



Μετρήσεις ροής

Οι διαφάνειες αποτελούν υλικό του βιβλίου:

Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου ***Τεχνολογία μετρήσεων***

2η Αναθεωρημένη Έκδοση

Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 22694842

Έκδοση: 2η Έκδοση/2013

ISBN: 978-960-418-386-9

Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ



ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ

Ιξώδες (μ) (viscosity) - καλείται η αντίσταση στη ροή που παρουσιάζουν τα ρευστά λόγω των δυνάμεων συνοχής των μορίων τους η οποία και προκαλεί εσωτερικές τριβές κατά την ροή τους.

Ως μονάδα μέτρησης ορίζεται το:

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1 \text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-2}$$

Για τη μέτρηση της ροής χρησιμοποιούνται όργανα μέτρησης τα οποία καλούνται ροόμετρα.

Η επιλογή του οργάνου για τη μέτρηση της ροής εξαρτάται σημαντικά από τη συμπεριφορά του ρευστού που ρέει μέσα στο σωλήνα και από δύο βασικά χαρακτηριστικά της ροής που είναι:

- ο αριθμός Reynolds (Re), και
- το προφίλ της ταχύτητας (u) του ρευστού.

Αριθμός Reynolds

Ο αριθμός Reynold (Re) εκφράζεται ως ο λόγος των δυνάμεων αδρανείας της ροής ($VD\rho$) προς τις ιξώδεις δυνάμεις (μ) που αναπτύσσονται μέσα σε αυτή

$$R = \frac{VD\rho}{\mu}$$

ρ : η πυκνότητα του ρευστού,

V : η μέση ταχύτητα του ρευστού,

D : η διάμετρος του σωλήνα που ρέει το ρευστό, και

μ : οι ιξώδεις δυνάμεις που αναπτύσσονται στο ρευστό

Χρησιμοποιώντας τον αριθμό Reynolds μπορούμε να προσδιορίσουμε τον τύπο της ροής σύμφωνα με την ακόλουθη κατάταξη:

1. Εάν ο αριθμός Reynolds για την ροή μέσα σε έναν σωλήνα είναι μικρότερος από 2000, οι ιξώδεις δυνάμεις στη ροή υπερέχουν και η ροή είναι στρωτή.

2. Εάν ο αριθμός Reynolds είναι μεγαλύτερος από 4000, υπερέχουν οι δυνάμεις αδρανείας στη ροή και τότε η ροή είναι τυρβώδης.

3. Εάν ο αριθμός Reynolds είναι μεταξύ 2000 και 4000 η ροή είναι μεταβατική και μπορεί να είναι, είτε στρωτή, είτε τυρβώδης, είτε συνδυασμός των δύο

Όργανα μέτρηση ροής

Μέτρηση ογκομετρικής παροχής με διαφορά πίεσης

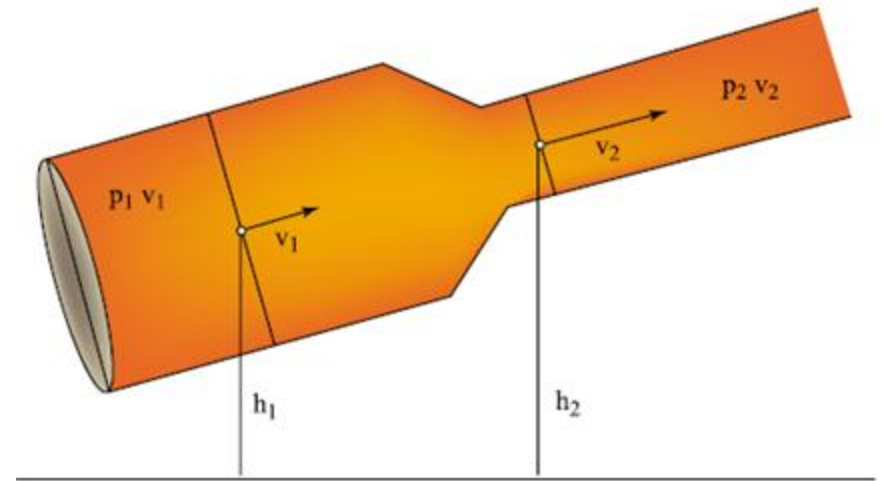
θεμελιώδης νόμος Bernoulli για την υδροδυναμική.

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{σταθερό}$$

p : η υδροστατική πίεση,
 ρ : η πυκνότητα του ρευστού,
 v : η ταχύτητα του ρευστού,
 g : η επιτάχυνση της βαρύτητας, και
 h : το ύψος σε σχέση με σημείο αναφοράς.
Για οριζόντιο σωλήνα όπου $h=0$ ισχύει:

Για οριζόντιο σωλήνα όπου $h=0$ ισχύει:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{σταθερό}$$

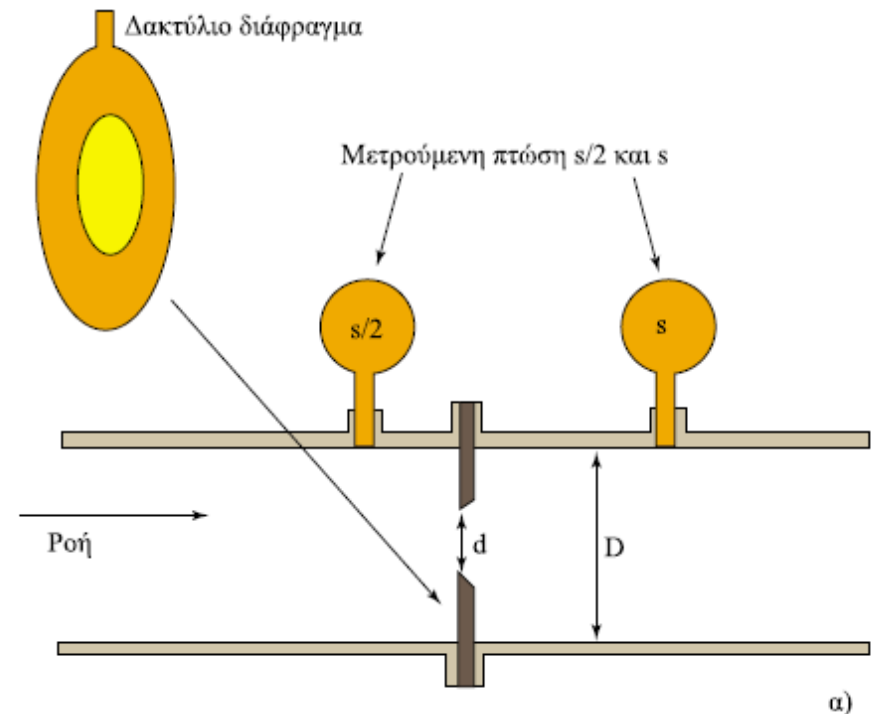


Μετρητής στομίου εκροής

Ο ογκομετρικός ρυθμός ροής του ρευστού Q που μετράται μέσω των δύο πιέσεων p_1 και p_2 (μπροστά και πίσω από το δίσκο).

