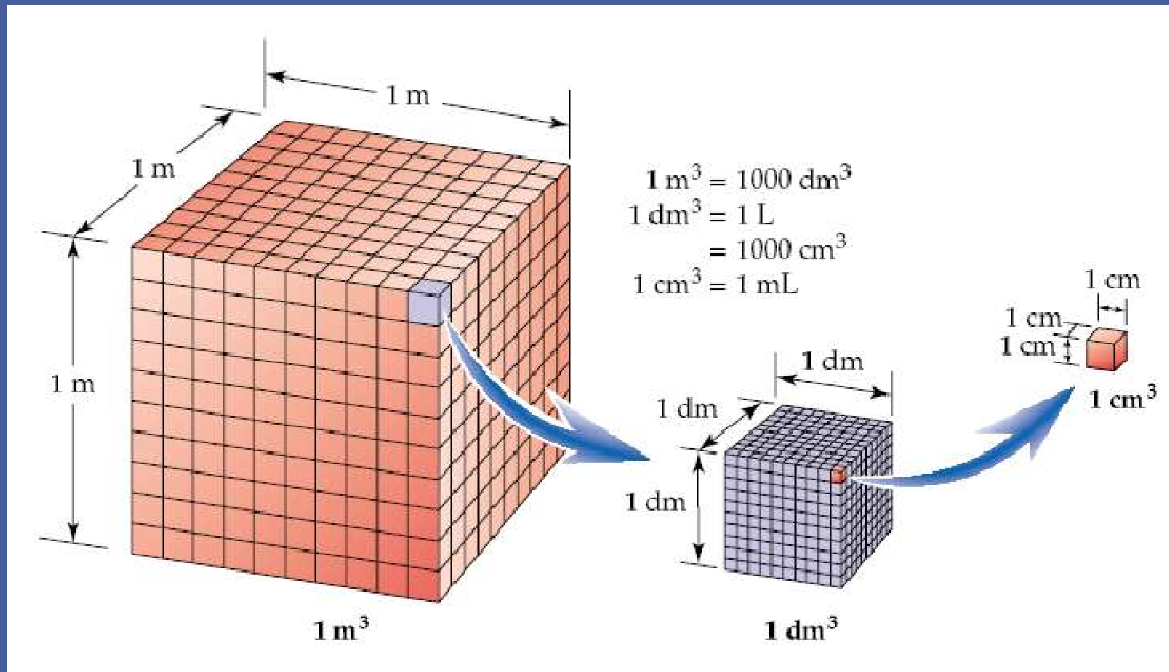
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Καρδίτσα)

Ανόργανη Χημεία (Εργαστήριο)

Ενότητα 2^{η}: Μετρήσεις – Όργανα / Συσκευές



Οκτώβριος 2020

Δρ. Λάκκα Αχιλλεία ΠΔ.407

Μετρήσεις - Γενικά

Η χημεία είναι πειραματική επιστήμη. Για την αναπαραγωγιμότητα των πειραμάτων όμως απαιτείται πλήρης και ακριβής περιγραφή συνθηκών, όπως το βάρος, ο όγκος, η θερμοκρασία κτλ. Έτσι, μια από τις σημαντικότερες απαιτήσεις στη χημεία είναι **η μέτρηση**.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται παγκοσμίως με το **Διεθνές Σύστημα Μονάδων**, γνωστό ως SI (Système Internationale d' Unités). Το SI έχει εφτά θεμελιώδη μεγέθη και τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησής τους. Αυτές οι μονάδες, μαζί με μερικές μονάδες παράγωγά τους, επαρκούν για τις όλες τις επιστημονικές μετρήσεις.

Βασικές μονάδες του SI

Ποσότητα	Μονάδα	Σύμβολο
Μήκος	μέτρο	m
Μάζα	χιλιόγραμμο	kg
Χρόνος	δευτερόλεπτο	s
Θερμοκρασία	κέλβιν	K
Ποσότητα ουσίας	μολ (mole)	mol
Ηλεκτρικό ρεύμα	αμπέρ	A
Ένταση φωτός	κανδήλα	cd

Παραγωγές μονάδες του SI

Ποσότητα	Ορισμός ποσότητας	Μονάδα SI
Εμβαδόν	Μήκος στο τετράγωνο	m^2
Όγκος	Μήκος στον κύβο	m^3
Πυκνότητα	Μάζα ανά μονάδα όγκου	kg/m^3
Ταχύτητα	Απόσταση που διανύεται στη μονάδα χρόνου	m/s
Επιτάχυνση	Μεταβολή ταχύτητας ανά μονάδα χρόνου	m/s^2
Δύναμη	Μάζα επί επιτάχυνση ενός αντικειμένου	$kg \cdot m/s^2$ (= newton, N)
Πίεση	Δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας	$kg/(m \cdot s^2)$ (= pascal, Pa)
Ενέργεια	Δύναμη επί διανυόμενη απόσταση	$kg \cdot m^2/s^2$ (= joule, J)

