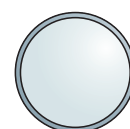
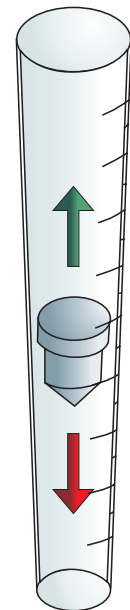


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΡΧΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

Α. Φασουλάκη



ΔΥΝΑΜΗ, ΠΙΕΣΗ, ΕΡΓΟ

Δύναμη

Το μέγεθος το οποίο μεταβάλλει την κινητική κατάσταση ενός αντικείμενου καλείται δύναμη. Όταν μια δύναμη εφαρμόζεται σε ένα αντικείμενο μπορεί να το μετατοπίσει, να διατηρήσει την ταχύτητα με την οποία κινείται το αντικείμενο ή να αυξήσει την ταχύτητά του. Στο διεθνές σύστημα μονάδων (System International = SI) η μονάδα μέτρησης της δύναμης είναι το Newton (N). Ένα N είναι η δύναμη, η οποία όταν εφαρμόζεται σε μάζα ενός kg, θα της δώσει επιτάχυνση ενός μέτρου ανά δευτερόλεπτο ανά δευτερόλεπτο. $N = \text{kg m s}^{-2}$. Η δύναμη που ασκεί η βαρύτητα σε μάζα ενός 1 kg είναι 9,81 N και ορίζεται ως το βάρος ενός 1 kg.

Πίεση

Πίεση είναι η δύναμη η οποία ασκείται ανά μονάδα επιφάνειας. Η μονάδα μέτρησης πίεσης στο σύστημα SI είναι N m^{-2} ή Pascal (Pa). $1 \text{ N m}^{-2} = 10 \text{ dyne cm}^{-2}$. Επειδή η μονάδα αυτή μέτρησης της πίεσης αντιπροσωπεύει μια πολύ μικρή πίεση ($1 \text{ N} = 102 \text{ g}$ σε 1 m^2), χρησιμοποιούμε το kPa, το οποίο ισούται με 1000 Pa.

Κατά ανάλογο τρόπο, μια στήλη υγρού ασκεί μια δύναμη στην επιφάνεια του σωλήνα ή του δοχείου που το περιέχει. Αυτή η δύναμη (F) ισούται με την πυκνότητα (d) του υγρού πολλαπλασιαζόμενη επί το ύψος (h) και επί την επιφάνεια διατομής του σωλήνα (A).

$$F = d \times h \times A$$

Η πίεση (P) που ασκείται από αυτή τη δύναμη ή το βάρος του υγρού που περιέχεται στο σωλήνα είναι:

$$P = (d \times h \times A) / A \rightarrow P = d \times h$$

Έτσι, η πίεση που ασκείται από μια στήλη νερού εξαρτάται από την πυκνότητα (d) και το ύψος (h) του υγρού και είναι ανεξάρτητη της επιφάνειας διατομής του σωλήνα.

Παράδειγμα άσκησης πίεσης σε μια επιφάνεια αποτελούν οι βαλβίδες που είναι ενσωματωμένες στα συστήματα αναισθησίας (εκπνευστικές βαλβίδες και βαλβίδες εκτόνωσης). Αυτές οι βαλβίδες περι-

λαμβάνουν ένα διάφραγμα, το οποίο δέχεται την πίεση που αναπτύσσεται μέσα στο σύστημα αναισθησίας. Η άνω επιφάνεια του διαφράγματος φέρει ένα ελατήριο, το οποίο επίσης ασκεί μια δύναμη. Όταν η δύναμη που ασκείται επάνω στο διάφραγμα από το ελατήριο υπερβαίνει τη δύναμη που ασκείται στην κάτω επιφάνεια του διαφράγματος από την πίεση μέσα στο σύστημα αναισθησίας, η βαλβίδα παραμένει κλειστή. Αντίθετα, όταν η δύναμη που αναπτύσσεται από το ελατήριο είναι μικρότερη από τη δύναμη που ασκείται στο διάφραγμα από την πίεση μέσα στο σύστημα αναισθησίας, το διάφραγμα ανυψώνεται και απελευθερώνονται αέρια στην ατμόσφαιρα.

Ο μειωτήρας ή η βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης (pressure reducing valve) αποτελεί επίσης παράδειγμα εξισορρόπησης της δύναμης που ασκείται από την πίεση που αναπτύσσεται κάτω από το διάφραγμα με τη δύναμη ενός ελατηρίου που βρίσκεται πάνω από το διάφραγμα. Η βαλβίδα σκοπό έχει να ρυθμίζει την πίεση ενός αερίου (Εικόνα 1). Η πίεση (P2) ασκεί στο διάφραγμα μια δύναμη (F). Η δύναμη αυτή εξισορροπεί τη δύναμη που αναπτύσσεται από το ελατήριο. Όταν η πίεση P2 ελαττωθεί τόσο, ώστε η δύναμη που αναπτύσσεται από το ελατήριο να γίνει μεγαλύτερη από τη δύναμη που αναπτύσσεται από την πίεση P2, το διάφραγμα θα μετατοπιστεί προς τα κάτω. Μαζί με το διάφραγμα μετακινείται μια ράβδος συνδεδεμένη με μια μικρή βαλβίδα. Κάθοδος της ράβδου επιτρέπει αύξηση της παροχής αερίου από την περιοχή της υψηλής πίεσης αερίου P1, διατηρώντας έτσι την P2 σταθερή.

Έργο

Έργο (W) επιτελείται όταν το σημείο εφαρμογής μιας δύναμης (F) μετακινείται σε κάποια απόσταση (D) με κατεύθυνση ίδια με την κατεύθυνση της δύναμης.

