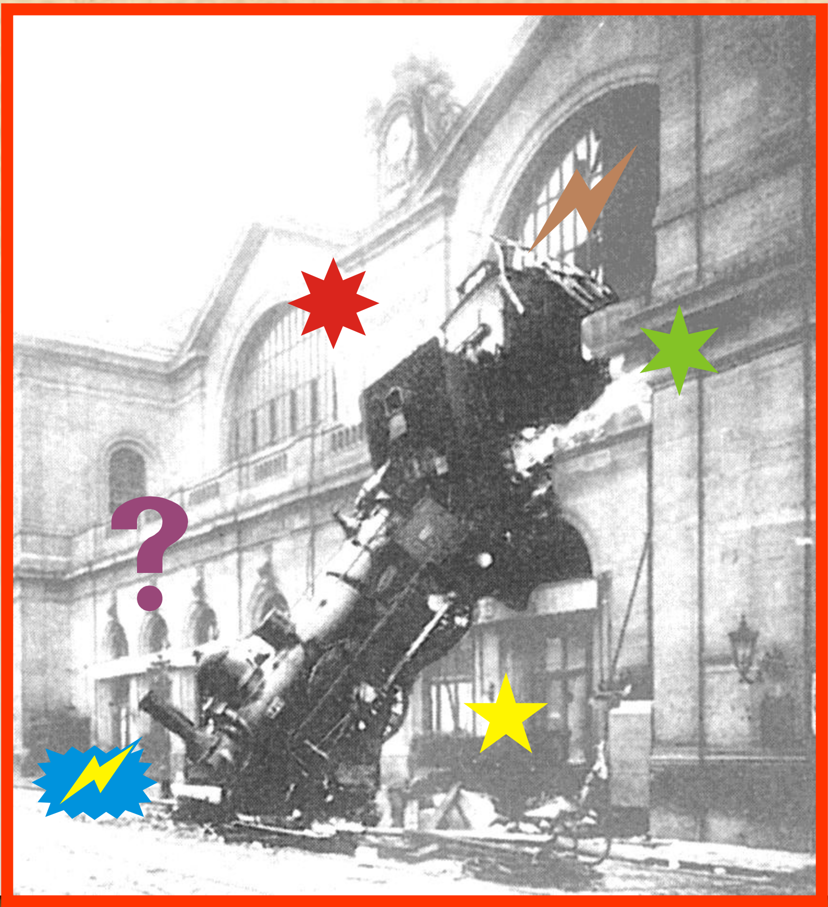
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Παρατήρηση

Πείραμα

Μέτρηση



Θεωρία

Παρακολουθώντας ότι συμβαίνει γύρω μας, ή κάποιο πείραμα παρατηρούμε κάποια γεγονότα, τα οποία δεν μπορούμε να τα ερμηνεύσουμε στα πλαίσια της υπάρχουσας θεωρίας. Αυτά τα γεγονότα τα εξετάζουμε χωρίς να παρεμβαίνουμε.

Δημιουργούμε τις συνθήκες που μας επιτρέπουν να μελετήσουμε τα συγκεκριμένα φαινόμενα, απομονώνοντάς τα από διάφορα «εμπόδια» (ΠΕΙΡΑΜΑ).

Συνήθως απαιτείται η επαναληπτική μελέτη των φαινομένων σε διάφορα εργαστήρια και με διάφορους τρόπους.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος απαιτούνται ποσοτικά αποτελέσματα και γι’ αυτό κάνουμε μετρήσεις, δηλαδή συγκρίνουμε κάποια μεγέθη που εμφανίζονται στο πείραμα με άλλα, που τα θεωρούμε «πρότυπα»

Συνήθως μετράμε χρόνους , μήκη, βάρη (μάζες;;;), τάσεις ρεύματος, εντάσεις κ.τ.λ. Τα υπόλοιπα μεγέθη (ταχύτητες, επιταχύνσεις κ.τ.λ.) πρέπει να τα υπολογίσουμε (παράγωγα μεγέθη)

Με βάση τα αποτελέσματα του πειράματος, αλλά και τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις διατυπώνουμε την κατάλληλη θεωρία. Αυτή όχι μόνο ερμηνεύει τα αποτελέσματα των πειραμάτων μας και τα εκφράζει σε ποσοτική μορφή, αλλά προβλέπει και άλλα φαινόμενα, τα οποία όμως πρέπει να επαληθευθούν πειραματικά.

Κατά τη επαλήθευση αυτών που προβλέπονται από τη «νέα» θεωρία παρατηρούνται φαινόμενα και γεγονότα, τα οποία δεν μπορούμε να τα ερμηνεύσουμε στα πλαίσια της υπάρχουσας θεωρίας.

Ο κύκλος επαναλαμβάνεται

Όλα αυτά βέβαια είναι πολύ σχηματικά, αλλά δείχνουν τη θέση και τη σημασία του πειράματος

Πως διδάσκεται η ΦΥΣΙΚΗ

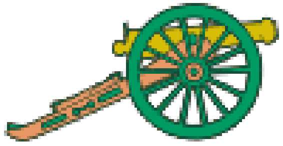
ΜΑΘΗΜΑ

Οι βασικές αρχές της θεωρίας – Επίλυση θεωρητικών προβλημάτων

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

- **Γνωριμία με τα βασικά όργανα**
- **Πειραματικές δεξιότητες**
- **Επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Αξιολόγηση της μεθόδου και των οργάνων. Εκτίμηση της ακρίβειας του θεωρητικού μοντέλου.**
- **Κατανόηση των βασικών νόμων της φυσικής**
- **Γνωριμία με φαινόμενα που δεν περιλαμβάνονται στην ύλη του μαθήματος**

ΕΝΑ ΠΥΡΟΒΟΛΟ ΡΙΧΝΕΙ ΤΗΝ ΟΒΙΔΑ ΤΟΥ ΜΕ ΑΡΧΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ υ_0 ΥΠΟ ΓΩΝΙΑ φ. ΣΕ ΠΟΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΠΥΡΟΒΟΛΟ ΘΑ ΠΕΣΕΙ Η ΟΒΙΔΑ;



Η πρώτη «εύκολη» απάντηση είναι ότι θα πέσει σε απόσταση:

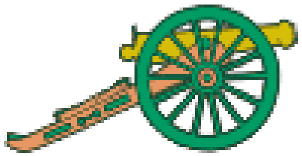
$$s = \frac{\upsilon_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

Αν όμως παρακολουθήσουμε την οβίδα και μετρήσουμε το βεληνεκές της θα διαπιστώσουμε τα εξής:

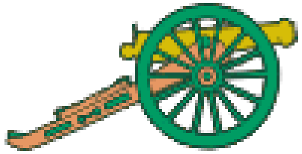
1) Ο τύπος ΔΕΝ επαληθεύεται

2) Αν έχουμε μερικές οβίδες από το ίδιο πυροβόλο θα δούμε πως <u>ΟΛΕΣ</u> πέφτουν σε <u>ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ</u> σημεία.

ΓΙΑΤΙ;;;



- **Αντίσταση του αέρα (με ή χωρίς άνεμο) που εξαρτάται από το σχήμα του βλήματος**
- **Η αντίσταση μεταβάλλεται με το ύψος**
- **Το g μεταβάλλεται με το ύψος**
- **Υπάρχουν οι βαρυτικές επιδράσεις του ήλιου και της σελήνης**
- **Υπάρχουν οι βαρυτικές επιδράσεις των γύρω αντικειμένων**



- Λόγω τριβής η οβίδα θερμαίνεται και διαστέλλεται
- Λόγω τριβής η οβίδα φορτίζεται και αλληλεπιδρά ηλεκτρομαγνητικά.
- Φωτόνια χτυπούν την οβίδα ασύμμετρα και ασκούν πίεση

ΓΙΑ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΟΥΜΕ ΣΩΣΤΑ ΤΟ ΒΕΛΗΝΕΚΕΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΞΕΡΟΥΜΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ (ΑΔΥΝΑΤΟΝ)

ΓΙΑ ΝΑ ΠΕΣΟΥΝ 2 ΟΒΙΔΕΣ ΣΤΟ ΙΔΙΟ ΣΗΜΕΙΟ ΠΡΕΠΕΙ ΟΛΕΣ ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑΥΤΟΣΗΜΕΣ (ΑΔΥΝΑΤΟΝ)

ΘΕΜΑΤΑ

Η έννοια της μέτρησης. Ακρίβεια. Σφάλματα.

Τυχαία και συστηματικά σφάλματα.

Μέση τιμή. Σφάλμα μέσης τιμής

Στρογγυλοποιήσεις

Διάδοση σφαλμάτων

ΘΕΜΑΤΑ

Γραφικές παραστάσεις. Σφάλματα. Σχεδιασμός.

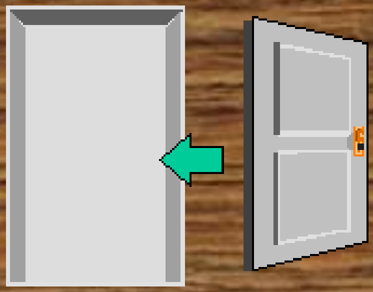
Κλίση καμπύλης σε ένα σημείο.

Σχεδιασμός ευθείας με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων.

Πειράματα Εργαστηρίου Φυσικής.

Πως γράφουμε τις εργασίες.

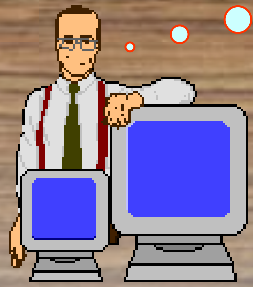
ΜΕΤΡΗΣΗ - ΑΚΡΙΒΕΙΑ - ΣΦΑΛΜΑ



Η πόρτα πρέπει να έχει ύψος 2.2 m

Η πόρτα πρέπει να έχει ύψος 221.6 cm

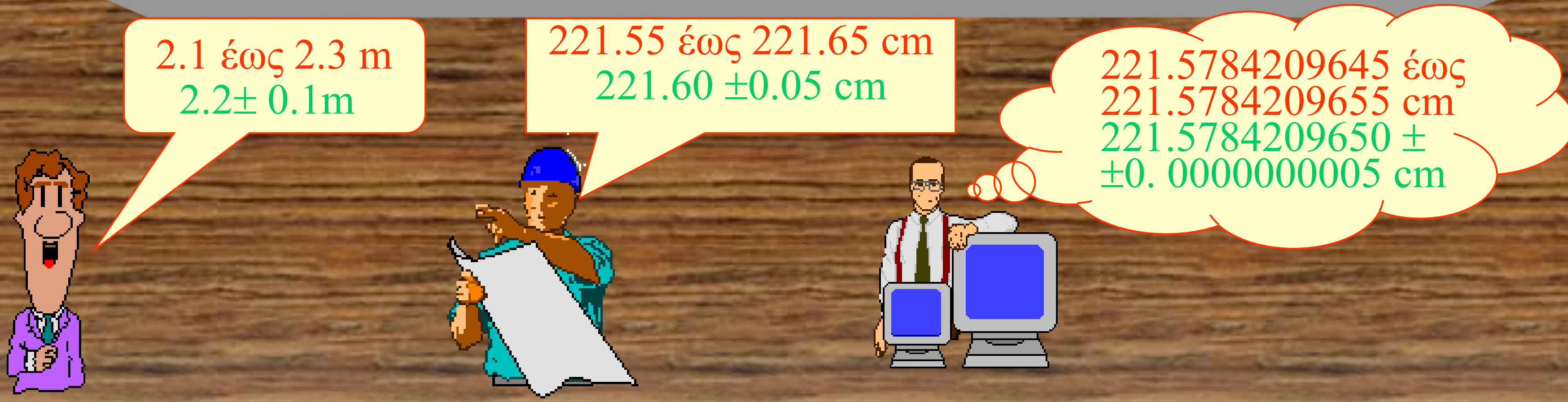
Η πόρτα πρέπει να έχει ύψος 221.578420965 cm



Ποιος έχει δίκιο;

ΚΑΙ ΟΙ 3

ΜΕΤΡΗΣΗ - ΑΚΡΙΒΕΙΑ - ΣΦΑΛΜΑ



ΠΟΙΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΑΣ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ;

221.60 ±0.05 cm

Μέτρηση είναι η σύγκριση του μετρούμενου μεγέθους με το πρότυπο.