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2(p_1-p_2)}{\rho}}$$

p_1, p_2 : οι πιέσεις σε κάθε πλευρά του δίσκου,
 ρ : η πυκνότητα του ρευστού πάνω από το δίσκο,
 d : η διάμετρος της οπής του δίσκου,
 D : η εσωτερική διάμετρος του σωλήνα, και
 β : η αναλογία των διαμέτρων $\frac{d}{D}$

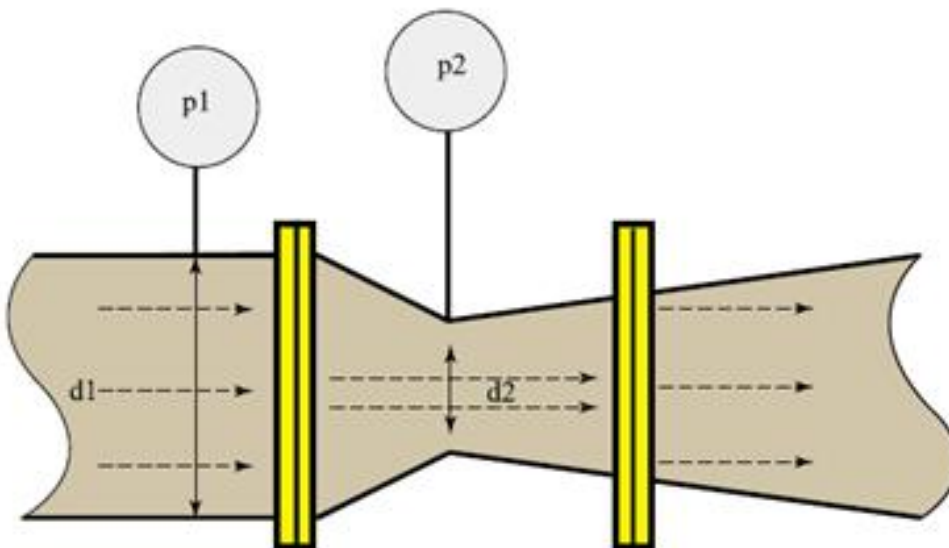


Μετρητής με σωλήνα Venturi

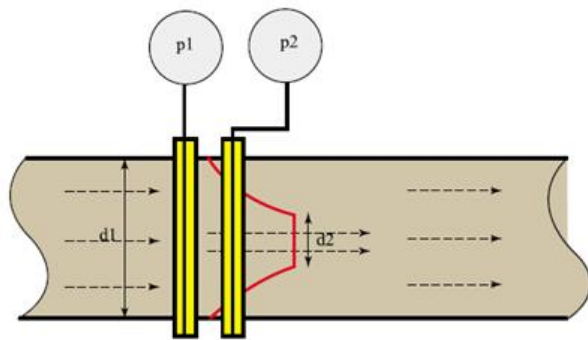
Ο μετρητής με σωλήνα Venturi, αξιοποιεί την ίδια αρχή λειτουργίας με τους μετρητές στομίου εκροής

Ένας μετρητής ροής με σωλήνα Venturi παρουσιάζει μια μόνιμη χαμηλή πίεση που κυμαίνεται μεταξύ $\pm 10\%$ και $\pm 15\%$

$$Q = \frac{C \cdot \frac{\pi}{4} d^2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

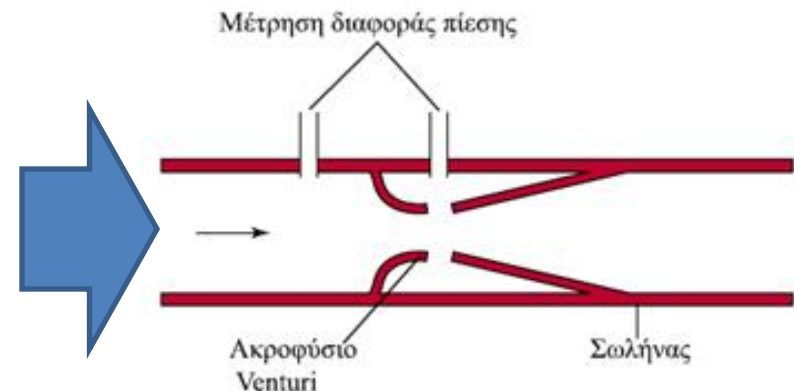


Μετρητής ακροφυσίου (nozzle)



Ένα πλεονέκτημα αυτού του μετρητή είναι πως ο ομαλός σχεδιασμός του ακροφυσίου κρατά την ακρίβεια του μετρητή σταθερή λόγω της δυσκολίας προσκόλλησης προσμίξεων σωματιδίων που φέρει το ρευστό, πάνω στη διατομή του

Για τον περιορισμό της πτώσης πίεσης που προκαλεί ο μετρητής ακροφυσίου ένας μετρητής **ακροφυσίου Venturi** (Venturi nozzle) χρησιμοποιεί συνδυασμό των σχεδιαστικών επιλογών ενός σωλήνα Venturi και ακροφυσίου