$$W = F \times D$$

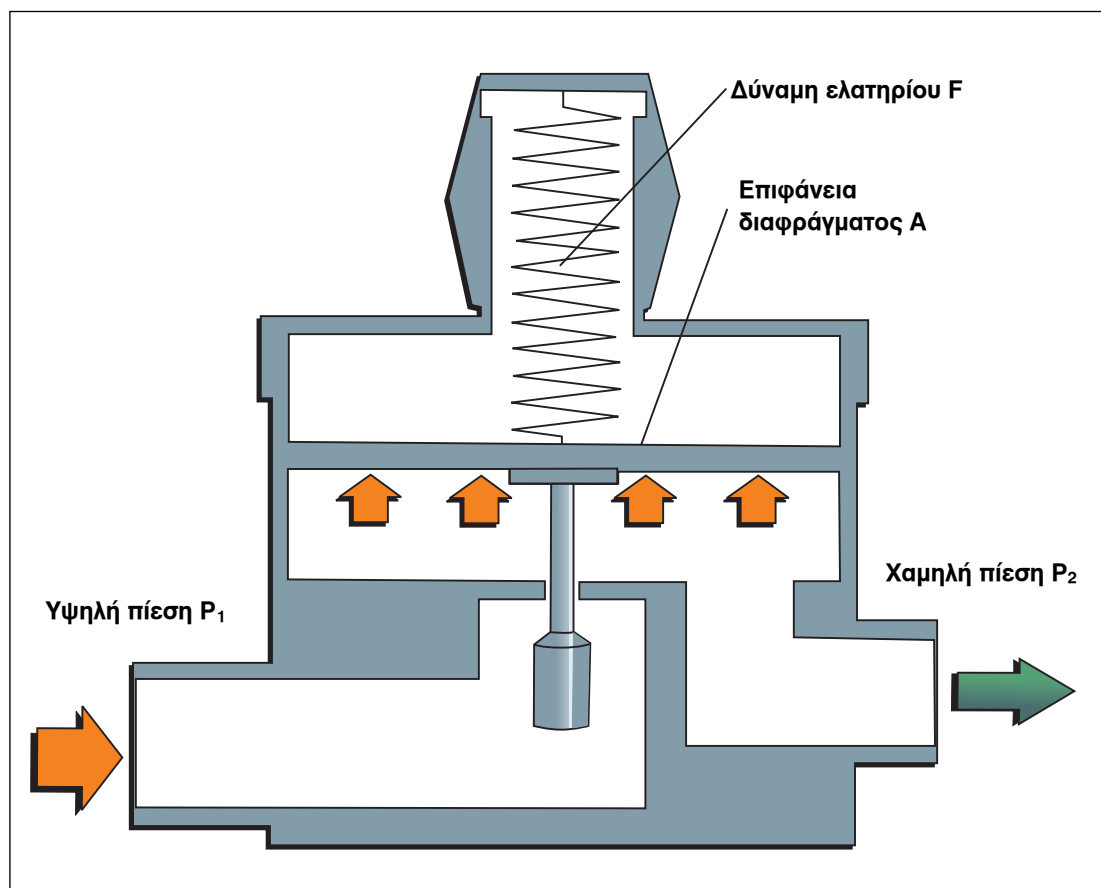
Αλλά: $P = F/A \rightarrow F = P \times A$

Επομένως: $W = P \times A \times D$

Επειδή: $V = A \times D \rightarrow D = V/A \rightarrow$

$$W = P \times A \times (V/A) = P \times V$$

Προκειμένου για το έργο που παράγεται από τους πνεύμονες κατά την αναπνοή, καθώς και το έργο που παράγεται από την καρδιά, αυτό δίδεται από διαγράμματα που απεικονίζουν οι καμπύλες όγκου - πίεσης.



ΕΙΚΟΝΑ 1

Βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης ή μειωτήρας.

ΝΟΜΟΙ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Στα στερεά, μεταξύ των μορίων επικρατούν οι δυνάμεις συνοχής, έτσι τα μόρια δονούνται γύρω από σταθερές θέσεις. Σε δεδομένη θερμοκρασία, το σχήμα και ο όγκος μιας στερεάς ουσίας διατηρούνται. Οι δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων αναπτύσσονται λόγω της έλξης που ασκεί ένα μόριο στα γειτονικά μόρια. Στα υγρά η τυχαία κίνηση των ατόμων και μορίων υπερνικά τις δυνάμεις συνοχής, οι δυνάμεις έλξης είναι ασθενείς και τα μόρια παύουν να κινούνται μέσα σε μια συγκεκριμένη τροχιά. Αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει τη μέση απόσταση μεταξύ των μορίων στα στερεά και στα υγρά, τα οποία διαστέλλονται. Τα αέρια, όταν θερμαίνονται, βομβαρδίζουν με μεγαλύτερη ταχύτητα τα τοιχώματα του δοχείου που τα περιέχει και διαστέλλονται ή, εάν τα τοιχώματα του δοχείου είναι ανένδοτα, αυξάνει η πίεση μέσα στο δοχείο.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας, τα μόρια μιας στερεάς ουσίας που βρίσκονται στην επιφάνεια, μπορούν να υπερνικήσουν τις συνεκτικές δυνάμεις έλξης των γειτονικών μορίων. Εξαέρωση είναι η μετάβαση μιας στερεάς ουσίας στη φάση ατμού. Η εξαέρωση γίνεται ευκολότερα στα στερεά των οποίων τα μόρια έχουν ασθενείς δυνάμεις συνοχής. Εξάτμιση είναι η μετάβαση μιας ουσίας από την υγρή φάση στη φάση των ατμών. Η εξαέρωση και η εξάτμιση λαμβάνουν χώρα σε οιαδήποτε θερμοκρασία και αν βρίσκεται η στερεά ή η υγρή ουσία. Κατά την εξαέρωση και την εξάτμιση λαμβάνει χώρα απώλεια θερμότητας της ουσίας που παραμένει στη στερεά ή στην υγρή κατάσταση, διότι για τη μετάβαση από τη στερεά ή υγρή φάση στη φάση των ατμών καταναλίσκεται ενέργεια.

Νόμος του Boyle

Για μια δεδομένη μάζα ενός δεδομένου αερίου σε

σταθερή θερμοκρασία ο όγκος (V) του αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογος της απόλυτης πίεσης (P).