Κάθε μέτρηση έχει μια ακρίβεια

Αυτή η ακρίβεια εκφράζεται μαθηματικά με το σφάλμα

Δεν είναι πάντα απαραίτητη η μέγιστη δυνατή ακρίβεια που είναι και πολύ δαπανηρή

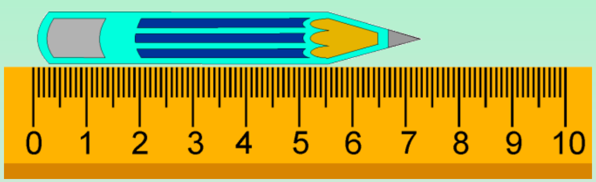
Σε τι οφείλονται τα Σφάλματα;

1. Στα όργανα μέτρησης
2. Στην πειραματική διαδικασία και στις συνθήκες του πειράματος
3. Στη μη σωστή κατανόηση της Φυσικής

ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΑ

ΤΥΧΑΙΑ

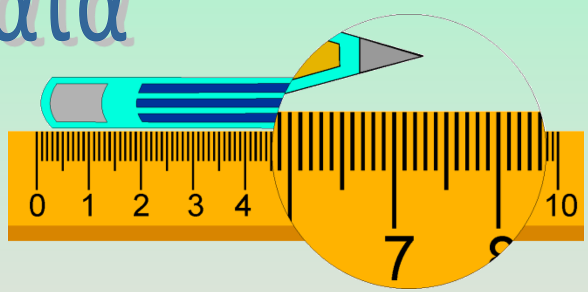
Παραδείγματα



Μήπως 7;... **ΟΧΙ!**

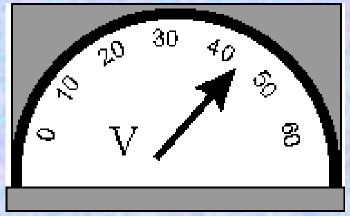
Μήπως 7.5;... **ΟΧΙ!**

Μήπως 7.25;... **ΟΧΙ!**



Μεταξύ 7 και 7.5, ή καλύτερα Μεταξύ 7.1 και 7.5

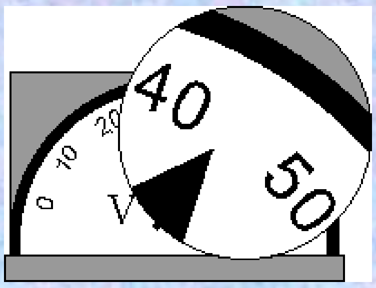
7.3±0.2 cm



Μήπως 40;... ΟΧΙ!

Μήπως 50;... ΟΧΙ!

Μήπως 45;... ΟΧΙ!

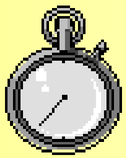


Μεταξύ 40 και 45, ή καλύτερα Μεταξύ 43 και 45

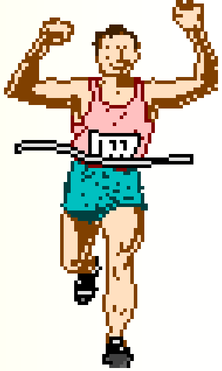
44±1 V

Τα σφάλματα που μόλις τώρα είδαμε λέγοντα σφάλματα ανάγνωσης

Τα 2 προηγούμενα παραδείγματα ανήκουν στην κατηγορία των ΤΥΧΑΙΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

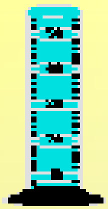


Χρονόμετρο
που καθυστερεί



Χρονομέτρηση δρομέα 100 m.
Αποτέλεσμα 9.12 s!!!!

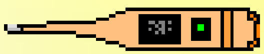
ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΡΕΚΟΡ!!!!



Μετρούμε την πυκνότητα
κάποιου υγρού
Αποτέλεσμα 0.9897 g/cm^3

ΤΙ ΥΓΡΟ ΕΊΝΑΙ;;;;

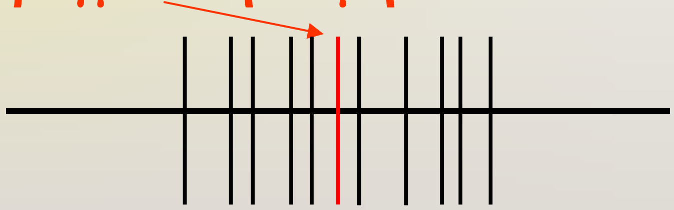
ΞΕΧΑΣΑΜΕ ΝΑ ΜΕΤΡΗΣΟΥΜΕ ΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ!!!



Τα 2 προηγούμενα παραδείγματα ανήκουν στην κατηγορία των ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

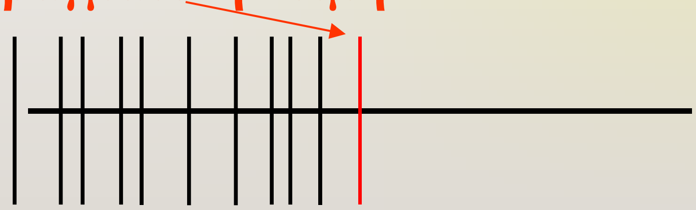
Συστηματικά και τυχαία σφάλματα συνυπάρχουν

«Πραγματική» τιμή



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

«Πραγματική» τιμή



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Συστηματικά και τυχαία σφάλματα συνυπάρχουν

Συστηματικά και τυχαία σφάλματα συνυπάρχουν

Σε τί οφείλοντα τα τυχαία σφάλματα;

Όπως είδαμε στο παράδειγμα με το πυροβόλο, έτσι και στα πειράματα υπάρχουν μια σειρά παράγοντες που επιδρούν στο αποτέλεσμα της μέτρησης, Αυτούς τους παράγοντες είτε **τους αγνοούμε συνειδητά**, γιατί είναι μικροί, είτε **δεν τους ξέρουμε**, είτε επειδή **δεν μπορούμε να τους λάβουμε υπόψη μας**.

Τα τυχαία σφάλματα είναι αναπόφευκτα

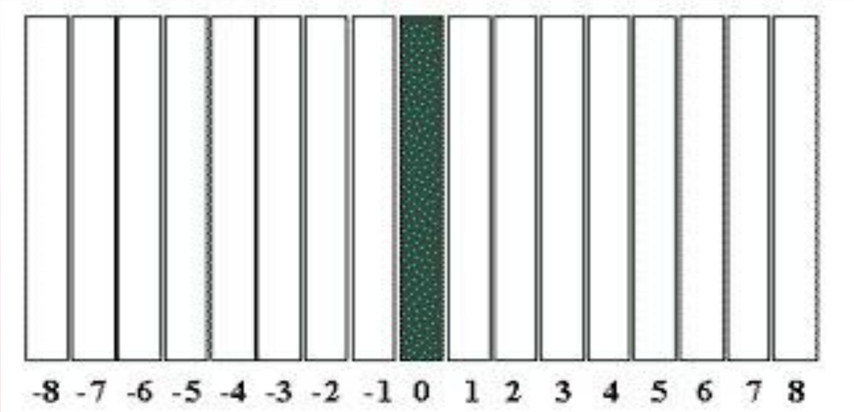
Ας θυμηθούμε την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg που διέπει τον μικρόκοσμο:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$$

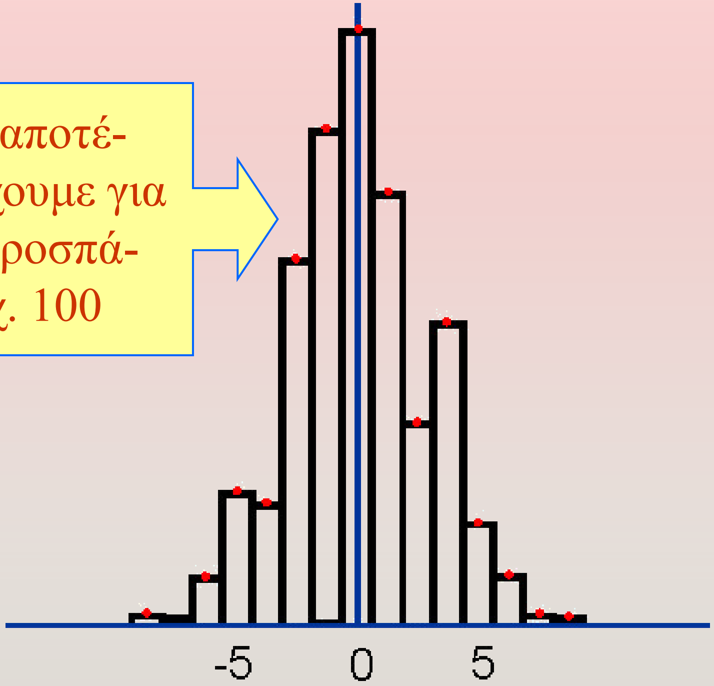
Αυτό μας δείχνει ότι **ΤΙΠΟΤΕ** δεν μπορεί να προσδιορισθεί με «απόλυτη» ακρίβεια

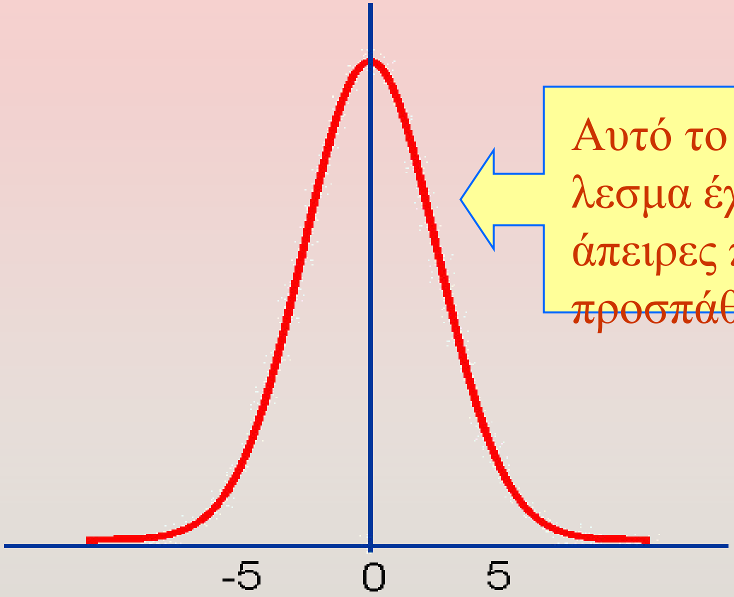
ΘΑ ΚΑΝΟΥΜΕ ΕΝΑ «ΠΕΙΡΑΜΑ» ΓΙΑ ΝΑ ΔΟΥΜΕ ΤΙ ΣΗΜΑΙΝΕΙ Ο ΟΡΟΣ «ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ»

ΡΙΧΝΟΥΜΕ ΠΟΛΛΕΣ ΦΟΡΕΣ ΕΝΑ ΒΕΛΟΣ, ΠΡΟΣΠΑΘΩΝΤΑΣ ΝΑ ΧΤΥΠΗΣΟΥΜΕ ΤΟ 0. ΠΡΟΣΠΑΘΟΥΜΕ ΝΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΟΥΜΕ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΒΟΛΗΣ.