Μετρήσεις - Γενικά

Ένα πρόβλημα με κάθε σύστημα μέτρησης είναι ότι το μέγεθος των μονάδων, ανάλογα με τη μέτρηση, μπορεί να είναι πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό. Για παράδειγμα, ένας χημικός που θέλει να μετρήσει τη διάμετρο του ατόμου του νατρίου (0.000 000 000 372 m) βρίσκει τη μονάδα του μέτρου υπερβολικά μεγάλη, ενώ ένας αστρονόμος που μετράει την απόσταση Γης – Ήλιου (150, 000 000 000 m) τη βρίσκει υπερβολικά μικρή.

Γι' αυτό το λόγο, οι μονάδες του SI μετατρέπονται με τη χρήση προθεμάτων όταν αναφέρονται είτε σε μικρότερες είτε σε μεγαλύτερες ποσότητες. Έτσι, το χιλιοστο- (*milli*-) σημαίνει το ένα χιλιοστό και το χιλιοστόμετρο (mm) είναι το 1/1000 του μέτρου. Ομοίως, το πρόθεμα χιλιο- (*kilo*-) σημαίνει μία χιλιάδα και το ένα χιλιόμετρο είναι 1000 m.

Επιλεγμένα προθέματα SI

Πρόθεμα	Πολλαπλάσιο	Σύμβολο
μεγα	10^6	M
κιλο	10^3	k
δεκατο	10^{-1}	d
εκατοστο	10^{-2}	c
χιλιοστο	10^{-3}	m
μικρο	10^{-6}	μ
νανο	10^{-9}	n
πικο	10^{-12}	p

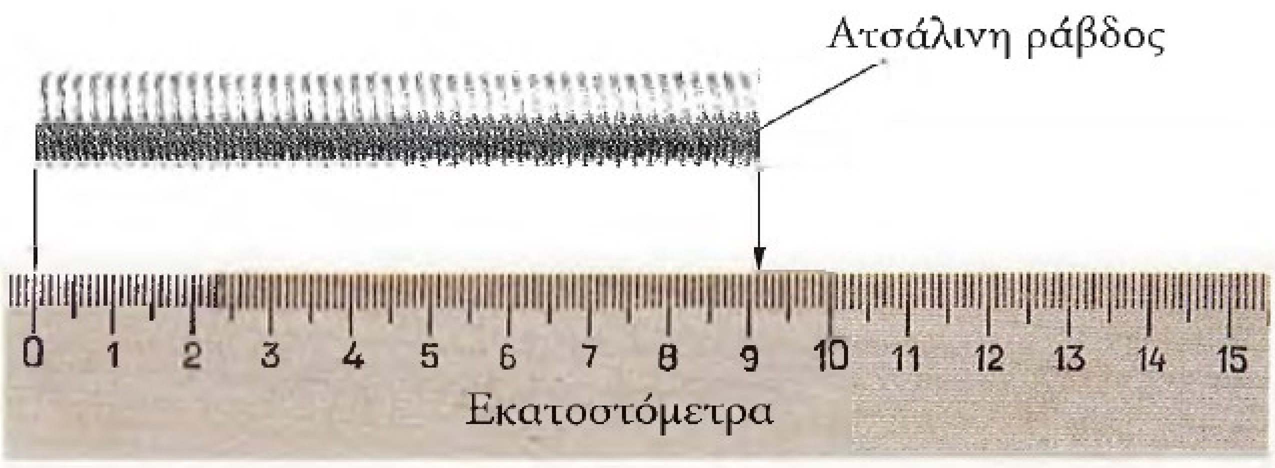
Ακρίβεια (Accuracy), Πιστότητα (Precision)

Η οποιαδήποτε μέτρηση είναι τόσο καλή, όση και η ικανότητα του αναλυτή και η αξιοπιστία της χρησιμοποιούμενης συσκευής. Στη χημεία υπάρχει πάντα ένας βαθμός αβεβαιότητας στις τιμές των μετρήσεων.