$$P V = k_1, \text{ όπου } k_1 \text{ είναι μια σταθερά (Εικόνα 2Α).}$$

Νόμος του Charles

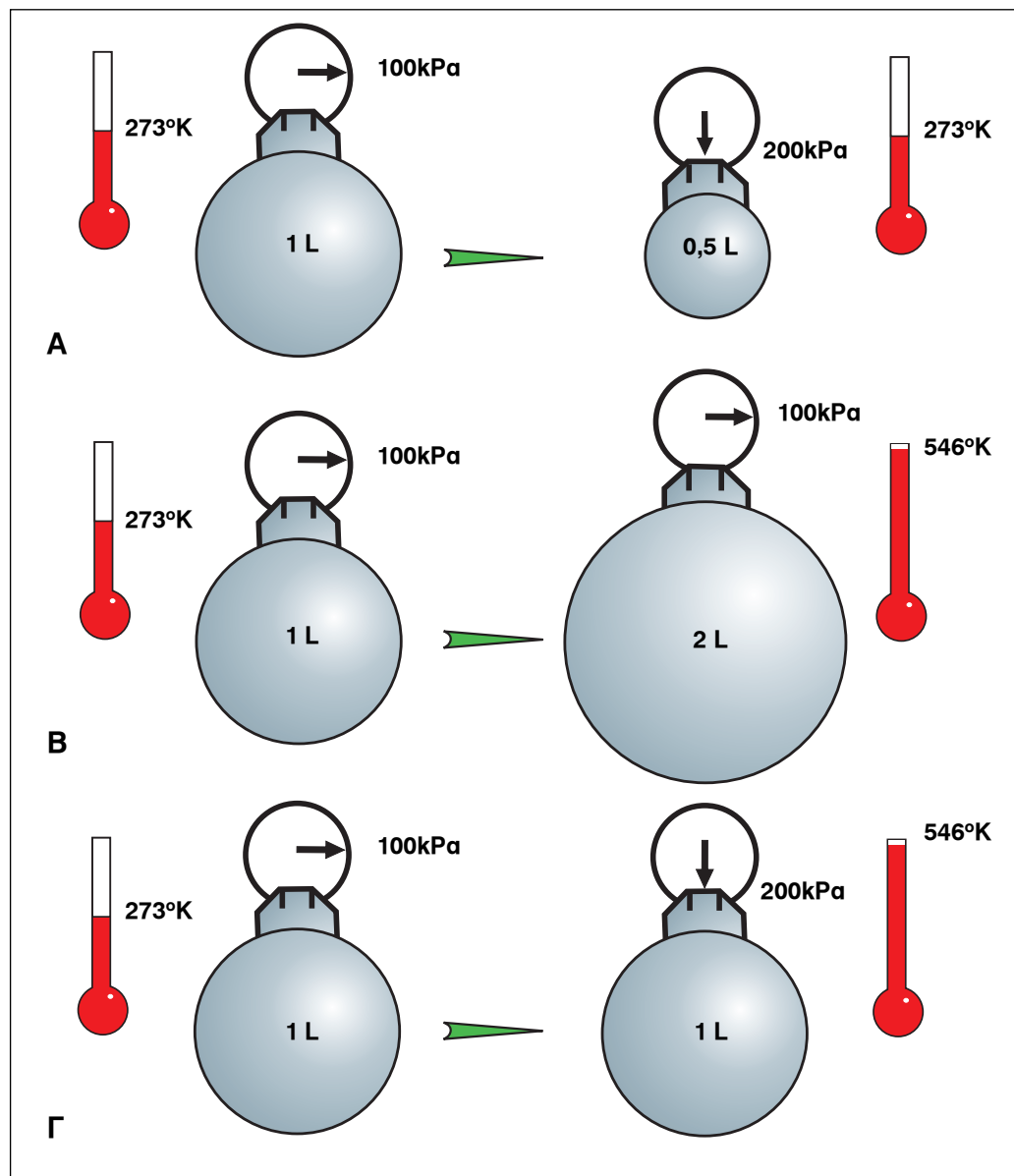
Για μια δεδομένη μάζα ενός δεδομένου αερίου σε σταθερή πίεση ο όγκος (V) του αερίου είναι ευθέως ανάλογος της απόλυτης θερμοκρασίας (T).

$$V/T = k_2, \text{ όπου } k_2 \text{ είναι μια σταθερά (Εικόνα 2Β).}$$

Για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό Κελσίου ο όγκος αυξάνεται κατά 1/273 του αρχικού όγκου.

Νόμος των Gay-Lussac

Για μια δεδομένη μάζα ενός δεδομένου αερίου, όταν ο όγκος είναι σταθερός, η απόλυτη πίεση (P)



ΕΙΚΟΝΑ 2

A: Μεταβολή της απόλυτης πίεσης και του όγκου ενός αερίου, όταν η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή (Νόμος του Boyle). **B:** Μεταβολή της απόλυτης θερμοκρασίας και του όγκου ενός αερίου, όταν η πίεση διατηρείται σταθερή (Νόμος του Charles). **Γ:** Μεταβολή της απόλυτης θερμοκρασίας και της απόλυτης πίεσης ενός αερίου, όταν ο όγκος διατηρείται σταθερός (Νόμος των Gay-Lussac).

του αερίου μεταβάλλεται ευθέως ανάλογα με την απόλυτη θερμοκρασία (T).

$P/T = k_3$, όπου k_3 είναι μια σταθερά (Εικόνα 2Γ).

Για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό Κελσίου η πίεση αυξάνει κατά $1/273$ της αρχικής πίεσης.

Νόμος του Dalton

Σε ένα μίγμα αερίων, η ολική πίεση που ασκείται από τα αέρια ισούται με το άθροισμα των πιέσεων που θα ασκούσε το κάθε αέριο εάν καταλάμβανε μόνο του τον ίδιο χώρο. Οι πιέσεις των αερίων που αποτελούν το μίγμα καλούνται μερικές πιέσεις. Ο νόμος του Dalton ισχύει με την προϋπόθεση ότι τα αέρια δεν αντιδρούν χημικά και δεν βρίσκονται κοντά στο σημείο υγροποίησής των.

Το ιδεώδες αέριο είναι ένα υποθετικό αέριο, το οποίο υπακούει ακριβώς τους νόμους των αερίων που καθορίζονται από τα αντίστοιχα πειράματα. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις αυτών των αερίων:

$$P V = k_1, V/T = k_2 \text{ και } P/T = k_3,$$

Η εξίσωση για τα ιδεώδη αέρια έχει ως ακολούθως:

$P V/T = \text{Σταθερά ή } P V/T = R,$
γνωστή ως θερμοδυναμική σταθερά των αερίων. Η εξίσωση μπορεί να γραφεί ως ακολούθως:

$$P V = n R T,$$

όπου $P =$ πίεση (Pa ή kPa), $V =$ όγκος (κυβικά μέτρα ή λίτρα), $n =$ ποσότητα (γραμμομόρια), $T =$ θερμοδυναμική ή απόλυτη θερμοκρασία, $R =$ η θερμοδυναμική ή παγκόσμια σταθερά των αερίων, η οποία ισούται με $8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ (joules/mole kelvin).

Έτσι, για μια δεδομένη μάζα αερίου σε μια φιάλη αερίου, όπου ο όγκος είναι σταθερός και η θερμοδυναμική σταθερά R είναι $8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, για μια δεδομένη θερμοκρασία, η ένδειξη του μανομέτρου πίεσης θα είναι α-

νάλογη της ποσότητας του αερίου (γραμμομόρια) στον κύλινδρο, με την προϋπόθεση ότι η ουσία βρίσκεται εξ' ολοκλήρου στην αέρια κατάσταση.