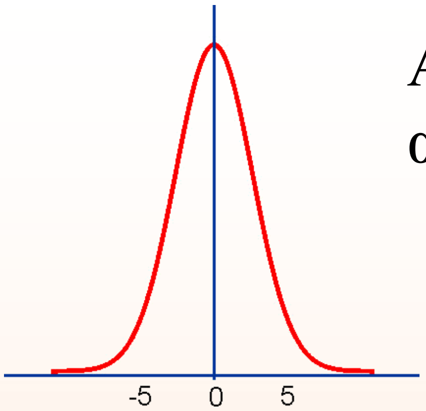


Αυτό το αποτέλεσμα έχουμε για πολλές προσπάθειες, π.χ. 100





Αυτό το αποτέλεσμα έχουμε για άπειρες πρακτικά προσπάθειες.



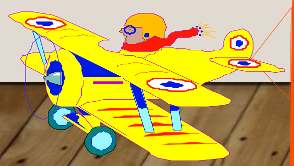
Αυτή είναι η καμπύλη που μαθηματικά περιγράφεται από τον τύπο:

$$n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-x^2/2\sigma^2}$$

Ο τύπος αυτός αντιστοιχεί στην **κανονική κατανομή** ή **κατανομή Gauss**.

Η κανονική κατανομή είναι ίσως η πιο κοινή κατανομή στη **θεωρία των πιθανοτήτων**.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ



ΤΑ ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΕΡΙΓΡΑΦΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ

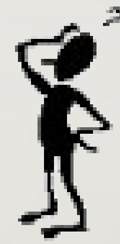
Γιατί πρέπει να υπολογίζουμε τα σφάλματα;

Κάποιος θέλει να καταλάβει πως εξαρτάται από τη θερμοκρασία η ομική αντίσταση ενός υλικού.

Με τις δυνατότητες που έχει μετράει την αντίσταση για 2 θερμοκρασίες

Για θ=25° C ☞ R=23.17 kOhm

Για θ=80° C ☞ R=22.61 kOhm



Τι συμπέρασμα βγάζει;;;

Χωρίς υπολογισμό σφαλμάτων, ΚΑΝΕΝΑ!!!

Με υπολογισμό Σφαλμάτων

Για θ=25° C ☞ R=23.17±0.6 kOhm

Για θ=80° C ☞ R=22.61 ±0.6 kOhm

Δεν βγαίνει συμπέρασμα

Για θ=25° C ☞ R=23.17±0.04 kOhm

Για θ=80° C ☞ R=22.61 ±0.04 kOhm

Η αντίσταση μειώνεται

ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΕΙΡΑΜΑ ΕΙΝΑΙ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΣ Ο ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Πως λοιπόν υπολογίζονται;

ΣΦΑΛΜΑ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ

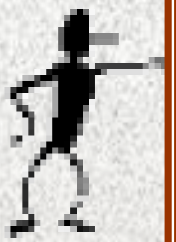
Σε πολλές περιπτώσεις, όταν μετρούμε πολλές φορές, στις ίδιες συνθήκες την ίδια ποσότητα βρίσκουμε διαφορετικά αποτελέσματα

ΤΙ ΚΑΝΟΥΜΕ;

ΒΡΙΣΚΟΥΜΕ ΤΗ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΚΑΙ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΙΜΗΣ

Έστω ότι μετρούμε N φορές την ίδια ποσότητα x και βρίσκουμε τις τιμές x_i, όπου $i=1,2,\ldots,N$. Τότε ως πραγματική θεωρούμε τη

Μέση τιμή



$$\bar{x} \equiv \langle x \rangle = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$$

Ενώ ως σφάλμα θεωρούμε το

Σφάλμα μέσης τιμής

$$\delta\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}$$

Παράδειγμα

Μετρούμε 9 φορές την περίοδο ενός εκκρεμούς και βρίσκουμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα

	$T(\mathrm{s})$	$\bar{T}-T_i\,(\mathrm{s})$	$\left(\bar{T}-T_i\right)^2\,(\mathrm{s}^2)$
	1.14	0.17	0.0289
	1.22	0.09	0.0081
	1.28	0.03	0.0009
	1.34	-0.03	0.0009
	1.45	-0.14	0.0196
	1.38	-0.07	0.0049
	1.30	0.01	0.0001
	1.38	-0.07	0.0049
	1.30	0.01	0.0001
ΣΥΝΟΛΑ	11.79	0.00	0.0684

$$\bar{T}=\frac{1}{9}\sum_{i=1}^{9}T_i=\frac{11.79\,\mathrm{s}}{9}=1.31\,\mathrm{s}$$

$$\delta\bar{T}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{9}(\bar{T}-T_i)^2}{9\cdot 8}}=$$

$$=\sqrt{\frac{0.0684}{72}}\approx 0.0309\,\mathrm{s}\approx 0.03\,\mathrm{s}$$

Τελικά

$$\boldsymbol{T=(1.31\pm 0.03)\ \mathrm{s}}$$

Στρογγυλοποιήσεις

Ας υποθέσουμε πως μετά από πράξεις, που κάναμε στο κομπιουτεράκι για τον υπολογισμό της μέσης τιμής και του σφάλματός της βρίσκουμε:

$$\overline{x} = 7.268666666...$$

$$\delta\overline{x} = 0.046333333...$$

ΤΙ ΘΑ ΓΡΑΨΟΥΜΕ ΣΑΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ;

ΠΡΟΦΑΝΩΣ ΔΕΝ ΘΑ ΚΡΑΤΗΣΟΥΜΕ ΤΟΣΑ ΨΗΦΙΑ, ΟΣΑ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΟ ΚΟΜΠΙΟΥΤΕΡΑΚΙ

Πρέπει να στρογγυλοποιήσουμε

ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

- **Η ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΙΝΑΙ ΥΠΟΧΡΕΩΤΙΚΗ**
- **ΑΡΧΙΖΟΥΜΕ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ**
- **ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ ΚΡΑΤΑΜΕ 1(ένα) ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΨΗΦΙΟ ΕΚΤΟΣ ΑΝ ΑΥΤΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΨΗΦΙΟ 1 Η 2. ΤΟΤΕ ΚΡΑΤΑΜΕ 2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ**
- **ΣΤΗ ΣΥΝΕΧΕΙΑ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΟΥΜΕ ΤΗ ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ, ΚΡΑΤΩΝΤΑΣ ΤΟΣΑ ΨΗΦΙΑ, ΟΣΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΔΕΚΑΔΙΚΑ ΨΗΦΙΑ ΤΟΥ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ**
- **ΣΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕ ΤΙΣ ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ**

Κανόνες καθορισμού σημαντικών ψηφίων

Όταν στο αποτέλεσμα μιας μέτρησης υπάρχει υποδιαστολή, ως σημαντικά ψηφία (συντομογραφία σψ) μετράνε όλα τα ψηφία από το πρώτο μη μηδενικό και δεξιά π.χ 2.3 (2 σψ), 2.30 (3 σψ) ,0.2 (1 σψ), 0.02 (1 σψ) 0.020 (2 σψ).

Όταν δεν υπάρχει υποδιαστολή ως σημαντικά μετράνε όλα τα ψηφία από το πρώτο αριστερά ψηφίο μέχρι το τελευταίο μη μηδενικό.
π.χ 15 (2 σψ),15000 (2 σψ), 15050 (4 σψ)

Οι δυνάμεις του 10 δεν αξιολογούνται ως σημαντικά ψηφία. $2,1*10^{-3}$ (2 σψ), 0.0021 (2 σψ). Γενικά είναι πιο εύχρηστο και κομψό να εκφράζουμε τα αποτελέσματά μας με τάξεις μεγέθους όπως $5.6*10^{-3}$αντι 0.0056.

Πράξεις με σημαντικά ψηφία

- Όταν προσθέτουμε η αφαιρούμε δυο αριθμούς κρατάμε στο αποτέλεσμα όσα ΔΕΚΑΔΙΚΑ έχει ο αριθμός με τα λιγότερα δεκαδικά. Παράδειγμα:

$$\begin{array}{r} 2.37 \\ +1.2 \\ \hline 3.57 \end{array}$$

2.37+1.2 =3.6 και όχι 3.57

- Όταν πολλαπλασιάζουμε η διαιρούμε δυο αριθμούς κρατάμε στο αποτέλεσμα όσα ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ψηφία έχει ο αριθμός με τα λιγότερα σημαντικά ψηφία. Παράδειγμα:

$$\begin{array}{r} 3.21 \\ \times 0.02 \\ \hline 0.0642 \end{array}$$

3.21*0.02=0.06 και όχι 0.0642

(όπου με κόκκινο φαίνονται τα αβέβαια ψηφία)

Πρακτική Στρογγυλοποίηση

1. Βρίσκουμε το σημαντικό ψηφίο που μας ενδιαφέρει
2. Εξετάζουμε το αμέσως επόμενο
3. Αν αυτό είναι >=5 αυξάνουμε το σημαντικό κατά μία μονάδα και παραλείπουμε τα υπόλοιπα
4. Αν αυτό είναι < 5 αφήνουμε το σημαντικό όπως είναι και παραλείπουμε τα υπόλοιπα

Χρησιμοποίηση των κανόνων στο παράδειγμα

$$\delta\bar{x} = 0.046333333... \cong 0.05$$

$$\bar{x} = 7.268666666... \cong 7.27$$

$$x = 7.27 \pm 0.05$$

Άλλα παραδείγματα στρογγυλοποιήσεων

$\overline{x}$	$\delta\overline{x}$	$\delta\overline{x}$	$\overline{x}$	$\overline{x} \pm \delta\overline{x}$
32.0319	0.0428	0.04	32.03	32.03±0.04
0.017365	0.000387	0.0004	0.0174	0.0174±0.0004
13.8476	0.13856	0.14	13.85	13.85±0.14
1256.45	47.323	50	1260	1260±50
3017563.2	2667.178	2700	3017600	3017600±2700
6.300	0.00715	0.007	6.300	6.300±0.007

ΠΡΟΣΟΧΗ!!!