Σωλήνας Pitot

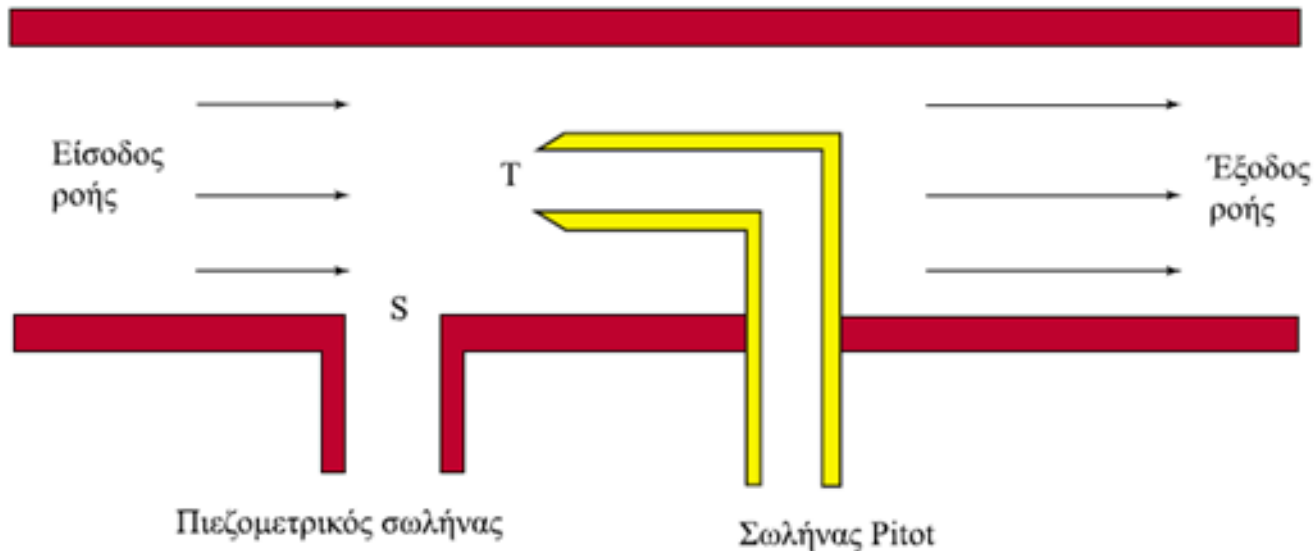
Η διαφορά μεταξύ στατικής πίεσης και πίεσης στο ακροφύσιο του σωλήνα Pitot είναι ανάλογη της ταχύτητας του ρευστού για την οποία ισχύει:

$$v = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

p_1 : η στατική πίεση,

p_2 : η μετρούμενη πίεση στον σωλήνα pitot, και

ρ : η πυκνότητα του ρευστού.

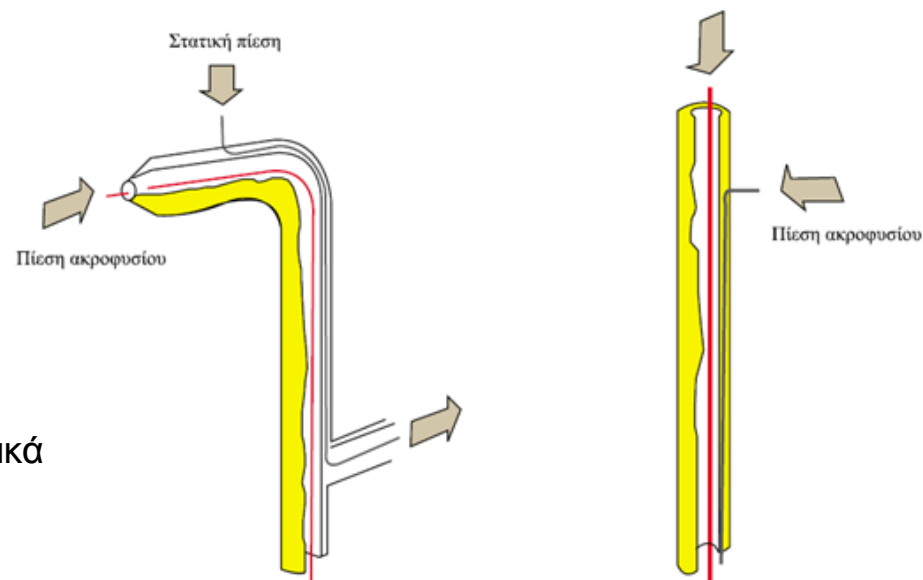


Στατικός σωλήνας Pitot

Οι στατικοί σωλήνες Pitot συνδυάζουν τη μέτρηση της στατικής πίεσης και της πίεσης ακροφυσίου σε ένα κέλυφος σωλήνα.

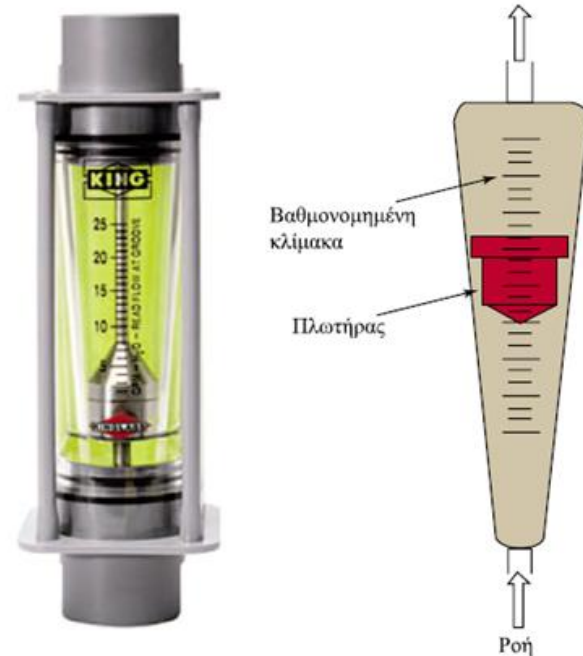
$$v = C \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

C: σταθερά βαθμονόμησης που καθορίζεται πειραματικά για τον σωλήνα Pitot.