Υπόθεση Avogadro

Ένα γραμμομόριο είναι η ποσότητα μιας ουσίας, η οποία περιέχει τον ίδιο αριθμό μορίων με εκείνα τα οποία περιέχονται σε 12 gr C^{12} . Ο αριθμός των μορίων που περιέχονται σε ένα γραμμομόριο μιας ουσίας καλείται αριθμός Avogadro και ισούται με $6,022 \times 10^{23}$.

Σύμφωνα με την υπόθεση Avogadro, ίσοι όγκοι "ιδεωδών αερίων" στην ίδια θερμοκρασία και πίεση περιέχουν ίσους αριθμούς μορίων. Σε S.T.P. (Standard Temperature and Pressure, που είναι 0°C , 101 kPa ή 760 mm Hg), ένα γραμμομόριο μιας ουσίας καταλαμβάνει όγκο $22,4$ λίτρα. Σε S.T.P. ο αριθμός των μορίων ενός ιδεώδους αερίου σε ένα λίτρο είναι $2,68 \times 10^{22}$ μόρια/litre (αριθμός Loschmidt).

Κρίσιμη θερμοκρασία, ισόθερμες καμπύλες

Όλα τα αέρια δεν ακολουθούν ακριβώς τους νόμους των αερίων, αλλά κατά προσέγγιση. Το υδρογόνο ακολουθεί τους νόμους των αερίων με μεγαλύτερη προσέγγιση από τα άλλα αέρια. Τα πραγματικά αέρια δεν ακολουθούν ακριβώς τους νόμους των αερίων όταν υφίστανται συμπίεση, η οποία ελαττώνει τις αποστάσεις μεταξύ των μορίων, ιδιαίτερα στις χαμηλές θερμοκρασίες. Στις υψηλότερες θερμοκρασίες οι διαμοριακές δυνάμεις γίνονται πολύ μικρές λόγω της μεγάλης ταχύτητας των μορίων.

Κάθε αέριο μετά από συμπίεση μπορεί να μεταβεί στην υγρή κατάσταση, εφ' όσον βρίσκεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από την κρίσιμη θερμοκρασία

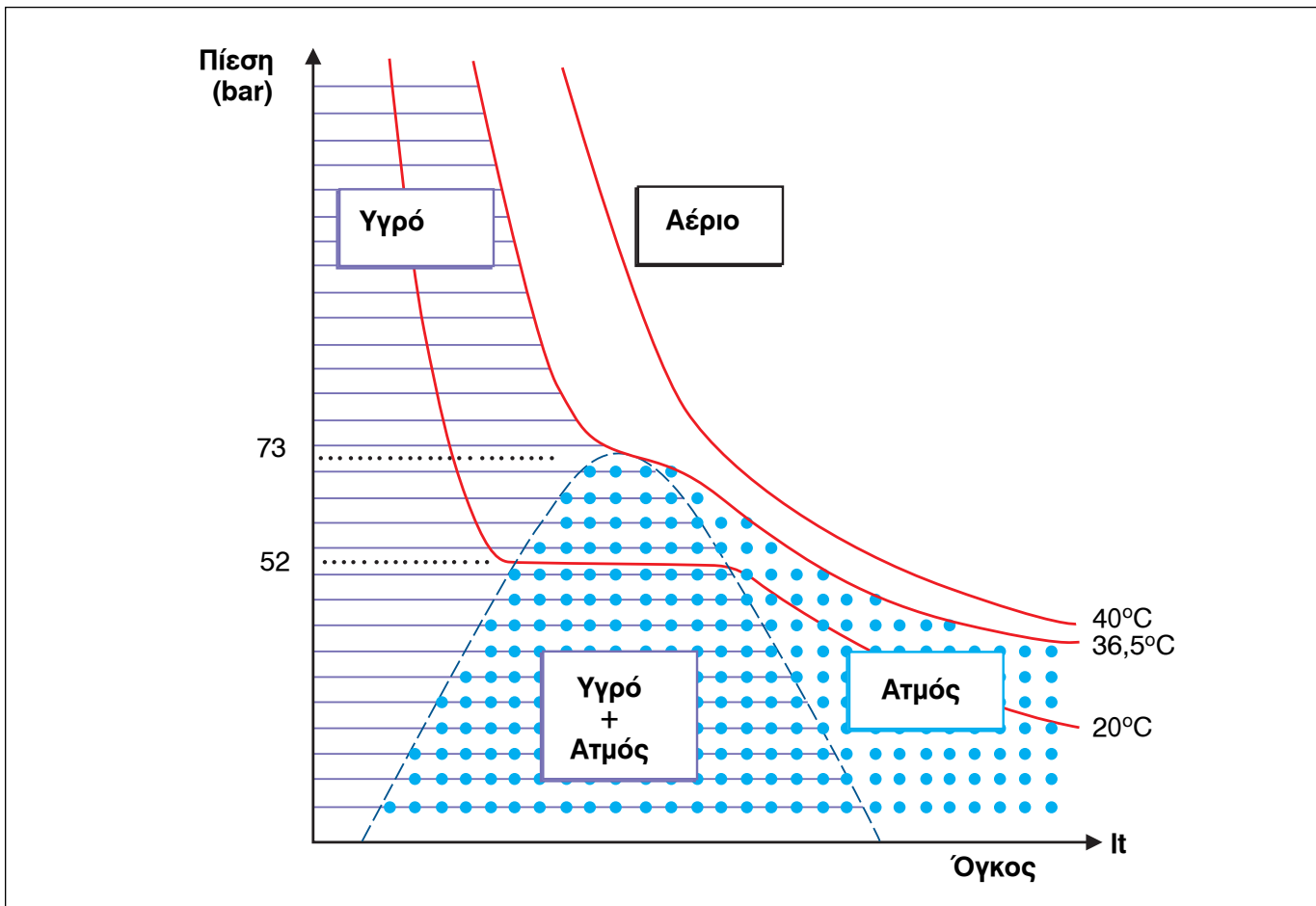
Πίνακας 1. Σύγκριση τριών υγροποιήσιμων ουσιών.

	Κρίσιμη θερμοκρασία		Κρίσιμη πίεση		Σημείο βρασμού	
	$^\circ\text{C}$	K	Mpa	Atm	$^\circ\text{C}$	K
Οξυγόνο	-119	155	5,08	50,1	-183	90,2
Υποξείδιο του αζώτου	36,5	310	7,24	71,5	-88,5	184,7
Νερό	374	647	22,12	218	100,0	373,15

του. Η θερμοκρασία πάνω από την οποία ένα αέριο δεν μπορεί να υγροποιηθεί, όση πίεση και αν εφαρμοστεί σε αυτό το αέριο καλείται κρίσιμη θερμοκρασία. Κρίσιμη πίεση ενός αερίου είναι η πίεση που ασκεί το αέριο όταν βρίσκεται στην κρίσιμη θερμοκρασία.