Όσα αναφέραμε εδώ για τις στρογγυλοποιήσεις ισχύουν για όλα τα πειραματικά αποτελέσματα και τα σφάλματα

Ερώτημα

Ξέρουμε ότι άμεσα μπορούμε να μετρήσουμε μόνο λίγα φυσικά μεγέθη, π.χ. Χρόνο, μήκος, μάζα, τάση, ένταση κ.τ.λ. Γι' αυτά μπορούμε φυσικά να μιλήσουμε για πολλαπλές μετρήσεις, μέση τιμή κ.τ.λ. Τι γίνεται όμως αν θέλουμε να βρούμε παράγωγα μεγέθη, π.χ. ταχύτητα, επιτάχυνση κ.ά.;

Διάδοση σφαλμάτων

Έστω παράγωγο φυσικό μέγεθος $u=f(x,y,z,\ldots)$, όπου $x,y,z,\ldots$ άμεσα μετρούμενες ποσότητες. Έστω $\bar{x},\bar{y},\bar{z},\ldots$ οι «μέσες τιμές» αυτών των ποσοτήτων και $\delta\bar{x},\delta\bar{y},\delta\bar{z},\ldots$ τα σφάλματά τους. Τότε θα έχουμε:

$$\boxed{\bar{u}=f(\bar{x},\bar{y},\bar{z},\ldots)}$$

$$\boxed{\delta\bar{u}=\sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\delta\bar{x}\right)^2+\left(\frac{\partial u}{\partial y}\delta\bar{y}\right)^2+\left(\frac{\partial u}{\partial z}\delta\bar{z}\right)^2+\ldots}}$$

Το σύμβολο $\dfrac{\partial u}{\partial x}$ είναι **μερική παράγωγος**

Παράδειγμα

Υπολογισμός της επιτάχυνσης κατά την ευθύγραμμη, ομαλά μεταβαλλόμενη κίνηση.

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

s =35.20±0.10 m

t =12.0 ±0.5 s

$$\delta\bar{a} = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial s}\delta\bar{s}\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial t}\delta\bar{t}\right)^2}$$

$$\frac{\partial a}{\partial s} = \frac{2}{\bar{t}^{\,2}} = \frac{2}{(35.2)^2} \qquad \frac{\partial a}{\partial t} = -\frac{4\bar{s}}{\bar{t}^{\,3}} = -\frac{4 \cdot 12}{(35.2)^3}$$

Μετά από πράξεις βρίσκουμε

$$\bar{a} = 0.488\ldots \mathrm{m/s}^2$$

$$\delta\bar{a} = 0.0407\,\mathrm{m/s}^2$$

Τελικά

$$\boxed{a = 0.49 \pm 0.04\ \mathrm{m/s}^2}$$

Παράδειγμα

$$k = \frac{5}{9} r \sin\varphi$$

$$r = 0.820 \pm 0.20\,\text{cm}$$

$$\varphi = 32.0^{\circ} \pm 1.0^{\circ}$$

$$\frac{\partial k}{\partial r} = \frac{5}{9}\sin\overline{\varphi} \qquad \frac{\partial k}{\partial \varphi} = \frac{5}{9}\overline{r}\cos\overline{\varphi}$$

$$\delta\overline{k} = \sqrt{\left(\frac{5}{9}\sin\overline{\varphi}\cdot\delta\overline{r}\right)^2 + \left(\frac{5}{9}\overline{r}\cos\overline{\varphi}\cdot\delta\overline{\varphi}\right)^2}$$

$$\overline{k} = 0.24140766\ldots\text{cm} \qquad \delta\overline{k} = 0.386\ldots\text{cm}$$

Οι γωνίες πάντα σε ακτίνια

$$\overline{k} = 0.24140766\ldots\text{cm}$$

$$\delta\overline{k} = 0.0088\ldots\text{cm}$$

$$\boxed{k = 0.241 \pm 0.009\,\text{cm}}$$

Παρατηρήσεις

Τα τυχαία σφάλματα των άμεσα μετρούμενων μεγεθών μπορούν να είναι:

α) Σφάλματα μέσης τιμής

β) Σφάλματα ανάγνωσης

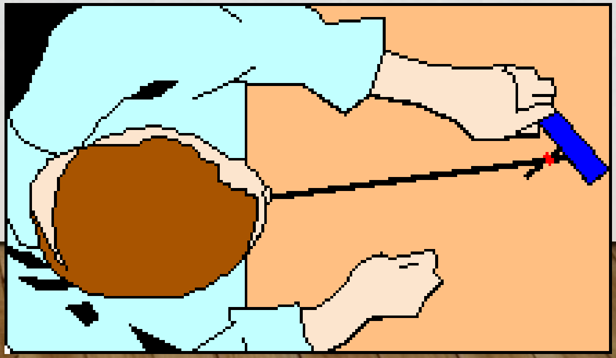
γ) Σφάλματα οργάνου

δ) Όλα μαζί τα παραπάνω

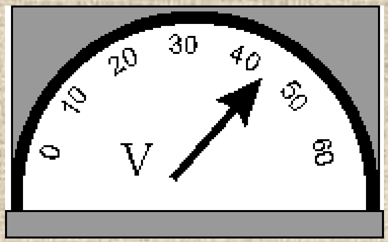
Στη διάδοση σφαλμάτων το σφάλμα της κάθε μεταβλητής μπορεί να είναι διαφορετικό.

Π.χ. Στο προηγούμενο παράδειγμα (το 1^{ο}) το σφάλμα του *s* είναι σφάλμα ανάγνωσης, ενώ το σφάλμα του *t* είναι σφάλμα μέσης τιμής

Εκτός από το σφάλμα ανάγνωσης υπάρχει και το σφάλμα παράλλαξης, που είναι κάτι σαν συστηματικό σφάλμα και πρέπει να αποφεύγεται.



παρατηρήσεις



<u>ΣΦΑΛΜΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ</u>

α) Για τα αναλογικά όργανα εξαρτάται από την απόσταση ανάμεσα στις υποδιαιρέσεις του οργάνου (συνήθως είναι το μισό της μικρότερης υποδιαίρεσης)

β) Για τα ψηφιακά όργανα είναι το τελευταίο ψηφίο, εκτός αν δίνεται κάτι διαφορετικό

<u>ΣΦΑΛΜΑ ΟΡΓΑΝΟΥ</u> είναι το σφάλμα που υπάρχει λόγω της κατασκευής του οργάνου και συνήθως είναι γραμμένο πάνω στο όργανο, ή στα συνοδευτικά έγγραφα

ΚΑΤΑ ΚΑΝΟΝΑ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΟΡΓΑΝΟΥ ΕΙΝΑΙ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΤΟ ΣΦΑΛΜΑ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ

παρατηρήσεις

Το σφάλμα 0.004 είναι μεγάλο ή μικρό;

Εξαρτάται από το αποτέλεσμα

Εκφράζεται σε ποσοστά

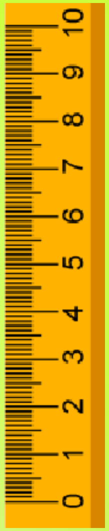
$$\boxed{\eta = \frac{\delta\overline{x}}{\overline{x}}}$$

Σχετικό σφάλμα

Υπάρχει περίπτωση το σχετικό σφάλμα να είναι 120% ή ακόμη και 500% και εμεί να μην ανησυχούμε;

Πρόβλημα

Χρησιμοποιώντας το γνωστό μας μέτρο, κάποιος μετράει 6 φορές το μήκος ενός αντικειμένου και βρίσκει τις τιμές (σε cm):



32.6   32.6   32.6   32.5   32.6   32.6

Αμέσως κάνει ότι μάθαμε παραπάνω, υπολογίζει μέση τιμή και σφάλμα μέσης τιμής: $\overline{L} = 32.5833...\mathrm{cm}$ $\quad \delta\overline{L} = 0.017...\mathrm{cm}$

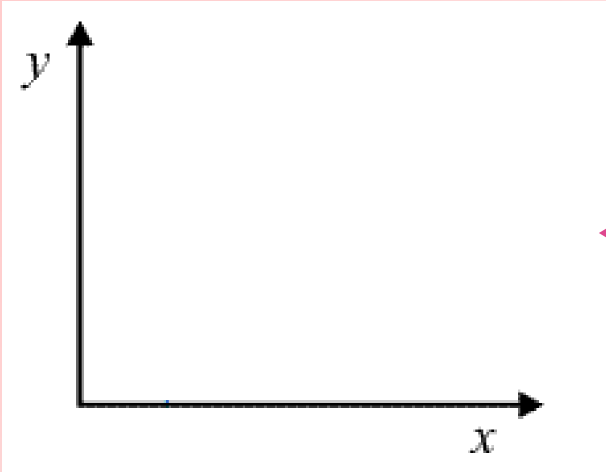
Και έτσι τελικά βρίσκει: $L = 32.583 \pm 0.017\,\mathrm{cm}$

Αν όλες οι τιμές ήταν 32.6 (καθόλου απίθανο) θα βρίσκαμε σφάλμα 0!!!

ΛΑΘΟΣ!

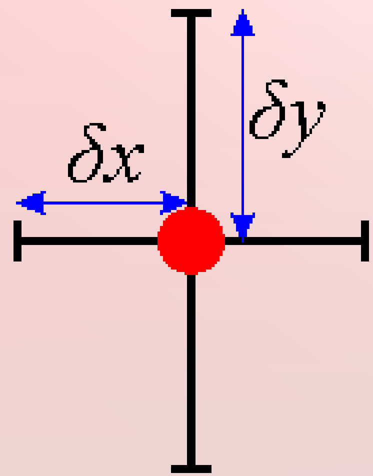
Το μέτρο έχει σφάλμα ανάγνωσης 0.1 cm. Αυτό το σφάλμα δεν μπορούμε να το γλιτώσουμε. Οι πολλαπλές μετρήσεις δεν έχουν νόημα και μπορούμε να γράψουμε αμέσως L=32.6±0.1 cm.