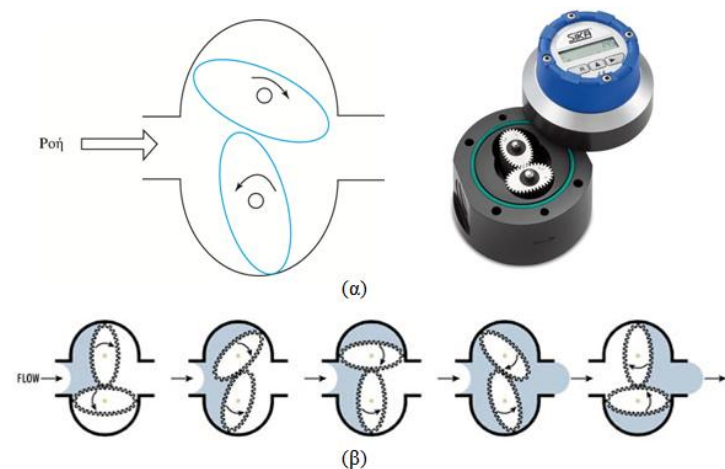
Ροόμετρο μεταβλητής διατομής (rotameter)

Τα ροόμετρα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μέτρηση ρευστών ή αερίων σε διάφορους τομείς της επιστήμης όπως στην επεξεργασία ρευστών ή αερίων και σε διάφορες εργαστηριακές εφαρμογές ή κλινικές περιπτώσεις



Ροόμετρο ογκομετρικής μετατόπισης

Η αρχή λειτουργίας ενός μετρητή ροής θετικής μετατόπισης ή ογκομετρικής μετατόπισης βασίζεται στη μέτρηση του όγκου του ρευστού που διέρχεται από το όργανο στη μονάδα του χρόνου.



Ροόμετρο στροβίλου



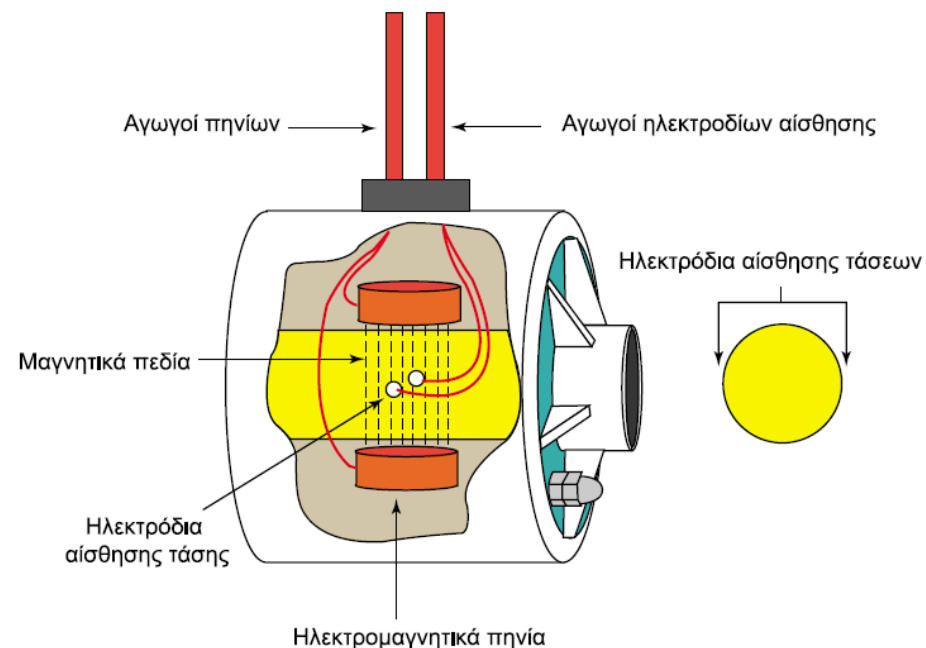
Ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα

Τα ηλεκτρομαγνητικά ροόμετρα αξιοποιούν το νόμο επαγωγής του Faraday.

Το επαγόμενο δυναμικό ισούται με:

$$E = BvL \quad Q = Av = \frac{\pi d^2}{4} v = \frac{\pi d^2 E}{4B}$$

B : η μαγνητική επαγωγή,
 L : η απόσταση των ηλεκτροδίων, και
 v : η ταχύτητα του ρευστού.



Ροόμετρο Vortex

Το ροόμετρο Vortex βασίζεται στο φαινόμενο vortex shedding, το οποίο μελετήθηκε από τον Strouhal το 1878

Καθώς το ρεύμα του ρευστού προσκρούει στο εμπόδιο διαχωρίζεται για να διέλθει γύρω από αυτό με αποτέλεσμα τη δημιουργία δινών πίσω από το εμπόδιο

Η συχνότητα των παραγόμενων δινών συσχετίζεται με την ταχύτητα του ρευστού και το πλάτος του εμποδίου.

Για την περιγραφή αυτής της συσχέτισης χρησιμοποιείται ο αδιάστατος αριθμός Strouhal (St):

$$St = \frac{f \cdot d}{v}$$

f : η συχνότητα στροβιλισμού,
 d : το πλάτος του σώματος δημιουργίας στροβιλισμού
 v : η ταχύτητα του ρευστού.



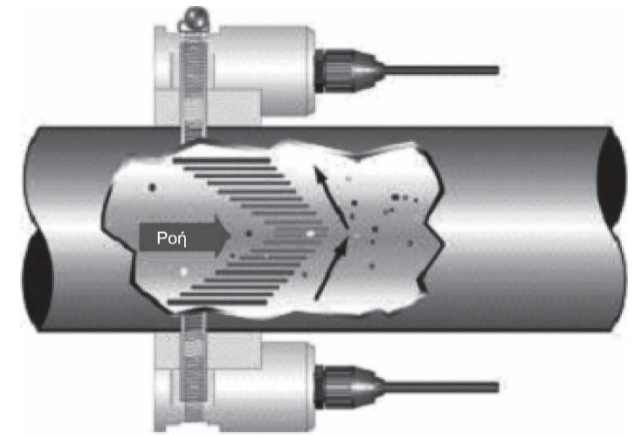
Η ογκομετρική μέτρηση δίνεται από την σχέση:

$$Q = \frac{f}{K}$$

Υπερηχητικό ροόμετρο Doppler

Τα υπερηχητικά ροόμετρα Doppler αξιοποιούν την αρχή του φαινομένου Doppler. Τα υπερηχητικά ροόμετρα Doppler εκπέμπουν κύματα στο φάσμα των υπερήχων, υπό γωνία θ πάνω στο ρευστό που κινείται και λαμβάνουν την ανάκλαση των κυμάτων αυτών.