Η εικόνα 3 δείχνει τη σχέση μεταξύ της πίεσης και του όγκου μιας ουσίας σε σταθερή θερμοκρασία. Η καμπύλη που προκύπτει από αυτή τη σχέση καλείται ισόθερμη. Η εικόνα 3 δείχνει τις ισόθερμες καμπύλες για το υποξείδιο του αζώτου που αντιστοιχούν σε τρεις θερμοκρασίες. Η ισόθερμη καμπύλη που αντιστοιχεί στους 20°C δείχνει την αύξηση της πίεσης, καθώς ελαττώνεται ο όγκος λόγω συμπίεσης. Όταν η πίεση φτάσει τις 52 ατμόσφαιρες, περαιτέρω συμπίεση δεν αυξάνει την πίεση στο δοχείο που περιέχει το υποξείδιο του αζώτου, ενώ μέρος του υποξειδίου του αζώτου υγροποιεί-

ται και συνυπάρχουν η υγρή φάση και η φάση των ατμών. Περαιτέρω ελάττωση του όγκου καταλήγει σε πλήρη υγροποίηση του υποξειδίου του αζώτου και σε απότομη αύξηση της πίεσης, καθώς τα υγρά ελάχιστα συμπιέζονται. Στη θερμοκρασία των 36,5°C ελάττωση του όγκου αυξάνει την πίεση μέχρι τις 73 ατμόσφαιρες. Σε αυτό το σημείο, το υποξείδιο του αζώτου υγροποιείται και παρατηρείται μια απότομη αύξηση της πίεσης. Η ισόθερμη καμπύλη που αντιστοιχεί στους 40°C δείχνει μια αύξηση της πίεσης, καθώς ο όγκος του υποξειδίου του αζώτου ελαττώνεται. Υγροποίηση δεν παρατηρείται, καθώς η θερμοκρασία 40°C είναι πάνω από την κρίσιμη θερμοκρασία του υποξειδίου του αζώτου που είναι 36,5°C. Επομένως, όση πίεση και αν ασκηθεί στους 40°C, το υποξείδιο του αζώτου δεν υγροποιείται.



ΕΙΚΟΝΑ 3 Ισόθερμες καμπύλες του υποξειδίου του αζώτου που αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες 40°C, 36,5°C και 20°C.

ΡΟΗ

Ροή είναι η ποσότητα ενός ρευστού που περνάει από ένα σημείο στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα ενός ρευστού που ρέει μέσα από ένα σωλήνα ανοικτό στην άνω επιφάνεια δεν είναι ομοιόμορφη αλλά μεγαλύτερη στην άνω επιφάνεια και ελάχιστη στον πυθμένα. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στη γλοιότητα του ρευστού. Σε ένα κλειστό σωλήνα οι στιβάδες του ρευστού στο κέντρο του σωλήνα ρέουν με ταχύτητα διπλάσια της μέσης ταχύτητας, ενώ στα τοιχώματα του σωλήνα η ταχύτητα γίνεται μηδενική. Αυτό ισχύει για τη γραμμική ροή, στην οποία ένα ρευστό κινείται σταθερά και ομαλά χωρίς στροβίλους.

Ως γλοιότητα ενός ρευστού ορίζεται η αντίσταση που παρουσιάζει το ρευστό στη ροή. Ο συντελεστής της γλοιότητας του νερού στους 37°C είναι $0,7 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$, και του αίματος $2,8 \times 10^{-3} \text{ N s m}^{-2}$. Έτσι, κάτω από τις ίδιες συνθήκες η ταχύτητα ροής του αίματος θα είναι 4 φορές μικρότερη από την ταχύτητα ροής του νερού. Η γλοιότητα του αίματος αυξάνεται σημαντικά με την αύξηση του αιματοκρίτη. Η επίδραση αυτή γίνεται περισσότερο εμφανής για τις υψηλότερες τιμές αιματοκρίτη (40-45). Η ροή διαφορετικών ρευστών μέσα από ίδιους σωλήνες και κάτω από τις ίδιες συνθήκες είναι αντιστρόφως ανάλογη των συντελεστών γλοιότητας των ρευστών. Οι γλοιότητες των αναισθητικών αερίων διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των και αυτό έχει πρακτική σημασία όταν ένα ροόμετρο βαθμονομείται για ένα ειδικό αέριο.

Η κλίση ταχύτητας (velocity gradient) της ροής ενός ρευστού είναι ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλεται η ταχύτητα του ρευστού (v') σε σχέση με την απόσταση που μετράται μεταξύ δύο στιβάδων του ρευστού.

$$(v') = (v_1 - v_2)/d,$$

όπου v_1 και v_2 οι ταχύτητες των στιβάδων του ρευστού και d η κάθετη απόσταση μεταξύ των δύο στιβάδων. Σύμφωνα με τον Newton, η δύναμη τριβής (f) σε ένα ρευστό είναι ανάλογη της επιφάνειας επαφής (a) δύο γειτονικών στιβάδων του ρευστού και της κλίσης ταχύτητας (v'):

$f \propto a v'$, ή $f = \eta a v'$, ή $\eta = f/av'$, το οποίο σημαίνει ότι:

γλοιότητα (η) = δύναμη (f)/επιφάνεια (a) \times κλίση ταχύτητας (v')

Συντελεστής γλοιότητας (coefficient of viscosity)

ή δυναμική γλοιότητα (dynamic viscosity) ή η απόλυτη γλοιότητα: Ορίζεται ως η δύναμη που δρα κατ'εφαπτομένη ανά μονάδα επιφάνειας του ρευστού, το οποίο έχει κλίση ταχύτητας ροής μια μονάδα.

Κινηματική γλοιότητα (Kinematic viscosity)

Είναι η σχέση της δυναμικής γλοιότητας ενός υγρού προς την πυκνότητα του υγρού (η/ρ). Εάν δύο ρευστά έχουν διαφορετικές δυναμικές γλοιότητες και διαφορετικές πυκνότητες, που όμως παρά τις διαφορετικές τιμές διατηρείται η ίδια αναλογία δυναμική γλοιότητα/πυκνότητα θα παρουσιάζουν την ίδια κινηματική γλοιότητα. Αντίθετα, για ρευστά με όμοιες δυναμικές γλοιότητες αλλά διαφορετικές πυκνότητες (π.χ. άζωτο και ήλιο) οι κινηματικές γλοιότητες και η τάση μετάβασης από τη γραμμική στη στροβιλώδη ροή θα είναι διαφορετικές. Η κινηματική γλοιότητα $\nu = \eta/\rho$ είναι μικρότερη για το άζωτο σε σύγκριση με το ήλιο. Εφ'όσον οι άλλοι παράγοντες είναι ίδιοι, π.χ. ίδιες ταχύτητες ροής και ίδιες διαμέτροι σωλήνων, ο αριθμός Reynolds είναι μεγαλύτερος για το άζωτο, το οποίο μεταπίπτει σε στροβιλώδη ροή ευκολότερα από το ήλιο.