- **Ακρίβεια (accuracy)**: Αναφέρεται στην εγγύτητα μιας συγκεκριμένης μέτρησης με την πραγματική τιμή.
- **Πιστότητα (precision)**: Αναφέρεται στην εγγύτητα ενός συνόλου μετρήσεων, δηλαδή το κατά πόσο συγκεκριμένες μετρήσεις συμφωνούν μεταξύ τους.
- Μετρήσεις με υψηλή επαναληψιμότητα/πιστότητα **I είναι συνήθως και ακριβείς. Είναι όμως I πιθανό να έχουμε στις μετρήσεις κάποιο | συστηματικό σφάλμα.**

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

- Για να δείξουμε την επαναληψιμότητα μιας μετρημένης τιμής (ή ενός αποτελέσματος υπολογισμών με μετρημένες τιμές), χρησιμοποιούμε συχνά την έννοια των σημαντικών ψηφίων. **Σημαντικά ψηφία είναι όλα τα βέβαια ψηφία μιας μετρημένης τιμής (ή ενός αποτελέσματος υπολογισμών με μετρημένες τιμές), συν ένα τελικό ψηφίο το οποίο χαρακτηρίζεται από κάποια αβεβαιότητα.**



Επαναληψιμότητα μέτρησης με εκατοστομετρικό χάρακα. Το μήκος της ράβδου είναι λίγο μεγαλύτερο από 9,1 cm. Στις τρεις διαδοχικές μετρήσεις εκτιμούμε με το μάτι ότι το μήκος της είναι 9,12 cm, 9,11 cm και 9,13 cm. Έτσι, αναφέρουμε ότι το μήκος της ράβδου κυμαίνεται ανάμεσα σε 9,11 cm και 9,13 cm.

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

- Αριθμός σημαντικών ψηφίων είναι ο αριθμός των αναγραφομένων ψηφίων στην τιμή μιας μετρημένης ή υπολογισμένης ποσότητας, ο οποίος δείχνει την επαναληψιμότητα της τιμής. Έτσι, στην τιμή 9,12 cm υπάρχουν τρία σημαντικά ψηφία, ενώ η τιμή 9,123 cm έχει τέσσερα σημαντικά ψηφία. Στην απαρίθμηση των σημαντικών ψηφίων μιας μετρημένης ποσότητας μάς βοηθούν οι παρακάτω κανόνες:

- Όλα τα ψηφία είναι σημαντικά, εκτός από μηδενικά στην αρχή του αριθμού και ενδεχομένως κάποια τερματικά μηδενικά (ένα ή περισσότερα μηδενικά στο τέλος ενός αριθμού). Έτσι, οι τιμές 9,12 cm, 0,912 cm και 0,00912 cm έχουν όλες από τρία σημαντικά ψηφία.

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

- Τερματικά μηδενικά δεξιά της υποδιαστολής είναι σημαντικά ψηφία. Π.χ., οι τιμές 9,00 cm, 9,10 cm και 90,0 cm έχουν όλες από τρία σημαντικά ψηφία.
- Τερματικά μηδενικά σε μη δεκαδικούς αριθμούς μπορεί να είναι, μπορεί όμως και να μην είναι σημαντικά. Αν μας δοθεί η μέτρηση 900 cm, δεν γνωρίζουμε πόσα σημαντικά ψηφία (ένα, δύο ή τρία) πρέπει να λάβουμε υπ’ όψιν. Αν όμως η μέτρηση δοθεί ως 900, cm (προσέξτε την υποδιαστολή μετά το 900) τότε τα μηδενικά είναι σημαντικά. Γενικά, σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούμε να εξαλείψουμε κάθε αβεβαιότητα, αν εκφράσουμε το αποτέλεσμα με επιστημονικό συμβολισμό.

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

- Επιστημονικός (ή εκθετικός) συμβολισμός είναι η απεικόνιση ενός αριθμού υπό τη μορφή $A \times 10^n$, όπου το A είναι αριθμός με ένα μονοψήφιο μη μηδενικό ψηφίο αριστερά της υποδιαστολής και το n είναι ένας ακέραιος αριθμός.
- Κατά τον επιστημονικό συμβολισμό, η μέτρηση 900 cm δοσμένη με δύο σημαντικά ψηφία γράφεται $9{,}0 \times 10^2$ cm, με τρία σημαντικά ψηφία $9{,}00 \times 10^2$ cm κ.ο.κ. Ο επιστημονικός συμβολισμός διευκολύνει επίσης την αναγραφή πολύ μεγάλων ή πολύ μικρών ποσοτήτων. Π.χ., είναι πολύ ευκολότερο και απλούστερο για τους υπολογισμούς το να γράψουμε την ταχύτητα του φωτός ως $3{,}00 \times 10^8$ (αντί 300.000.000) μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

Συχνά συμβαίνει, κυρίως όταν γίνονται υπολογισμοί με μικροϋπολογιστές, να προκύπτουν περισσότερα σημαντικά ψηφία απ’ όσα μπορούν να δικαιολογηθούν. Η απόφαση για τον αριθμό των ψηφίων που πρέπει ν’ αγνοηθούν θα ληφθεί κατόπιν μιας «ανάλυσης σφάλματος», αλλά στην πράξη χρησιμοποιείται μια πιο απλή προσέγγιση που υπακούει σε δύο κανόνες.