Ένα μέρος της εκπεμπόμενης ενέργειας ανακλάται πάνω σε στερεά σωματίδια που υπάρχουν μέσα στο ρευστό ή στις διαχωριστικές επιφάνειες που δημιουργούν φυσαλίδες αέρα μέσα σε αυτό.

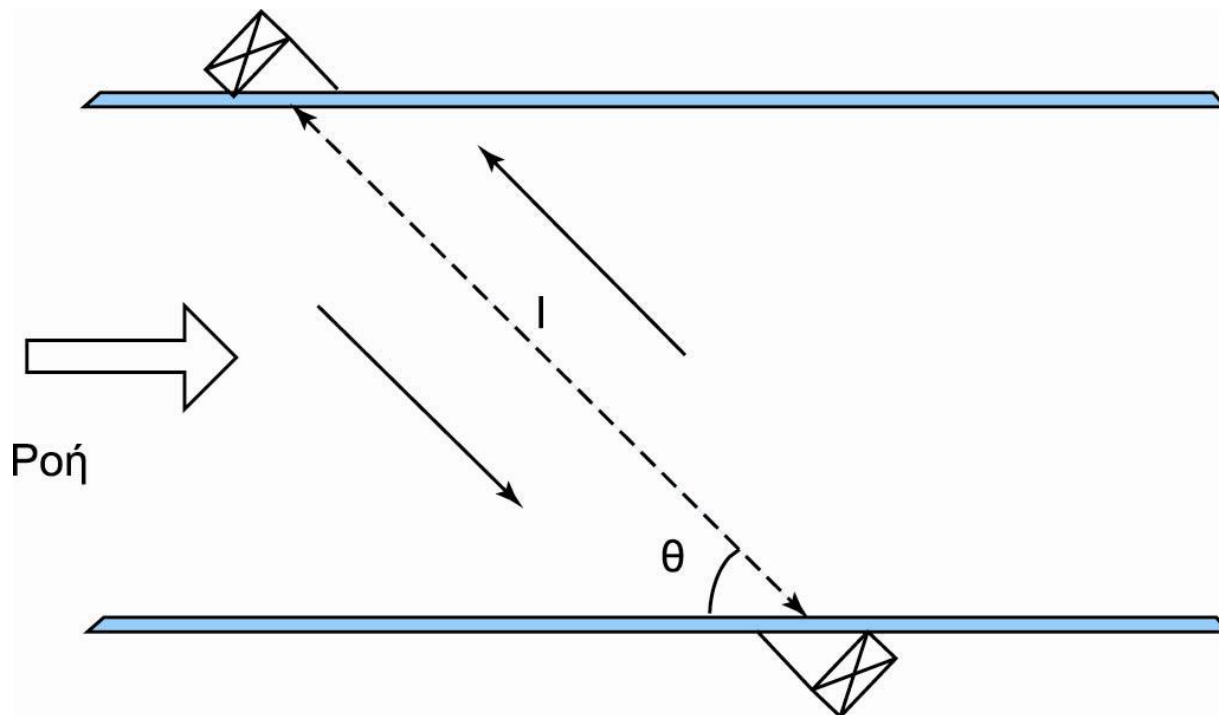


Η ταχύτητα του ρευστού δίνεται:

f_T : η εκπεμπόμενη συχνότητα,
 f_R : η λαμβανόμενη συχνότητα,
 θ : η γωνία εκπομπής, και
 c : η ταχύτητα του ήχου.

$$v = \frac{c(f_T - f_R)}{2f_T \cos \theta}$$

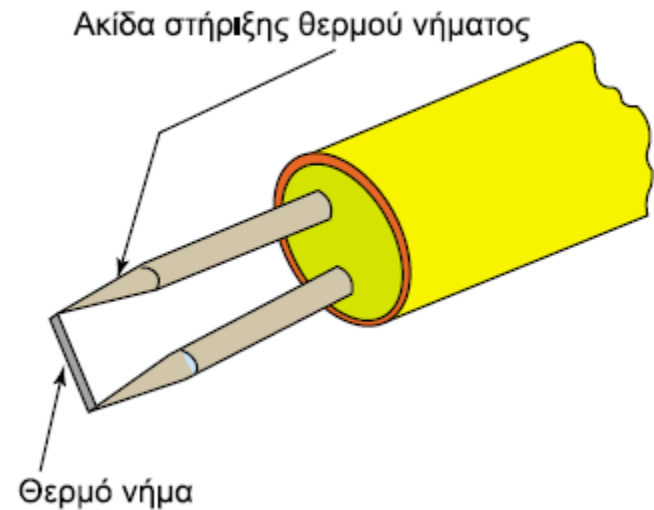
Ροόμετρο υπερηχητικού χρόνου διέλευσης



$$\Delta T = \frac{2lv \cos \theta}{c^2 - v^2 \cos^2 \theta}$$

Ανεμόμετρα

Τα ανεμόμετρα θερμού νήματος και τύπου επιφάνειας ή φιλμ (hot-wire και hot-film) τοποθετούνται στη ροή του ρευστού και χρησιμοποιούνται για μέτρηση ταχύτητας του ρευστού ανιχνεύοντας μεταβολές της μετάδοσης θερμότητας μέσω του θερμαινόμενο νήματος που φέρουν στην άκρη τους



Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί σε έναν αισθητήρα θερμού νήματος πρέπει να καλύπτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- μικρή διάμετρο
- υψηλή αντοχή σε μηχανική τάση,
- υψηλό συντελεστή θερμικής αντίστασης, και
- χαμηλή θερμική αγωγιμότητα

Ανεμόμετρα

Η θερμότητα που δημιουργείται στο σύρμα λόγω της διαρροής ρεύματος της ηλεκτρικής του αντίστασης σε κατάσταση ισορροπίας διασκορπίζεται προς το ρευστό.

$$W = H \Rightarrow I^2 R_s = hA(T_s - T_f) \Rightarrow I^2 R_s = \frac{Nuk_f}{d} A(T_s - T_f)$$