Γλοιότητα και θερμοκρασία

Στα υγρά η γλοιότητα εξαρτάται από τις δυνάμεις έλξης μεταξύ των μορίων του υγρού. Εφ'όσον η αύξηση της θερμότητας αντιτίθεται στις δυνάμεις έλξης μεταξύ των μορίων, η γλοιότητα ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Στα αέρια η γλοιότητα εξαρτάται από τις τυχαίες μετακινήσεις των μορίων από τις ταχύτερες στις βραδύτερες στιβάδες και αντίστροφα. Αυτό επιβραδύνει τις ταχύτερες και επιταχύνει τις βραδύτερες στιβάδες, με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας υπό μορφή θερμότητας και μεταφορά της τριβής από τα τοιχώματα του σωλήνα προς το κινούμενο αέριο. Η γλοιότητα των αερίων αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Μέτρηση της γλοιότητας

Το δείγμα αίματος τοποθετείται σε ένα κωνικό δοχείο, το οποίο περιστρέφεται με προκαθορισμένη ταχύτητα. Το κωνικό δοχείο περιβάλλεται από υδατόλουτρο του οποίου η θερμοκρασία διατηρείται

στους 37°C. Ένας ακροδέκτης, επίσης κωνικού σχήματος, βυθίζεται μέσα στο δοχείο που περιέχει το δείγμα αίματος και συνδέεται με ένα σύρμα. Το υδατόλουτρο και το δοχείο περιστρέφονται γύρω από ένα κάθετο άξονα και παρασύρουν τον ακροδέκτη. Η γλοιότητα του υγρού, στην προκειμένη περίπτωση του αίματος, “φρενάρει” την περιστροφή του ακροδέκτη, επηρεάζοντας έτσι τη στροφή του σύρματος και μαζί ενός κατόπτρου καθηλωμένου στον άξονα του σύρματος. Αυτό μεταβάλλει τη θέση της φωτεινής δέσμης σε μια κλίμακα και η μεταβολή αυτή αποτελεί μέτρο της γλοιότητας. Η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια της μέτρησης.

Η ροή των ρευστών σε σωλήνες

Όταν μεταξύ των δύο άκρων ενός σωλήνα που περιέχει ένα ρευστό υπάρχει διαφορά πίεσης, το ρευστό ρέει με κατεύθυνση από την υψηλότερη πίεση προς τη χαμηλότερη. Η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο άκρων ενός ομοιογενούς σωλήνα διαιρούμενη δια του μήκους του σωλήνα δίνει την κλίση της πίεσης. Στη γραμμική ροή η σχέση μεταξύ της πίεσης και της ροής είναι γραμμική. Η διαφορά πίεσης διαιρούμενη δια της ροής δίνει την αντίσταση R του σωλήνα. Στη στροβιλώδη ροή αυτή η σχέση δεν είναι γραμμική και η διαφορά πίεσης γίνεται ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας της ροής:

$$\Delta p \propto \dot{Q}^2$$

Κρίσιμη ταχύτητα ροής είναι η ταχύτητα ροής στην οποία λαμβάνει χώρα η μετάβαση από τη γραμμική στη στροβιλώδη ροή.

Νόμος των Hagen - Poiseuille

Ο νόμος αυτός ισχύει για σωλήνες, οι οποίοι έχουν την εγκάρσια διάμετρο κυκλική και μεταφέρουν νευτώνεια ρευστά σε συνθήκες γραμμικής ροής. Η ελάττωση της πίεσης Δp κατά μήκος ενός σωλήνα μήκους L και ακτίνας d είναι ανάλογη του μήκους L του σωλήνα, της δυναμικής γλοιότητας η , της ροής \dot{Q} και αντιστρόφως ανάλογη της τετάρτης δύναμης της ακτίνας d.

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \eta \cdot L}{\pi \cdot d^4} \cdot \dot{Q} \quad \text{και} \quad \dot{Q} = \frac{\pi \cdot d^4}{8 \cdot \eta \cdot L} \Delta p$$

Το 8 και το π είναι απλώς γεωμετρικοί παράγοντες.

Πρακτική εφαρμογή:

Εάν χρησιμοποιηθούν για την ενδοφλέβια χορήγηση υγρών δύο καθετήρες, ο πρώτος εσωτερικής διαμέτρου d και ο δεύτερος τριπλάσιας εσωτερικής διαμέτρου $d \times 3$, η ροή μέσω του δεύτερου καθετήρα θα είναι $3^4 = 81$ φορές ταχύτερη από τη ροή του υγρού μέσω του πρώτου καθετήρα. Επομένως, για την ταχεία χορήγηση υγρών πρέπει να χρησιμοποιηθεί ενδοφλέβιος καθετήρας μεγάλης διαμέτρου.

Στροβιλώδης ροή παρατηρείται όταν οι στιβάδες της γραμμικής ροής, οι οποίες βρίσκονται σε παράλληλη διάταξη διασπώνται σε στροβίλους (Εικόνα 4). Υψηλότερες ταχύτητες ροής και μεγαλύτερη πυκνότητα του ρευστού εκτρέπουν τα μόρια του ρευστού από την πορεία των που είναι παράλληλη προς τα τοιχώματα του σωλήνα και ευνοούν το σχηματισμό στροβίλων.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη στροβιλώδη ροή είναι:

$$\text{η διαφορά πίεσης } \Delta p: \dot{Q} \propto \sqrt{\Delta p}$$

$$\text{το μήκος του σωλήνα: } \dot{Q} \propto 1/\sqrt{L}$$

$$\text{και η πυκνότητα του ρευστού: } \dot{Q} \propto 1/\sqrt{\rho}$$

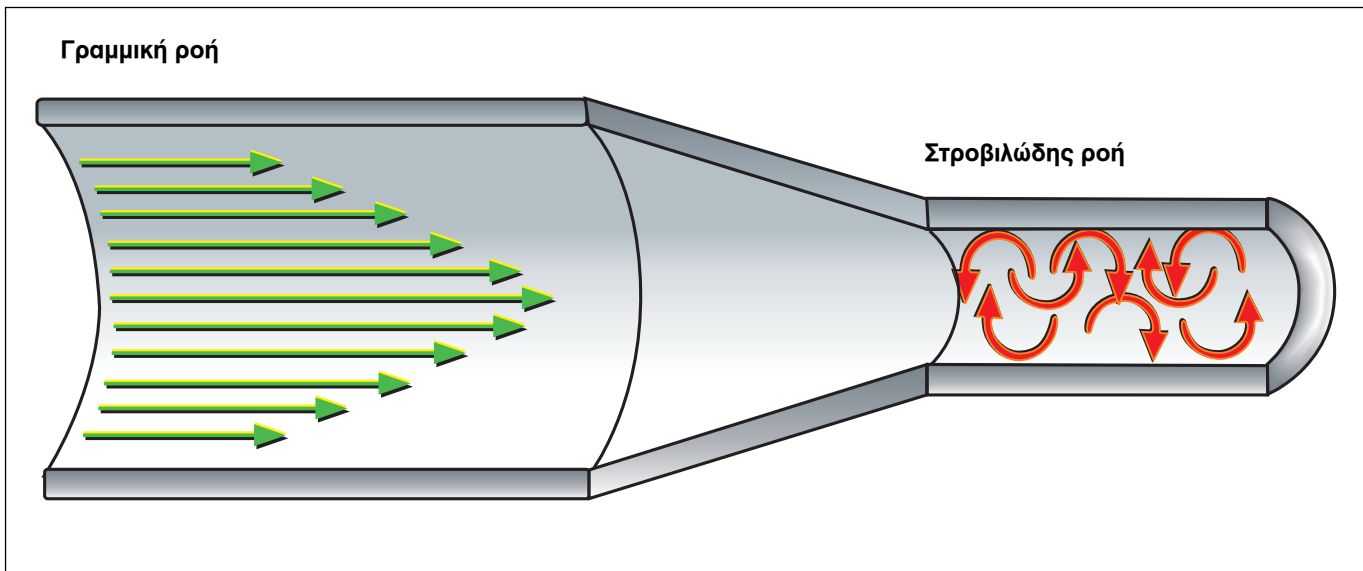
Δεν υπάρχει απλός ακριβής τύπος για τη στροβιλώδη ροή που να αντικαθιστά τον τύπο του Poiseuille, ο οποίος ισχύει στη γραμμική ροή.

Αντίσταση στη ροή ($\Delta p/\dot{Q}$)

Η σχέση μεταβολή πίεσης (Δp) προς τη ροή (\dot{Q}) εκφράζει το μέτρο αντίστασης ενός σωλήνα. Για την ακρίβεια, είναι η αντίσταση στη ροή για ένα δεδομένο μήκος σωλήνα με δεδομένη διάμετρο, όταν μέσα στο σωλήνα αυτό κινείται ένα συγκεκριμένο ρευστό. Προκειμένου για τη γραμμική ροή η σχέση Δp προς \dot{Q} είναι γραμμική, δηλαδή η Δp είναι ανάλογη της ροής \dot{Q} και η αντίσταση είναι σταθερή και εξαρτάται μόνο από την γλοιότητα. Όταν η ροή είναι στροβιλώδης, η αύξηση της πίεσης είναι κατά προσέγγιση ανάλογη του τετραγώνου της ροής (\dot{Q}^2) και η αντίσταση είναι μεταβαλλόμενη.

Για ένα σωλήνα δεδομένου σχήματος ισχύει η ακόλουθη σχέση, η οποία δίνει τον αριθμό Reynolds:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\eta/\rho} \quad \text{όπου:}$$



ΕΙΚΟΝΑ 4

Γραμμική ροή και η μετάβασή της σε στροβιλώδη.

v = η μέση ταχύτητα του ρευστού (μέση τιμή δια μέσου της εγκάρσιας διαμέτρου του σωλήνα)

ρ = η πυκνότητα του ρευστού

d = η διάμετρος του σωλήνα

η = η δυναμική γλοιότητα του ρευστού

Ο Reynolds έδειξε ότι ο αριθμός που προκύπτει από τις παραμέτρους v , d , και ρ/η και δεν έχει διαστάσεις, είναι ενδεικτικός κατά πόσον σε μια δεδομένη περίπτωση μπορεί να αναπτυχθεί στροβιλώδης ροή. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός Reynolds, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να μεταπέσει η γραμμική ροή σε στροβιλώδη. Όταν φτάσει την τιμή 2000 τότε αναμένεται να παρατηρηθεί στροβιλώδης ροή. Ο κρίσιμος αριθμός Reynolds είναι μόνο ένας αδρός δείκτης, καθώς παράγοντες όπως η μεταβολή του σχήματος του σωλήνα, η ομαλότητα των τοιχωμάτων, η διάμετρος, καθώς και γωνιώσεις στο σχήμα του σωλήνα επιδρούν στο είδος της ροής.

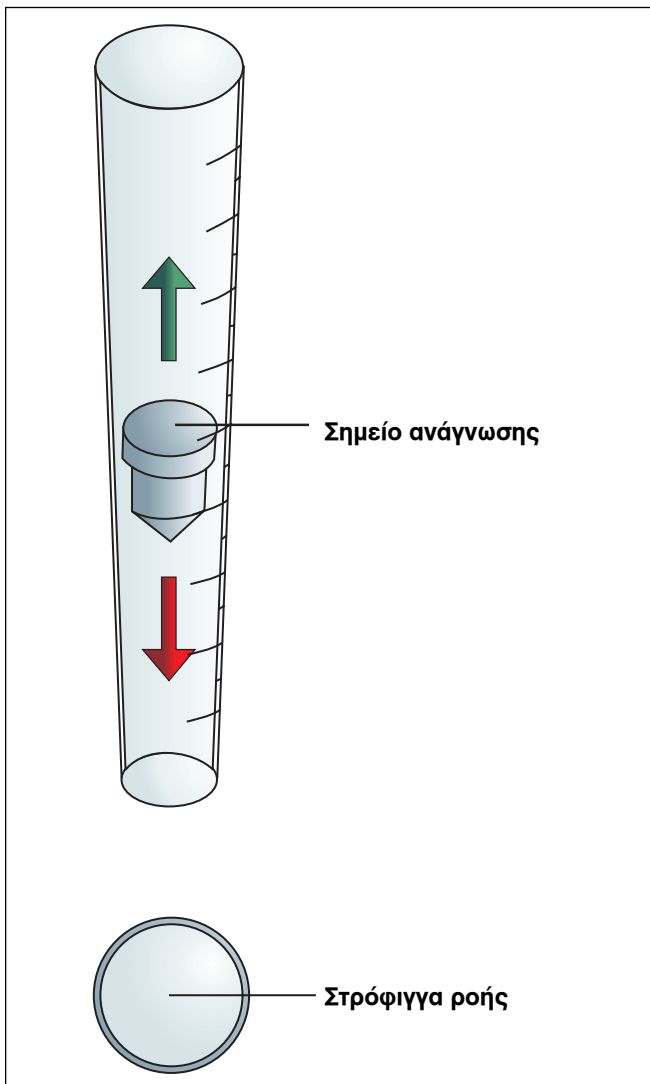
ΡΟΟΜΕΤΡΑ

Το ροόμετρο το οποίο φέρει συνήθως το μηχανήμα αναισθησίας αποτελείται από ένα κωνοειδή γυάλινο σωλήνα σε κάθετη θέση και ένα πλωτήρα, ο οποίος, όταν υπάρχει ροή αερίου ανέρχεται κατά μήκος του σωλήνα (Εικόνα 5). Καθώς το αέριο διέρχεται γύρω από τον πλωτήρα, οι δυνάμεις τριβής