Αν σε κάποια μέτρηση υπάρχουν περισσότερα από ένα σφάλματα, κρατάμε το μεγαλύτερο

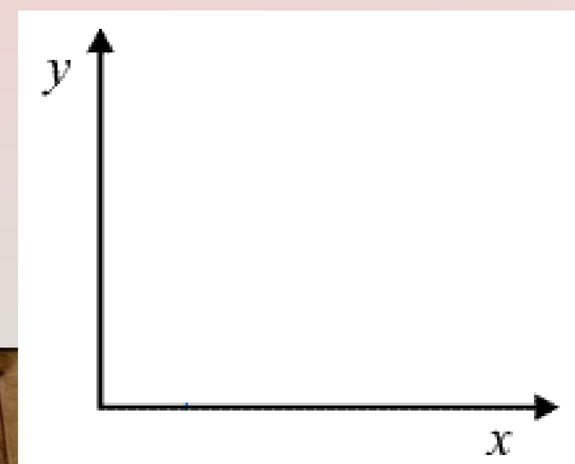


ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΛΑΘΟΣ ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ

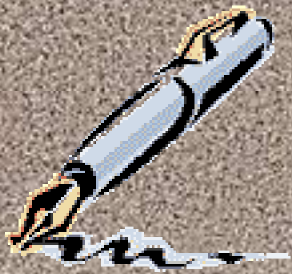
Κάθε σημείο σχεδιάζεται με τα σφάλματά του



Σχεδιάζουμε μια ομαλή καμπύλη που πρέπει να περνά περίπου από την περιοχή που ορίζουν τα σφάλ-ματα και ΟΧΙ από τα πειραματικά σημεία



Μέθοδος Ελαχίστων Τετραγώνων



Τις γραφικές παραστάσεις συνήθως τις σχεδιάζουμε με το χέρι, προσπαθώντας να περάσουμε τη γραμμή όσο καλύτερα γίνεται ανάμεσα στα σημεία.

**Σε κάποιες περιπτώσεις μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια μαθηματική μέθοδο μηχανικής μάθησης,
η οποία μας δίνει τη βέλτιστη καμπύλη.
Αυτή είναι η ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ.
Εδώ θα την δούμε (και θα την χρησιμοποιούμε) μόνο για την περίπτωση της ευθείας.
Υπάρχει για παραβολή, ημιτονοειδή, εκθετική κ.τ.λ.**

Έστω ότι έχουμε μετρήσει *N* ζεύγη τιμών x και y και βρήκαμε τις τιμές x_i και y_i, όπου i=1,2,3,…*N*.

Αν ξέρουμε, ότι τα *x* και *y* συνδέονται με τη σχέση:

$$y = A + Bx$$

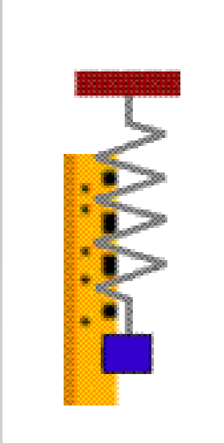
Τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τα *A* και *B* και να χαράξουμε την ευθεία *x*=*f*(*y*) χρησιμοποιώντας τους τύπους.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} (x_i y_i)}{N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2} \qquad B = \frac{N\sum_{i=1}^{N} (x_i y_i) - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} y_i}{N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}$$

Και για τα σφάλματα των Α και Β

$$\delta A = \sigma_y \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}} \quad \delta B = \sigma_y \sqrt{\frac{N}{N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2}} \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - A - Bx_i)^2}{N-2}}$$

Παράδειγμα



$$F = a_0 + kx$$

F (N) δF=1 N	x (cm) δx=0.05 cm
5	3.5
10	5.2
15	6.3
20	8.0
25	9.1
30	10.9

N=6

$$\sum_{i=1}^{6} x_i = 43 \qquad \sum_{i=1}^{6} y_i = 105$$

$$\sum_{i=1}^{6} x_i^2 = 344.6 \qquad \sum_{i=1}^{6} x_i y_i = 869.5$$

$$N\sum_{i=1}^{6} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{6} x_i\right)^2 = 218.6$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i^2 \sum_{i=1}^{N} y_i - \sum_{i=1}^{N} x_i \sum_{i=1}^{N} (x_i y_i)}{N\sum_{i=1}^{N} x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} x_i\right)^2} = -5.515\,\mathrm{N}$$

Παράδειγμα

$$k=\frac{N\sum_{i=1}^{N}(x_i y_i)-\sum_{i=1}^{N}x_i\sum_{i=1}^{N}y_i}{N\sum_{i=1}^{N}x_i^2-\left(\sum_{i=1}^{N}x_i\right)^2}=3.211\,\mathrm{N/cm}$$

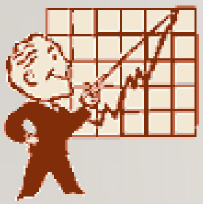
$$\sigma_y=1$$

$$\delta A=1.3\,\mathrm{N}$$

$$\delta B=0.17\,\mathrm{N/cm}$$

$$\boxed{a_0=-5.5\pm1.3\,\mathrm{N}}$$

$$\boxed{k=3.21\pm0.17\,\mathrm{N/cm}}$$

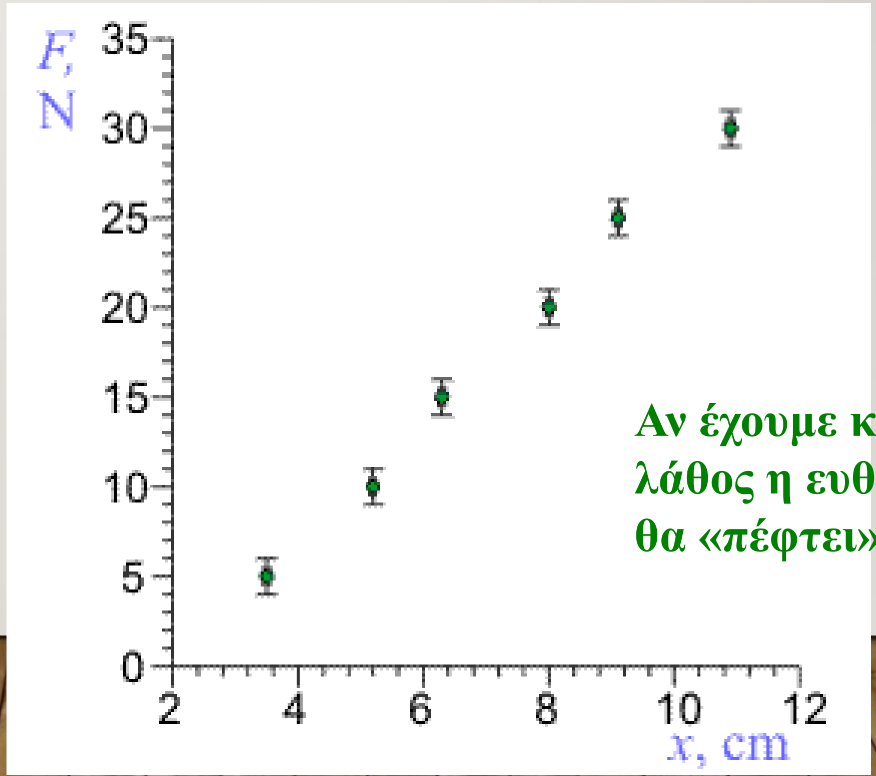


Κατά τον σχεδιασμό ευθείας με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων:

1. Επιλέγουμε τους άξονες

2. Σχεδιάζουμε τα σημεία και τα σφάλματά τους

3. Χρησιμοποιώντας τα Α και Β που βρήκαμε δίνουμε 2 τιμές στα *x* και βρίσκουμε τα *y*. Από τα 2 σημεία σχεδιάζουμε την ευθεία



Αν έχουμε κάνει λάθος η ευθεία δεν θα «πέφτει» καλά

ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ - ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ

Κατά την εκτέλεση του πειράματος, σε κάθε βήμα, σκεφθείτε αν υπάρχουν συστηματικά σφάλματα και πως αυτά μπορούν να εξουδετερωθούν (πειραματικά ή θεωρητικά).

Σε κάθε βήμα βρείτε ποια τυχαία σφάλματα υπεισέρχονται στις μετρήσεις. Για το σκοπό αυτό ελέγξτε:

α) Τα σφάλματα του κατασκευαστή του οργάνου

β) Το σφάλμα ανάγνωσης

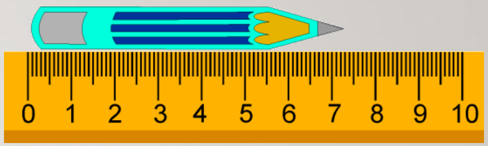
γ) Το σφάλμα μέσης τιμής (αν υπάρχει)

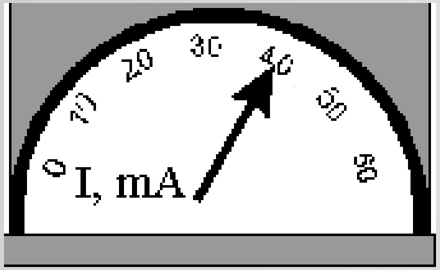
ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΣΤΕ ΝΑ ΜΕΙΩΣΕΤΕ (ΟΣΟ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟΝ) ΤΑ ΤΥΧΑΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Μερικές απλές συμβουλές για τη μείωση των τυχαίων σφαλμάτων

Γενικά απαιτείται εμπειρία.
Οι «συνταγές» δεν είναι πάντα εφαρμόσιμες.

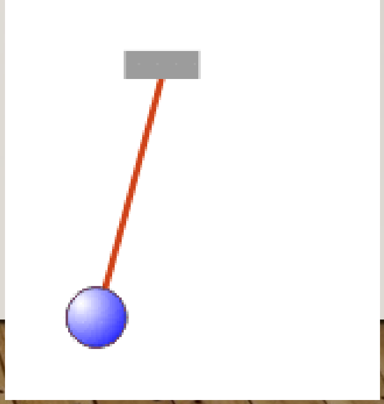
Όταν μετράμε το μήκος ενός αντικειμένου με μέτρο φροντίζουμε το ένα άκρο του να πέφτει «ακριβώς» σε μια ευκρινή υποδιαίρεση





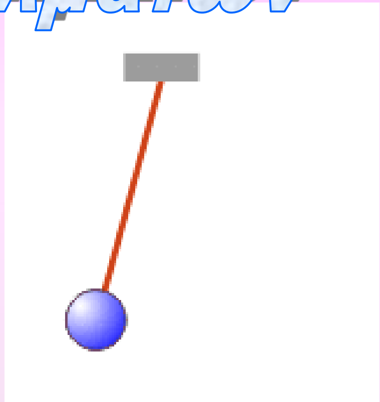
Όταν μετράμε π.χ. ένταση και τάση ρεύματος φροντίζουμε π.χ. η ένταση να παίρνει ακέραιες τιμές

Όταν μετράμε την περίοδο εκκρεμούς αρχίζουμε και τελειώνουμε τις μετρήσεις μας όταν το εκκρεμές βρίσκεται στο άκρο, διότι εκεί η ταχύτητά του μηδενίζεται.



Μερικές απλές συμβουλές για τη μείωση των τυχαίων σφαλμάτων

Ας υποθέσουμε, ότι η αντίδρασή μας κατά την μέτρηση της περιόδου ενός εκκρεμούς είναι περίπου 0.2 s.



Αν η περίοδος είναι της τάξης των 1.2 s, τότε το σφάλμα θα είναι περίπου 17% (μεγάλο).