$W = I^2 R_s$ είναι η ενέργεια *Joule* που παράγεται λόγω θέρμανσης,

h : ο συντελεστής συναγωγής,

A : η επιφάνεια που εξετάζουμε την μεταφορά θερμότητας,

d : η διάμετρος του αισθητήρα,

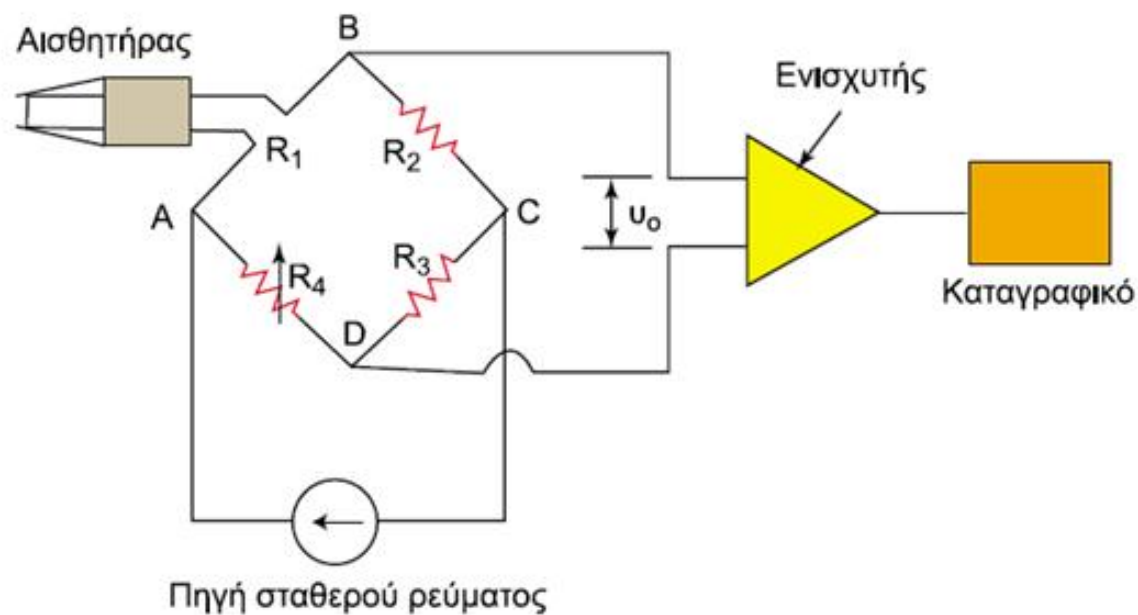
k_f : ο συντελεστής αγωγιμότητας του ρευστού, και

N_u : ο συντελεστής *Nusselt*

Σύστημα γέφυρας ανεμομέτρου σταθερού ρεύματος

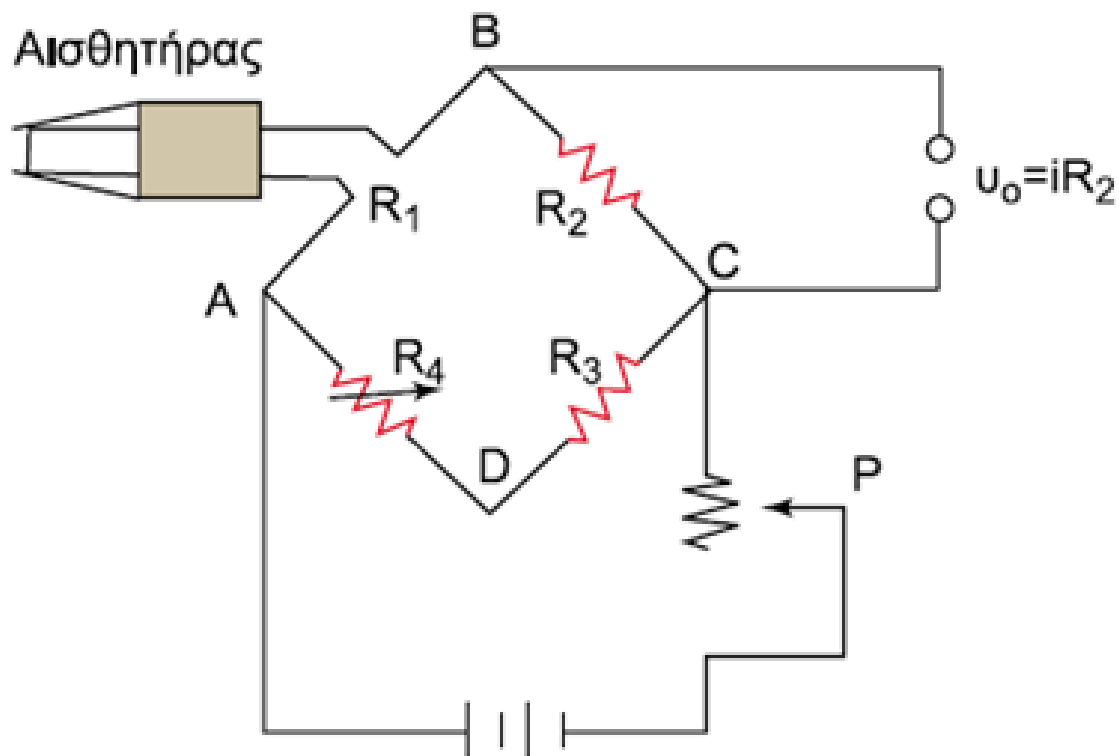
Σε μία γέφυρα σταθερού ρεύματος, το ρεύμα του αισθητήρα i διατηρείται σταθερό καθώς η αντίσταση R αλλάζει με την ταχύτητα του ρευστού.

Η ροή που διέρχεται από τον αισθητήρα, ψύχει το θερμό νήμα ή το φίλμ, μειώνοντας την αντίστασή του. Η αλλαγή της δυναμικής ισορροπίας στη γέφυρα μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να παράγεται μία τάση εξόδου V_o που σχετίζεται με την ταχύτητα του ρευστού v .