1. Πολλαπλασιασμός και διαίρεση. Όταν πολλαπλασιάζουμε ή διαιρούμε μετρημένες ποσότητες, δίνουμε το τελικό αποτέλεσμα με τόσα σημαντικά ψηφία, όσα έχει και η μέτρηση με τα λιγότερα σημαντικά ψηφία.

$$\frac{278}{11.70} = 23.8$$

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

2. Όταν προσθέτουμε ή αφαιρούμε, το αποτέλεσμα δεν μπορεί να έχει περισσότερα δεκαδικά στη δεξιά πλευρά μετά το κόμμα (δεκαδικό σημείο) απ’ ότι ο καθένας αριθμός απ’ τους οποίους προήλθε.

$$\begin{array}{r} 3.18?\,?? \\ +\ 0.013\,15 \\ \hline 3.19?\,?? \end{array}$$

Από τη στιγμή που θ’ αποφασιστεί πόσα δεκαδικά θα διατηρηθούν, οι κανόνες στρογγυλοποίησης έχουν ως εξής:

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

1. Εάν το πρώτο ψηφίο που αφαιρείται είναι < 5, τότε η στρογγυλοποίηση γίνεται προς τα κάτω, αφαιρώντας όλα τα ψηφία που ακολουθούν.

   Παράδειγμα: το 5.66**4525** θα γίνει 5.66 (4 < 5)

2. Εάν το πρώτο ψηφίο που αφαιρείται είναι 6 ή μεγαλύτερο, τότε η στρογγυλοποίηση γίνεται προς τα πάνω, προσθέτοντας 1 στο ψηφίο αριστερά.

   Παράδειγμα: το 5.6**64525** θα γίνει 5.7

3. Εάν το πρώτο ψηφίο που αφαιρείται είναι 5 και ακολουθούν άλλα εκτός του μηδενός, η στρογγυλοποίηση γίνεται προς τα πάνω

   Παράδειγμα: το 5.664**525** θα γίνει 5.665

Σημαντικά Ψηφία / Στρογγυλοποίηση αριθμών

4. Εάν το πρώτο ψηφίο είναι 5 και δεν ακολουθεί τίποτα, η στρογγυλοποίηση γίνεται προς τα κάτω

   Παράδειγμα: 5.66452**5** θα γίνει 5.66452

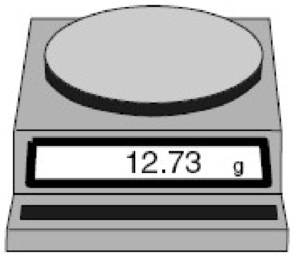
Μέτρηση Μάζας

Μάζα ορίζεται ως η ποσότητα ύλης ενός αντικειμένου. Ύλη είναι οτιδήποτε έχει μάζα. Η μάζα μετριέται σε μονάδες SI με το χιλιόγραμμο (1 kg). Επειδή αυτή η μονάδα είναι πολύ μεγάλη για τις συνήθεις χημικές μετρήσεις, χρησιμοποιούνται συχνά το γραμμάριο (g = 0.001 kg), το χιλιοστογραμμάριο (mg = 0.001 g = 10^{-6} kg) και το μικρογραμμάριο (μg = 0.001 mg = 10^{-6} g = 10^{-9} kg).

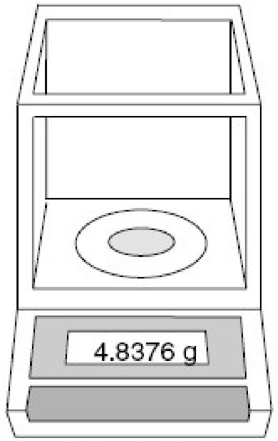
$$1\ \text{kg} = 1000\ \text{g} = 1{,}000{,}000\ \text{mg} = 1{,}000{,}000{,}000\ \mu\text{g}$$

$$1\ \text{g} = 1000\ \text{mg} = 1{,}000{,}000\ \mu\text{g}$$

$$1\ \text{mg} = 1000\ \mu\text{g}$$



Top-Loading Balance



Analytical Balance


ύαλος ωρολογίου


σπαθίδες ζύγισης


0.00 g

Μέτρηση Μήκους

Το μέτρο (m) είναι η θεμελιώδης μονάδα μήκους στο σύστημα SI. Ο τελευταίος ορισμός του μέτρου, όπως αυτό καθορίστηκε το 1983, είναι η απόσταση που διανύεται από το φως μέσω κενού σε 1/299,792,458 δευτερόλεπτα.