Αντί να μετρήσουμε μία περίοδο T, μετρούμε το μέγεθος x=20T και βρίσκουμε π.χ. x=24.8 s. Τότε το σφάλμα δx θα είναι και πάλι 0.2 s.

Τότε το σφάλμα της μιας περιόδου προκύπτει από τον τύπο διάδοσης των σφαλμάτων, δηλαδή:

$$T = \frac{x}{20} \Rightarrow \delta T = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\delta x\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{20}\delta x\right)^2} = \left|\frac{x}{20}\right| = 0.010$$

T=1.240±0.010

Γιατί μετρήσαμε 20 περιόδους και όχι 100 ή και περισσότερες, οπότε το σφάλμα θα γινόταν πρακτικά 0;;;

Μερικές απλές συμβουλές για τη μείωση των τυχαίων σφαλμάτων

Για την καταγραφή των μετρήσεών σας και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων σας χρησιμοποιείτε πάντα Πίνακες.

Σας γλιτώνουν από χώρο και λόγια και είναι πολύ πιο κατανοητοί από αυτόν που διαβάζει την εργασία σας.

Παράδειγμα Πίνακα για τον υπολογισμό της συνάρτησης $x=f(A,B)$ m/s των άμεσα μετρούμενων μεγεθών A m και B s.

A, [m]	δA, [m]	B, [s]	δB, [s]	X [m/s]	Δx, [m/s]
…	…	…	…	…	…

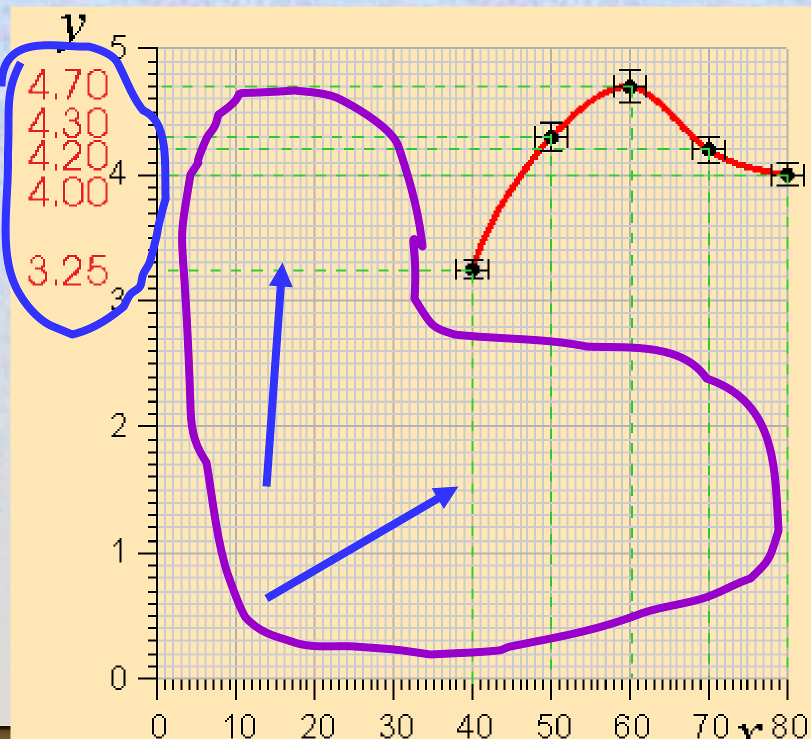
Γραφικές Παραστάσεις

Επιπλέον σε όσα αναφέραμε ήδη για το σχεδιασμό τους

ΟΛΕΣ ΟΙ ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΣΕ ΧΑΡΤΙ ΜΙΛΛΙΜΕΤΡΕ

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

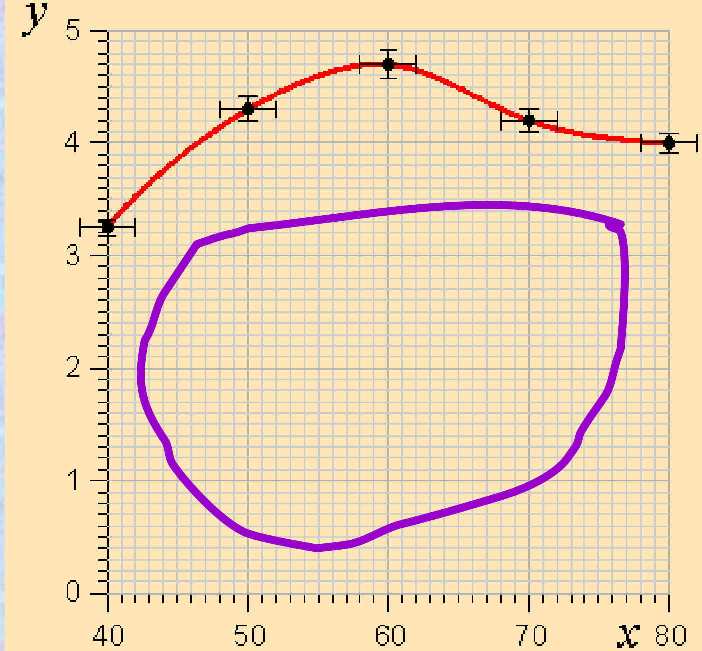
x	*y*	*δx*	*δy*
40	3.25	2	0.07
50	4.30	2	0.11
60	4.70	2	0.13
70	4.20	2	0.10
80	4.00	2	0.09



3 Λάθη

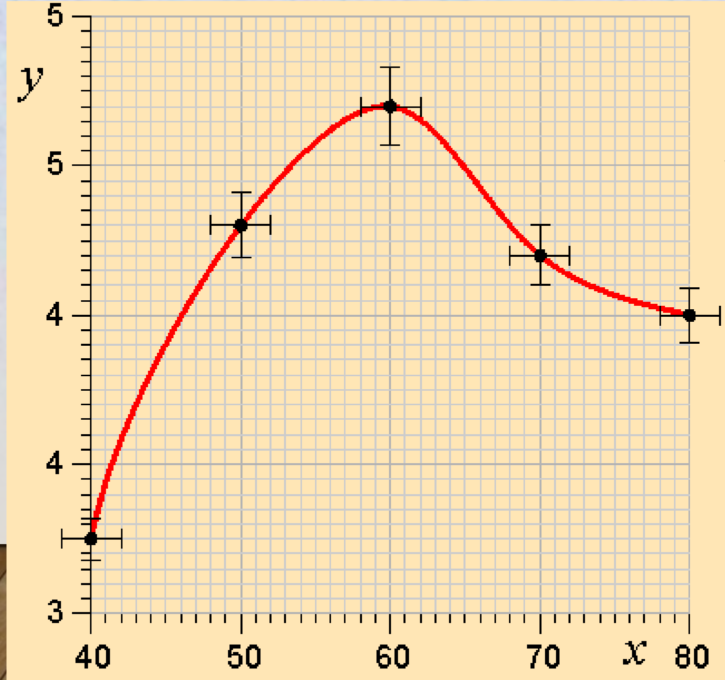
1. Οι διακεκομμέ-νες γραμμές
2. Οι πειραματι-κές τιμές
3. Δεν γίνεται εκμετάλλευση όλου του χαρτιού

1 Λάθος



Δεν γίνεται εκμετάλλευση όλου του χαρτιού

**Αυτή η γραφική παρά-
σταση είναι η σωστή**



Το συνηθισμένο μέγεθος μιας γραφικής παράστασης είναι περίπου ½ σελίδα Α4

Κλίση καμπύλης σε ένα σημείο

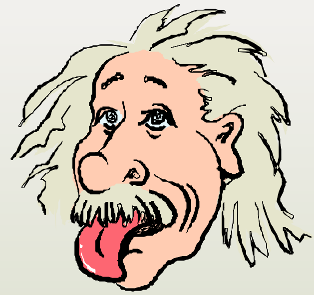
Έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε την κλίση μιας πειραματικής καμπύλης σε ένα σημείο.

ΓΙΑΤΙ;;;

Πολλοί ισχυρίζονται ότι κλίση είναι η γωνία που σχηματίζει η καμπύλη στο σημείο αυτό με τον άξονα των *x*.

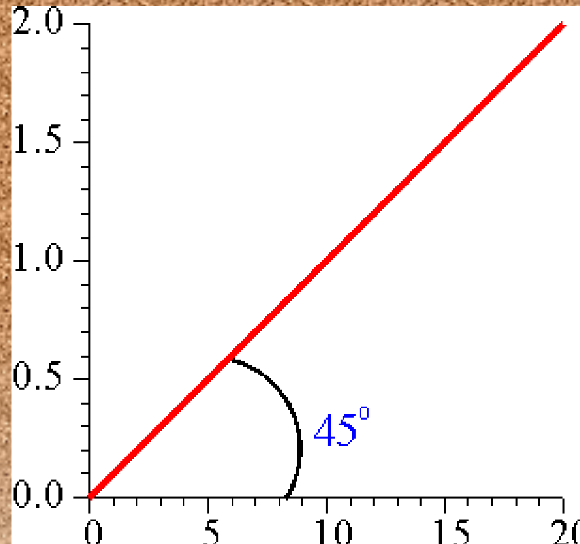
Στην καλύτερη περίπτωση λένε ότι είναι η εφαπτομένη αυτής της γωνίας.

Είναι όμως αυτό σωστό;



Δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση να ξεχνάμε, ότι εδώ δεν έχουμε να κάνουμε με «αφηρημένους» αριθμούς των μαθηματικών αλλά με συγκεκριμένα **ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.**

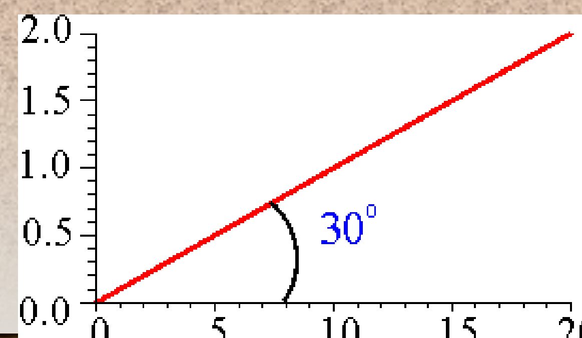
Μια φοιτήτρια με βάση τις μετρήσεις της σχεδιάζει την καμπύλη, η οποία είναι ευθεία σε διάγραμμα οπως στο σχήμα. Μετράει τη γωνία και τη βρίσκει 45°.