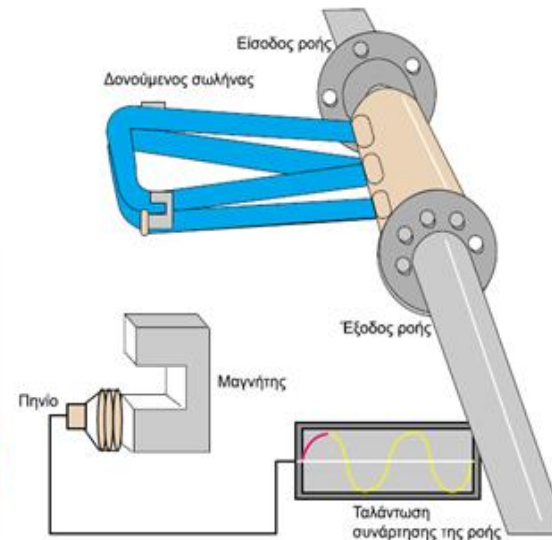
Σύστημα γέφυρας ανεμομέτρου σταθερής θερμοκρασίας

Σε μία γέφυρα σταθερής θερμοκρασίας, η αντίσταση του αισθητήρα R και η θερμοκρασία του αισθητήρα T διατηρείται σε μία σταθερή τιμή μεταβάλλοντας το ρεύμα i που διαρρέει τον αισθητήρα καθώς αλλάζει η ταχύτητα του ρευστού.



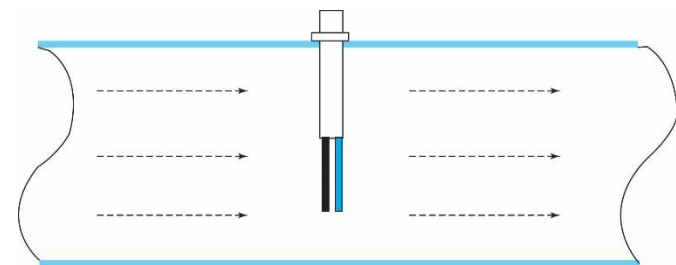
Ροόμετρο Coriolis

Η αρχή λειτουργίας του ροομέτρου βασίζεται στο φαινόμενο της δύναμης Coriolis που ανακαλύφθηκε από τον Gustave Coriolis το 1835 για το οποίο καθώς το ρευστό κινείται μέσα σε ένα μηχανικά δονούμενο σωλήνα μεταβάλλει την συχνότητα της ταλάντωσης του κατά την είσοδο και την απομάκρυνση του



Ροόμετρο θερμοδομετρικής μεταβολής

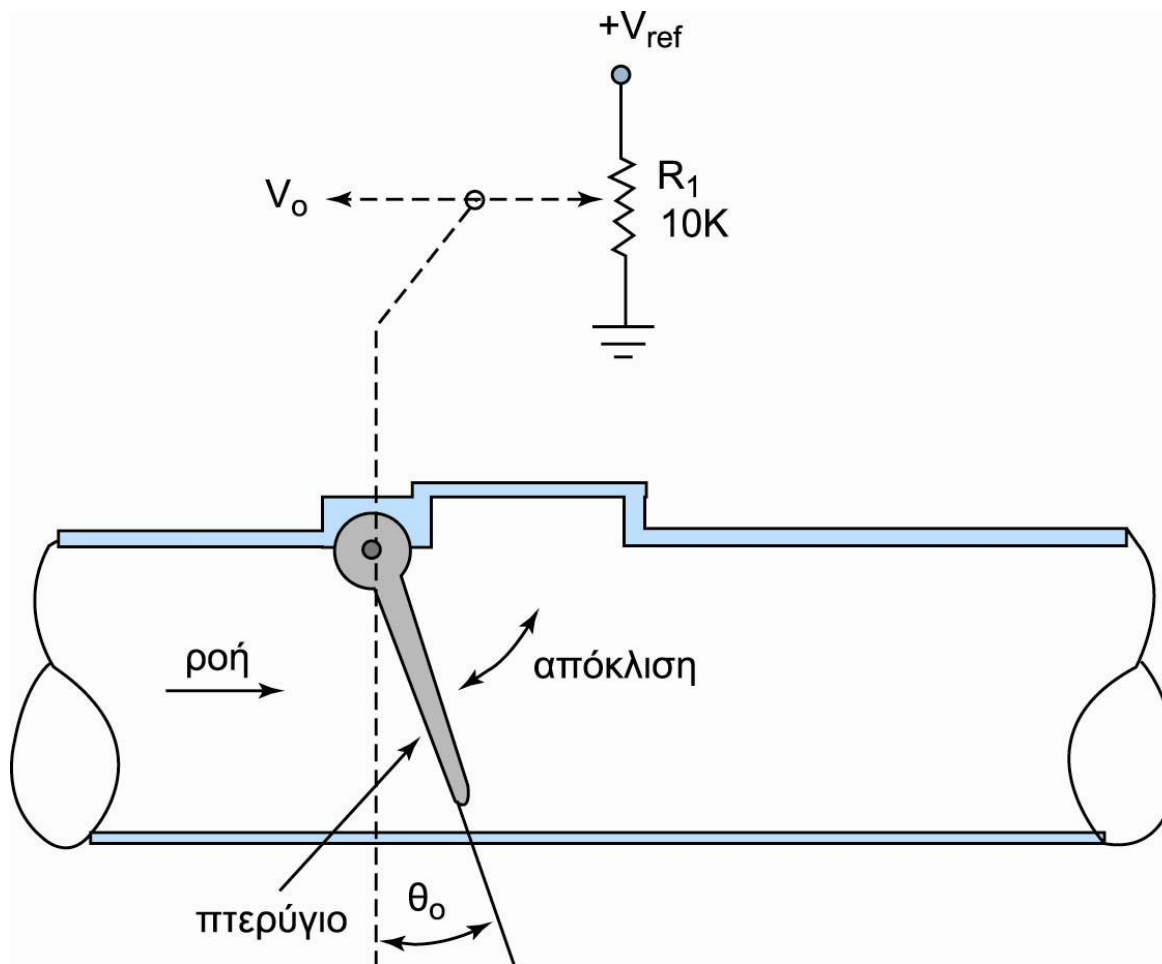
Ένα ροόμετρο θερμοδομετρικής μεταβολής αποτελείται από δύο αισθητήρες θερμοκρασίας PT100 τοποθετημένοι κάθετα στη ροής μέσα στο σωλήνα