Το μέτρο είναι πολύ μεγάλη μονάδα για χημικές μετρήσεις. Άλλες, πιο κοινές μετρήσεις μήκους είναι το εκατοστόμετρο (cm = 0.01 m), το χιλιοστόμετρο (mm = 0.1 cm = 0.001 m), το μικρόμετρο (μm = 10^{-6} m) και το νανόμετρο (nm = 10^{-9} m).

$$1\ \text{m} = 100\ \text{cm} = 1000\ \text{mm} = 1{,}000{,}000\ \mu\text{m} = 1{,}000{,}000{,}000\ \text{nm}$$

$$1\ \text{cm} = 10\ \text{mm} = 10{,}000\ \mu\text{m} = 10{,}000{,}000\ \text{nm}$$

$$1\ \text{mm} = 1000\ \mu\text{m} = 1{,}000{,}000\ \text{nm}$$

Μέτρηση Θερμοκρασίας

Για πρακτικούς λόγους, οι βαθμοί Celsius και Kelvin είναι το ίδιο, δηλαδή είναι το ένα εκατοστό του διαστήματος μεταξύ του σημείου πήξεως και του σημείου ζέσεως του νερού σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση. Η μόνη πραγματική διαφορά μεταξύ των δύο μονάδων είναι οι αριθμοί που αντιστοιχούν στα διάφορα σημεία της κλίμακας.

Ενώ η κλίμακα Celsius θεωρεί ως 0 °C το σημείο πήξεως του νερού και ως 100 °C το σημείο βρασμού του, στην κλίμακα Kelvin το σημείο 0 K είναι η χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία (- 273.15 °C), η οποία πολλές φορές αποκαλείται *το απόλυτο μηδέν*. Έτσι, 0 K = - 273.15 °C και 273.15 K = 0 °C.

$$\text{Temperature in K} = \text{Temperature in } ^\circ\text{C} + 273.15$$

$$\text{Temperature in } ^\circ\text{C} = \text{Temperature in K} - 273.15$$

Μέτρηση Θερμοκρασίας

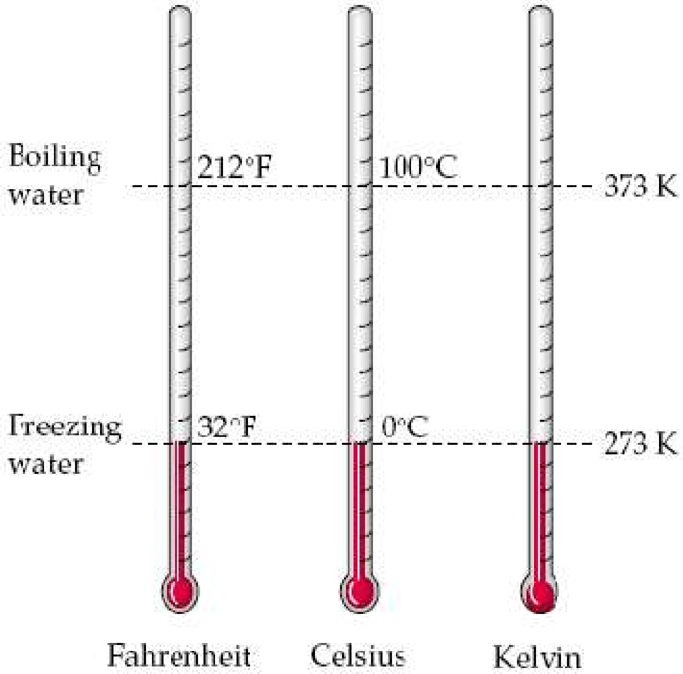
Εν αντιθέσει με τις κλίμακες Celsius και Kelvin, η κλίμακα Fahrenheit έχει ένα διάστημα 180° μεταξύ του σημείου πήξεως του νερού (32°F) και του σημείου βρασμού του (212°F). Το διάστημα, λοιπόν, των 100 βαθμών της κλίμακας Celsius (ή Kelvin) αντιστοιχεί σε διάστημα 180 βαθμών της κλίμακας Fahrenheit, δηλαδή 1 °F = 5/9 °C.