που αναπτύσσονται μεταξύ του σωλήνα και του πλωτήρα δημιουργούν μια ελάττωση της πίεσης εκατέρωθεν του πλωτήρα. Η διαφορά αυτή της πίεσης παραμένει σταθερή, είναι ανεξάρτητη της εκάστοτε ροής και αντirroπείται από το βάρος του πλωτήρα.

Όταν λέμε ότι ένα ρευστό διέρχεται από σωλήνα, το μήκος της διαδρομής του ρευστού είναι πολλαπλάσιο της διαμέτρου του σωλήνα, ενώ προκειμένου για διαδρομή του αερίου μέσω οπής (orifice), η διάμετρος είναι μεγαλύτερη του μήκους. Το κατώτερο τμήμα του ροόμετρου συμπεριφέρεται ως σωλήνας. Ο συνδυασμός χαμηλών ροών και του μικρού κενού που μεσολαβεί μεταξύ του τοιχώματος του σωλήνα και του πλωτήρα ευνοούν τη γραμμική ροή, η οποία επηρεάζεται από τη γλοιότητα του αερίου, ενώ η πυκνότητα έχει μικρή ή καθόλου επίδραση. Στο ανώτερο τμήμα του ροόμετρου, το μεγαλύτερο κενό που δημιουργείται μεταξύ πλωτήρα και σωλήνα (λόγω της μεγαλύτερης διαμέτρου του σωλήνα), ευνοεί τη δημιουργία στροβιλώδους ροής, η οποία επηρεάζεται από την πυκνότητα κυρίως του αερίου. Το κάθε ροόμετρο βαθμονομείται για ένα συγκεκριμένο αέριο που έχει τη δική του πυκνότητα και γλοιότητα.

Τι συμβαίνει εάν ένα ροόμετρο βαθμονομημένο για ένα αέριο χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση ροής άλλου αερίου;



ΕΙΚΟΝΑ 5
Ροόμετρο μεταβαλλόμενης διαμέτρου.

Προκειμένου για χαμηλές ροές (γραμμικές ροές)

Η ροή ενός αερίου είναι $\propto 1/\gamma$ λοιότητα του αερίου (νόμος του Poiseuille)

Εάν ένα αέριο A διέρχεται από ένα ροόμετρο βαθμονομημένο για ένα αέριο B για τις χαμηλές ροές ισχύει η σχέση:

Πραγματική ροή αερίου A/Ροή που διαβάζεται στο ροόμετρο B = γ λοιότητα του αερίου B/ γ λοιότητα αερίου A

Προκειμένου για υψηλές ροές (στροβιλώδεις ροές)

Η ροή ενός αερίου $\propto 1/\sqrt{\text{πυκνότητα του αερίου}}$

Εάν ένα αέριο A διέρχεται από ένα ροόμετρο βαθμονομημένο για ένα αέριο B για τις υψηλές ροές ισχύει η σχέση:

Πραγματική ροή αερίου A/Ροή που διαβάζεται στο ροόμετρο B = $\sqrt{\text{πυκνότητα του αερίου B/πυκνότητα αερίου A}}$.

Η ένδειξη του πλωτήρα είναι ακριβής μόνον εφ' όσον αυτός περιστρέφεται ελεύθερα. Άθροιση σκόνης ή ηλεκτροστατικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα τοιχώματα του ροομέτρου μπορεί να αποφράξουν το σωλήνα του ροομέτρου στο ύψος του πλωτήρα, ο οποίος όμως τότε δεν περιστρέφεται ελεύθερα και δεν υπάρχει ροή αερίου.

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

ΟΡΙΣΜΟΙ

Ηλεκτρισμός είναι ένας γενικός όρος που αναφέρεται σε φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια και πρωτόνια), όταν αυτά βρίσκονται σε ηρεμία ή σε κίνηση. Ηλεκτρικό ρεύμα είναι η ταχύτητα κίνησης των φορτισμένων αυτών σωματιδίων. Το ρεύμα που προκύπτει είναι το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων.

Οι διάφορες ουσίες, ανάλογα με την ικανότητά τους να άγουν ηλεκτρόνια, ταξινομούνται σε αγωγούς, μονωτές ή ημιαγωγούς. Αγωγός είναι μια ουσία, η οποία παρουσιάζει χαμηλή αντίσταση στη διόδο ηλεκτρικού ρεύματος. Σε αυτές τις ουσίες τα ηλεκτρόνια των ατόμων έχουν χαλαρούς δεσμούς και εύκολα αποσπώνται από το άτομο, όταν επιδράσει ένα ηλεκτρικό δυναμικό. Οι αγωγοί είναι συνήθως μέταλλα. Μερικά υγρά, όπως το διάλυμα NaCl και υγρά μέσα στο σώμα, μπορούν επίσης να άγουν ηλεκτρισμό, καθώς περιέχουν θετικά και αρνητικά ιόντα τα οποία κινούνται όταν δημιουργείται ένα ηλεκτρικό δυναμικό. Μονωτής είναι ένα υλικό με εξαιρετικά χαμηλή αγωγιμότητα, ώστε η ροή ρεύματος μέσα από αυτό είναι αμελητέα. Ημιαγωγός είναι ένας στερεός ή υγρός ηλεκτρονικός αγωγός, του οποίου η αντίσταση βρίσκεται μεταξύ εκείνης των μετάλλων και των μονωτών. Τα περιφερικότερα ηλεκτρόνια ενός ημιαγωγού έχουν σχετικά χαλαρούς δεσμούς με το άτομο και όταν αυξηθεί η ενέργειά των π.χ. λόγω αύξησης της θερμοκρασίας, αποσπώνται και άγουν ηλεκτρικό ρεύμα.