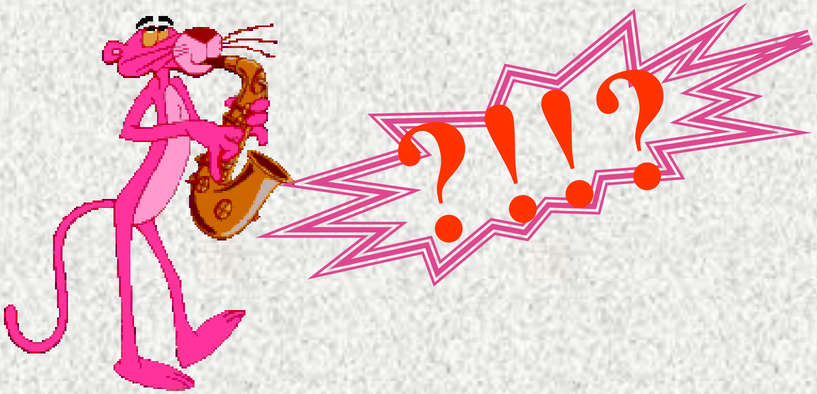


Βρήκα ότι η κλίση είναι:
$K = \tan\varphi = \tan 45^{o} = 1$

Βρήκα ότι η κλίση είναι:
$K = \tan\varphi = \tan 30^{o} = 0.58$

Ο φοιτητής κάνει την ίδια άσκηση. Σχεδιάζει λίγο διαφορετικά την ευθεία και βρισκει ότι η γωνία είναι τώρα 30°.





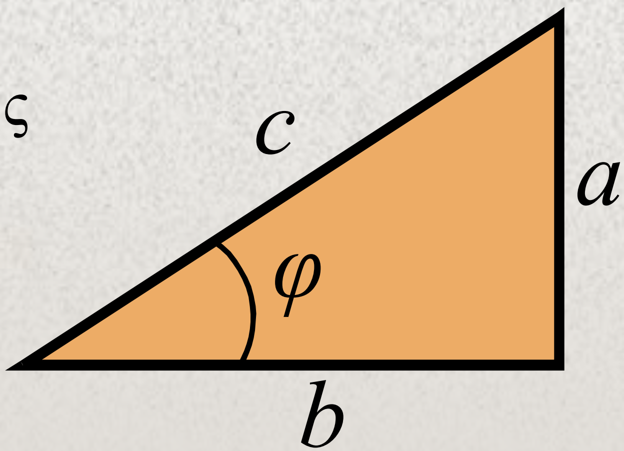
Ποιος έχει δίκιο;;;

ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΝΕΝΑΣ

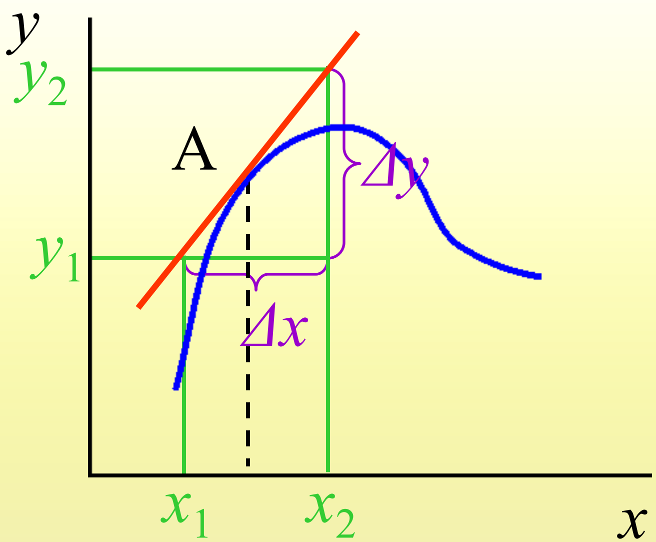
Ας θυμηθούμε τον ορισμό της εφαπτομένης

Για το τρίγωνο του σχήματος ισχύει:

$$\tan\varphi = \frac{a}{b}$$



ΓΙΑ ΝΑ ΒΡΟΥΜΕ ΤΗΝ ΚΛΙΣΗ ΜΙΑΣ ΚΑΜΠΎΛΗΣ ΣΕ ΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ ΚΑΝΟΥΜΕ ΤΑ ΕΞΗΣ:



1. Στο σημείο Α φέρνουμε «με το χέρι» την εφαπτόμενη

2. Χρησιμοποιώντας 2 τυχαία σημεία της εφαπτόμενης σχηματίζουμε ορθογώνιο τρίγωνο, οι κάθετες πλευρές του οποίου είναι παράλληλες προς τους άξονες *x* και *y*.

3. Χρησιμοποιώντας τις κλίμακες που έχουμε ορίσει στους άξονες βρίσκουμε τα x_1, x_2, y_1 και y_2, που μας δίνουν τα μήκη Δx και Δy.

4. Βρίσκουμε την κλίση από τον τύπο:

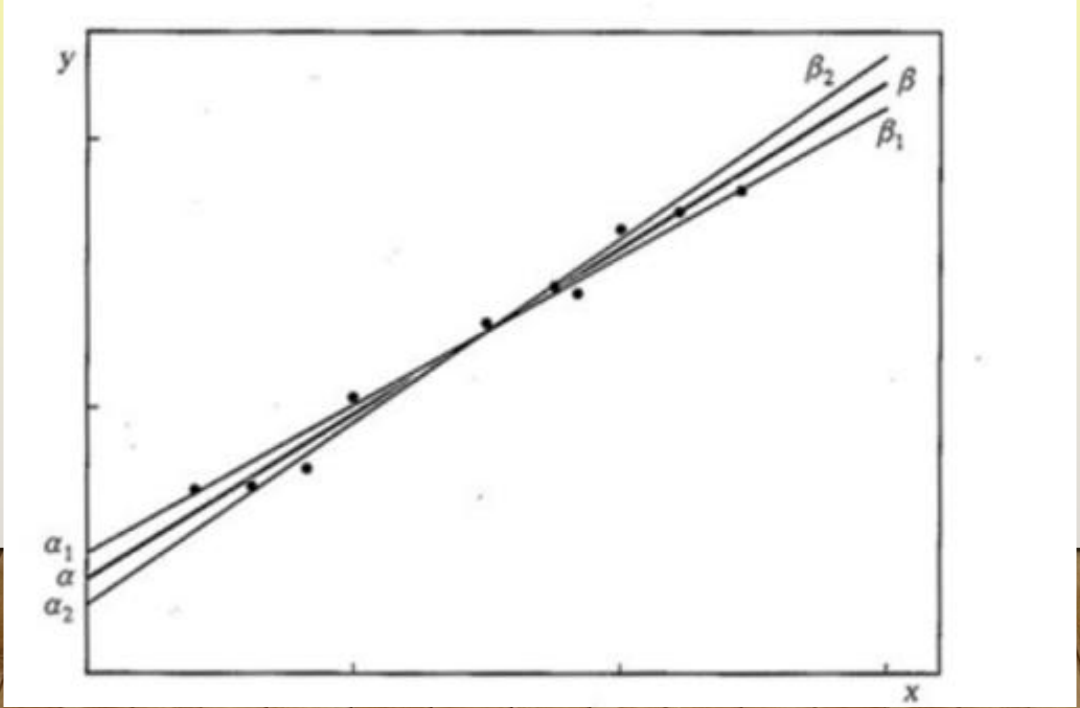
$$\boxed{K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}}$$

Γραφικός προσδιορισμός κλίσης ευθείας πειραματικών σημείων

1. Σχεδιάζουμε την καλύτερη ευθεία που περνά ανάμεσα σε εκείνα τα σημεία που βρίσκονται πάνω από την κύρια ευθεία στο αριστερό της τμήμα και κάτω από αυτήν στο δεξιό της τμήμα. Η ευθεία που σχεδιάζουμε έτσι έχει εξίσωση $y = a_1 + \beta_1 x$ και από την κλίση της και από το σημείο στο οποίο αυτή τέμνει τον άξονα των y προσδιορίζουμε τις τιμές β_1 και a_1, αντίστοιχα.

2. Σχεδιάζουμε την καλύτερη ευθεία που περνά ανάμεσα σε εκείνα τα σημεία που βρίσκονται κάτω από την κύρια ευθεία στο αριστερό της τμήμα και πάνω από αυτήν στο δεξιό της τμήμα. Η ευθεία που σχεδιάζουμε έτσι έχει εξίσωση $y = a_2 + \beta_2 x$ και, από την κλίση της και το σημείο στο οποίο αυτή τέμνει τον άξονα των y, προσδιορίζουμε τις τιμές β_2 και a_2, αντίστοιχα. Ικανοποιητικές εκτιμήσεις για τα σφάλματα στα $\boldsymbol{a}$ και $\boldsymbol{\beta}$ είναι οι τιμές

$$\delta a = \frac{1}{2}(a_2 - a_1) \text{ και } \delta\beta = \frac{1}{2}(\beta_1 - \beta_2) \qquad (\Gamma.30)$$



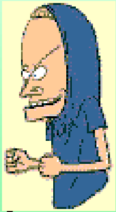
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΖΟΜΕΝΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΠΡΕΠΕΙ:

- Να διαβάσετε προσεκτικά την άσκηση από το φυλλάδιο (ΟΛΟΚΛΗΡΗ και όχι μόνο τα αρχικά)
- Να διαβάσετε τη θεωρία στην οποία βασίζεται η άσκηση.

Από που διαβάζετε:

1. Από το pdf της άσκησης.
2. Από άλλα βιβλία που πιθανόν έχετε ή θα βρείτε
3. Από το Internet

- Πάντα να έχετε μαζί σας το pdf του εργαστηρίου που θα εκτελέσετε, το φυλλάδιο σφαλμάτων, κομπιουτεράκι και ότι άλλο νομίζετε ότι σας χρειάζεται.
- Στο εργαστήριο το πρώτο πράγμα είναι να αναγνωρίσετε τη συσκευή και τα όργανα.
- Εκτελείτε την άσκηση σύμφωνα με τις οδηγίες του επιβλέποντα.
(Μπορεί να σας πει να κάνετε πράγματα διαφορετικά από αυτά που προβλέπονται στο φυλλάδιο)



- Είστε πάντα έτοιμοι για θεωρητική εξέταση η οποία γίνεται είτε «παραδοσιακά», είτε με μικρές ερωτήσεις διαρκώς.
- Ο επιβλέπων μονογράφει τα πειραματικά σας αποτελέσματα
- Στο σπίτι ετοιμάζετε την εργασία με βάση την άσκηση που κάνετε
- Πριν έρθετε στο εργαστήριο διαβάζετε τον εργαστηριακό οδηγό του πειράματος που θα πραγματοποιήσετε.!!!!