CELSIUS TO FAHRENHEIT:

$$^{\circ}\mathrm{F} = \left(\frac{9^{\circ}\mathrm{F}}{5\cancel{^{\circ}\mathrm{C}}} \times \cancel{^{\circ}\mathrm{C}}\right) + 32^{\circ}\mathrm{F}$$

FAHRENHEIT TO CELSIUS:

$$^{\circ}\mathrm{C} = \frac{5^{\circ}\mathrm{C}}{9\cancel{^{\circ}\mathrm{F}}} \times (\cancel{^{\circ}\mathrm{F}} - 32\cancel{^{\circ}\mathrm{F}})$$

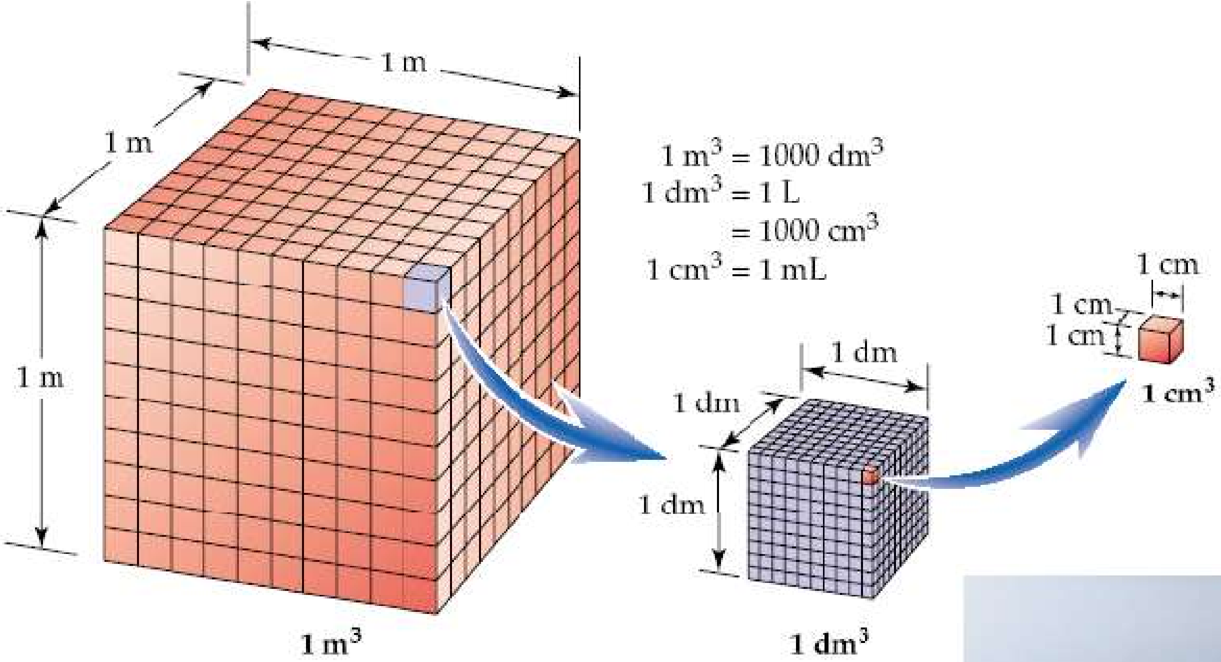


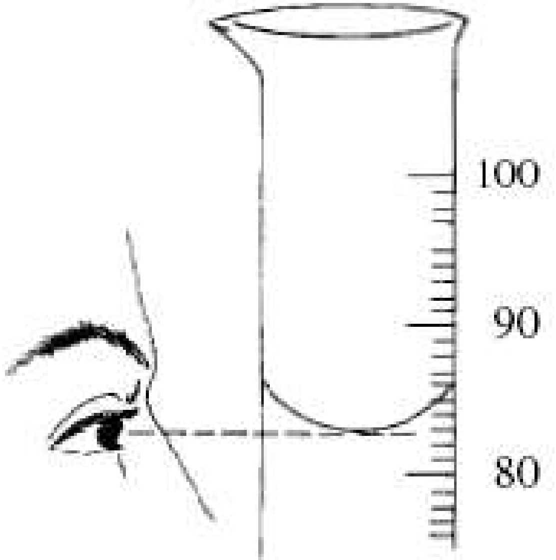
Παράγωγες Μονάδες: Μέτρηση Όγκου

Ο όγκος, η ποσότητα του χώρου που καταλαμβάνει ένα αντικείμενο, μετριέται σε μονάδες SI με το κυβικό μέτρο (m^3) και ορίζεται ως η ποσότητα του χώρου που καταλαμβάνεται από ένα κύβο που η κάθε πλευρά του είναι 1 m.