Πως γράφουμε την Εργασία

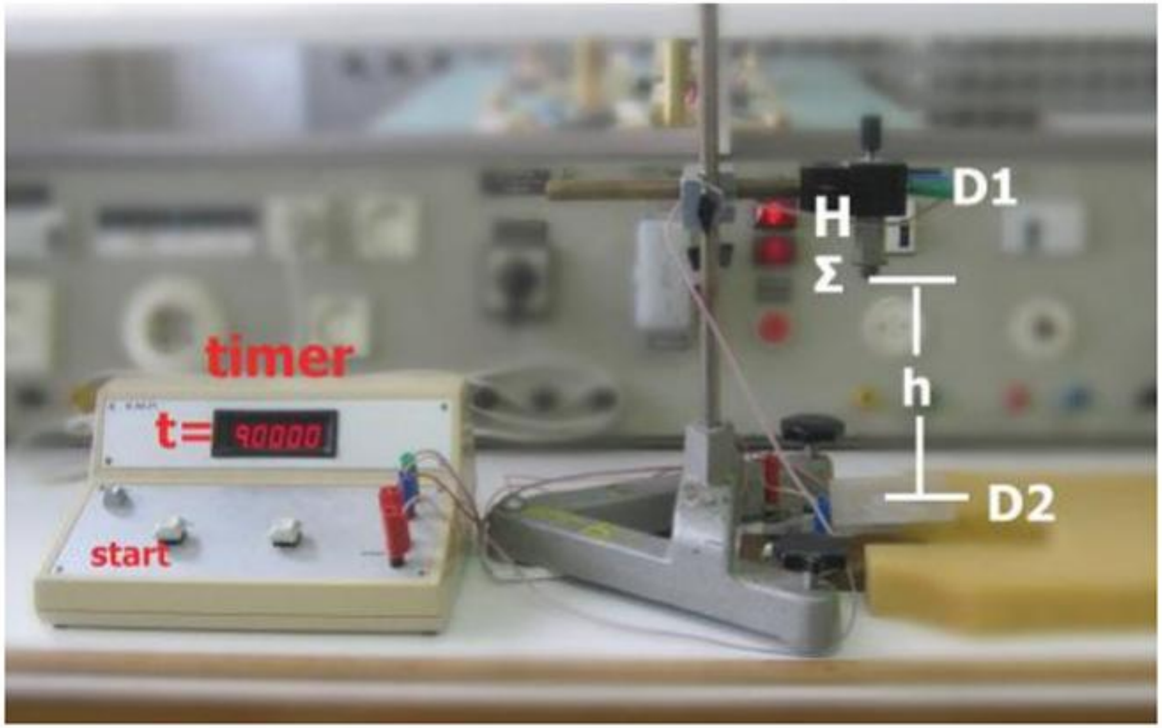
- Στην αρχή βάζουμε τη θεωρία της άσκησης
- Ακολουθεί η περιγραφή της πειραματικής διάταξης.
- Η διαδικασία και τα αποτελέσματα των μετρήσεων ενός πειράματος
- Τα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο πείραμα. 000 163
- Ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων.
- Η διαδικασία και τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το επόμενο πείραμα (αν υπάρχει)
- Τα αποτελέσματα για το συγκεκριμένο πείραμα.
- Ο σχολιασμός
- Απαντήσεις στις ερωτήσεις του φυλλαδίου (όσες μπορούμε)
- Απαντήσεις σε τυχόν επιπλέον ερωτήσεις του επιβλέποντα.

Άσκηση 1

Μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας με τη μέθοδο της πτώσης σωμάτων.

1.1 Σκοπός

Στο πείραμα αυτό θα προσδιορίσετε την επιτάχυνσης της βαρύτητας με τη μέθοδο της ελεύθερης πτώσης των σωμάτων.

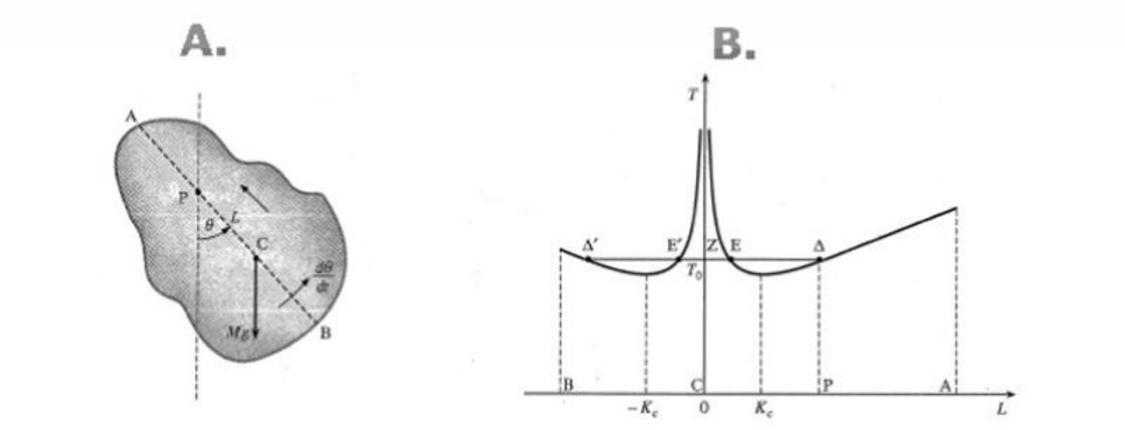


Άσκηση 2

Μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας με τη μέθοδο του φυσικού εκκρεμούς

2.1. Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι ο προσδιορισμός της επιτάχυνσης της βαρύτητας από μετρήσεις της περιόδου των ταλαντώσεων ενός φυσικού εκκρεμούς ως συνάρτησης της θέσης του άξονα περιστροφής του.



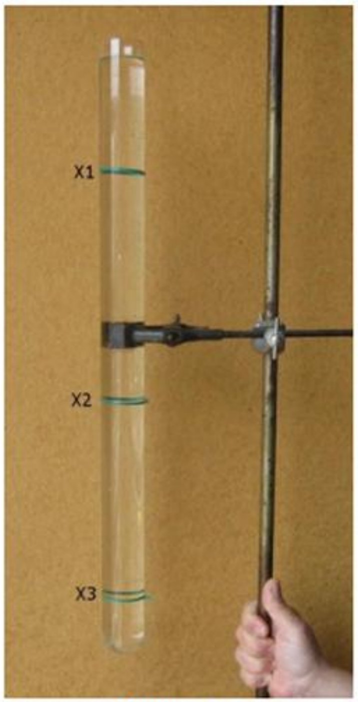
Σχήμα 2.1. (Α) Το φυσικό εκκρεμές. (Β) Μεταβολή της περιόδου του φυσικού εκκρεμούς σαν συνάρτηση της απόστασης L του άξονα περιστροφής από το κέντρο μάζας C κατά μήκος μιας ευθείας AB (βλέπε Σχήμα 2.1Α). Το L θεωρείται θετικό προς μια κατεύθυνση πάνω στην ευθεία και αρνητικό προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Άσκηση 5

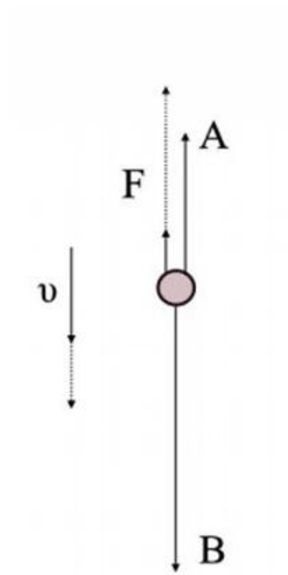
Μέτρηση του συντελεστή εσωτερικής τριβής (ιξώδους) υγρού με τη μέθοδο της πτώσης μικρών σφαιρών

5.1 Σκοπός

Σκοπός της άσκησης είναι η μέτρηση του ιξώδους ενός υγρού (συντελεστής εσωτερικής τριβής υγρών), με τη μέθοδο της μέτρησης της ορικής ταχύτητας που αποκτούν μικρές σφαίρες καθώς πέφτουν μέσα σε ένα υγρό που ηρεμεί.



Σχήμα 5.4

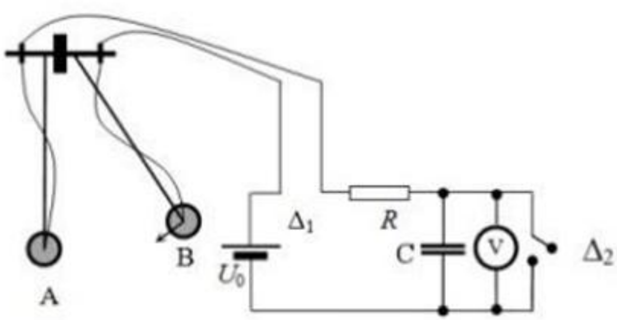


Άσκηση 6

Προσδιορισμός του συντελεστή αποκατάστασης και του χρόνου κρούσης δύο σφαιρών

6.1. Σκοπός

Σκοπός της Άσκησης αυτής είναι η μελέτη της κρούσης δύο σφαιρών, ο προσδιορισμός της κινητικής ενέργειας που χάνεται σε αυτήν, του συντελεστή αποκατάστασης του υλικού των σφαιρών, της χρονικής διάρκειας της κρούσης όπως και των δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των δύο όμοιων μεταλλικών σφαιρών.



Σχήμα 6.3

Άσκηση 7

Μελέτη των νόμων της κίνησης με τη χρήση αεροτροχιάς

7.1 Σκοπός

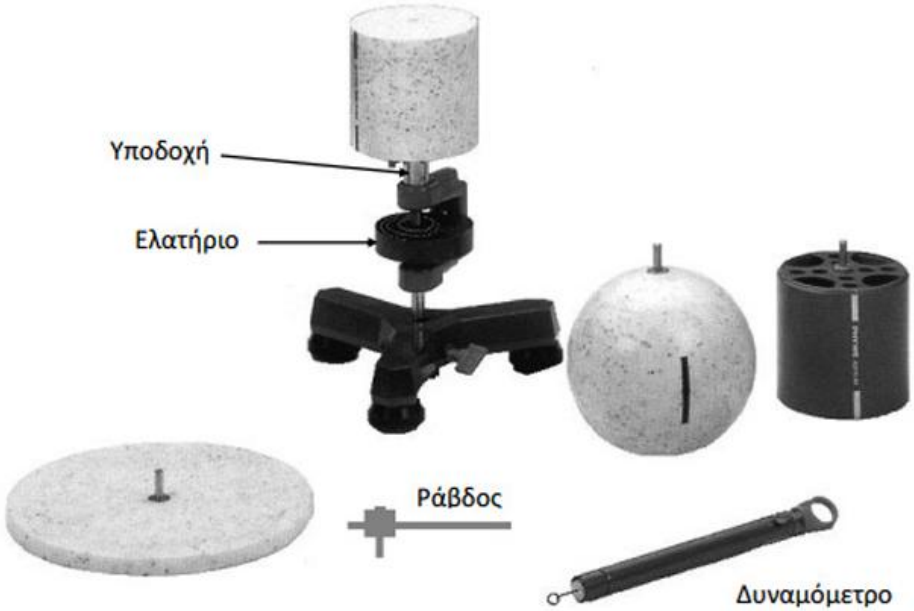
Στην παρούσα άσκηση θα μελετηθούν και θα επιβεβαιωθούν πειραματικά ο δεύτερος νόμος του Νεύτωνα και η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

Άσκηση 16

Ροπή αδράνειας στερεών σωμάτων

16.1 Σκοπός

Στην άσκηση αυτή εξετάζεται η έννοια της ροπής αδράνειας και μετρούνται οι ροπές αδράνειας τεσσάρων στερεών σωμάτων: ενός δίσκου, μιας σφαίρας, ενός κυλινδρικού σωλήνα και ενός συμπαγούς κυλίνδρου.



Εδώ τελειώσαμε

Η συνέχεια στο εργαστήριο