Επειδή το κυβικό μέτρο είναι πολύ μεγάλη μονάδα για τις συνήθεις μετρήσεις στη χημεία, χρησιμοποιούνται μικρότερες και πιο βολικές μετρήσεις. Το ένα κυβικό δεκάμετρο ($1\ dm^3 = 0.001\ m^3$) ισούται με το λίτρο (1 L) και το ένα κυβικό εκατοστό ($1\ cm^3 = 0.001\ dm^3 = 10^{-6}\ m^3$) ισούται με το χιλιοστόλιτρο (1 mL).

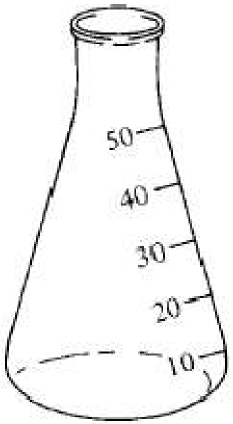
$$1\ m^3 = 1000\ dm^3 = 1{,}000{,}000\ cm^3$$
$$1\ dm^3 = 1\ L = 1000\ mL$$

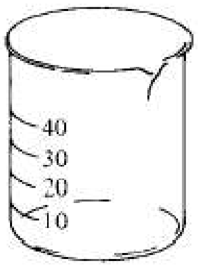

1 m
1 m
1 m
1 m³
1 m³ = 1000 dm³
1 dm³ = 1 L
= 1000 cm³
1 cm³ = 1 mL
1 dm
1 dm
1 dm
1 dm³
1 cm
1 cm
1 cm
1 cm³

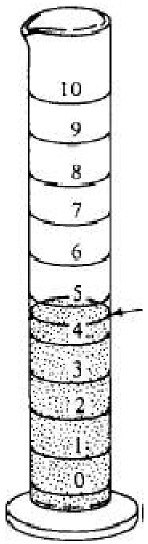


82.58 mL – Incorrect
82 mL – Incorrect
82.5 mL – Correct

πουάρ σιφωνίων

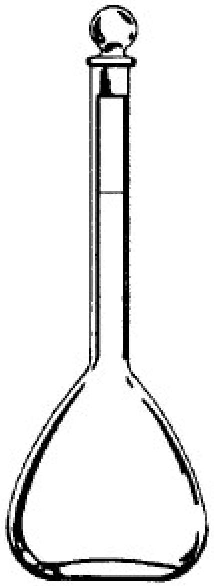




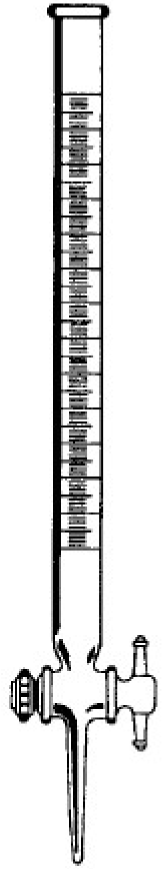


σταγονόμετρο

Pipet



Volumetric flask



Buret

Παράγωγες Μονάδες: Μέτρηση Πυκνότητας

Η φυσική ιδιότητα που συσχετίζει τη μάζα ενός αντικειμένου με τον όγκο του, ονομάζεται *πυκνότητα*. Η πυκνότητα είναι η μάζα ενός αντικειμένου δια τον όγκο του και σε παράγωγες μονάδες SI εκφράζεται ως g/cm^3 για ένα στερεό ή g/mL για ένα υγρό.

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass (g)}}{\text{Volume (mL or cm}^3\text{)}}$$

Παράγωγες Μονάδες: Μέτρηση Πυκνότητας

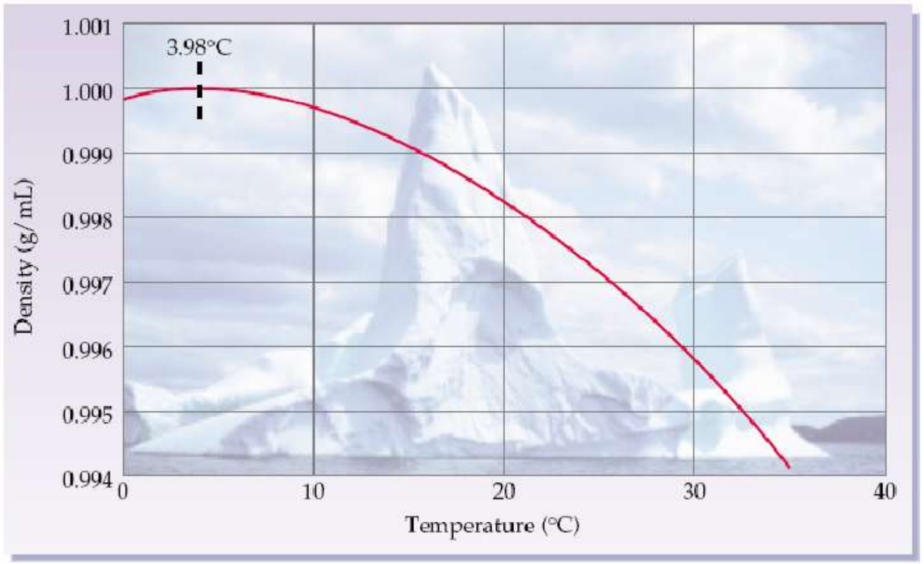
Επειδή οι περισσότερες ουσίες μεταβάλλονται σε όγκο όταν θερμαίνονται ή ψύχονται, οι πυκνότητες είναι εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία.

Για παράδειγμα, στους 3.98 °C ένα δοχείο 1.0000 mL χωράει ακριβώς 1.0000 g νερού (d = 1.0000 g/mL). Καθώς αυξάνει η θερμοκρασία όμως, ο όγκος διαστέλλεται κι έτσι στους 100 °C το δοχείο θα χωράει μόνο 0.9584 g (d = 0.9584 g/mL).

Όταν λοιπόν αναφερόμαστε στην πυκνότητα, θα πρέπει πάντοτε να διευκρινίζεται και η θερμοκρασία.

Παράγωγες Μονάδες: Μέτρηση Πυκνότητας

Αν και οι περισσότερες ουσίες διαστέλλονται όταν θερμαίνονται και συστέλλονται όταν ψύχονται, το νερό συμπεριφέρεται διαφορετικά. Το νερό συστέλλεται όταν ψύχεται από τους 100 στους 3.98 °C, αλλά πέρα απ' αυτήν τη θερμοκρασία αρχίζει να διαστέλλεται πάλι. Έτσι, η πυκνότητα του υγρού νερού φτάνει στο μέγιστο 1.00000 g/mL στους 3.98 °C, αλλά στους 0 °C είναι 0.99987 g/mL και πέφτει ακόμα χαμηλότερα όταν δημιουργηθεί πάγος.



Παράγωγες Μονάδες: Μέτρηση Πυκνότητας

Εάν είναι γνωστή η πυκνότητα μια ουσίας, κυρίως υγρής, τότε αυτό είναι πολύ χρήσιμο, γιατί είναι ευκολότερο να μετριέται ένα υγρό ως όγκος απ' ότι ως μάζα.

Για παράδειγμα, ως υποτεθεί ότι χρειάζονται 1.55 g αιθανόλης. Αντί να ζυγιστεί ακριβώς αυτή η ποσότητα, με βάση την πυκνότητα της αιθανόλης (0.7893 g/mL στους 20 °C), μπορούμε να υπολογίσουμε τον απαιτούμενο όγκο και να τον μετρήσουμε με μια σύριγγα.

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}} \qquad \text{so} \qquad \text{Volume} = \frac{\text{Mass}}{\text{Density}}$$

$$\text{Volume} = \frac{1.55\ \text{g ethyl alcohol}}{0.7893\dfrac{\text{g}}{\text{mL}}} = 1.96\ \text{mL ethyl alcohol}$$

Παράγωγες Μονάδες: Μέτρηση Πυκνότητας

- Ένα πείραμα απαιτεί 43,7 g ισοπροπυλαλκοόλης. Ένας χημικός αντί να ζυγίσει την ποσότητα αυτή πάνω στον ζυγό προτιμά να μετρήσει το υγρό με έναν ογκομετρικό κύλινδρο. Η πυκνότητα της ισοπροπυλαλκοόλης είναι 0,785 g/mL. Πόσο όγκο ισοπροπυλαλκοόλης πρέπει να μετρήσει;

Λύση. Μετασχηματίζουμε τον τύπο ορισμού της πυκνότητας προκειμένου να δίνει όγκο:

$$V = \frac{m}{d}$$

Με αντικατάσταση των τιμών στον τύπο αυτό λαμβάνουμε:

$$V = \frac{43{,}7\ \mathrm{g}}{0{,}785\ \mathrm{g/mL}} = \mathbf{55{,}7\ mL}$$

Παρατηρούμε ότι η πυκνότητα της ισοπροπυλαλκοόλης είναι κοντά στο 1 g/mL, τιμή συνηθισμένη για πολλές ουσίες. Σε περιπτώσεις όπως αυτή, μπορούμε γρήγορα να ελέγχουμε την απάντησή μας, επειδή η αριθμητική τιμή του όγκου του υγρού δεν μπορεί να διαφέρει πολύ από την αριθμητική τιμή της μάζας του υγρού.