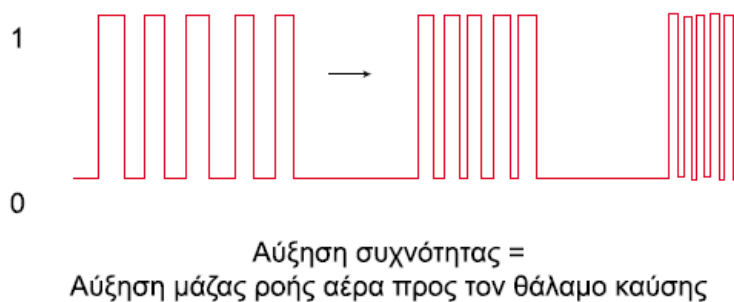
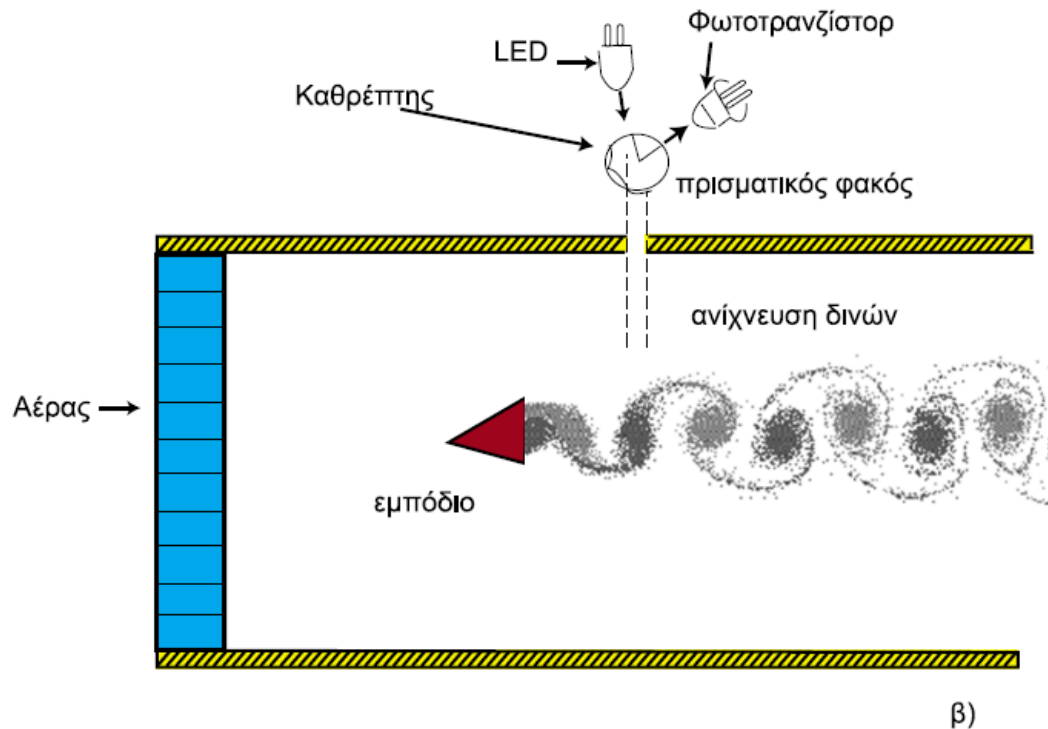
Η μέτρηση της ροής επιτυγχάνεται την μεταβολή του ρεύματος στον θερμαντικό αισθητήρα ώστε η διάφορα θερμοκρασίας ΔT μεταξύ των αισθητήρων να γίνει ίση με το ΔT αναφοράς

Ροόμετρο μηχανικού πτερυγίου

Ένα ροόμετρο μηχανικού πτερυγίου μετρά ογκομετρική παροχή καθώς το ρευστό που εισέρχεται στο σωλήνα εκτρέπεται από την θέση ηρεμίας ένα πτερύγιο το οποίο είναι κατάλληλα τοποθετημένο στο πέρασμα της ροής.



Αισθητήρας μάζας αέρα τύπου Karmen

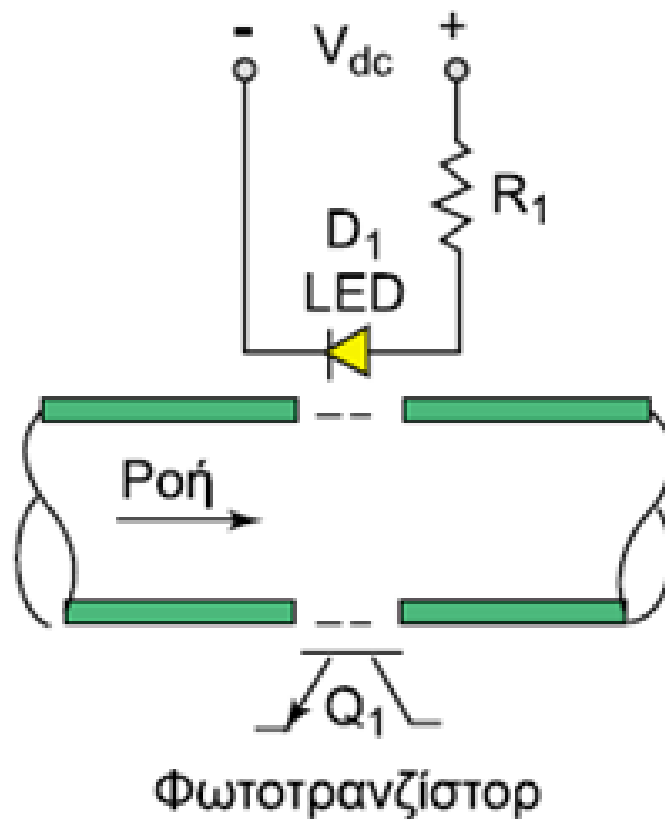


Ο αισθητήρας μάζας δείκτη αέρα τύπου Karmen στηρίζει τη λειτουργία του στο ροόμετρο Vortex.

Μια δίοδος LED εκπέμπει ακτινοβολία μέσα από ένα πρισματικό φακό ενώ ένα φωτοτρανζίστορ παράγει ως στοιχείο γεννήτριας παλμών σήμα μεταβλητής συχνότητας, λόγω της συχνότητας των δινών η οποίες είναι συναρτήσεως της μάζας ροής που εισέρχεται στη μηχανή εσωτερικής καύσης

Ανιχνευτές ροής

Μέσω του οπτοηλεκτρικού ανιχνευτή (φωτοτρανζίστορ) είναι δυνατή η ανίχνευση του τύπου αερίου που διέρχεται μέσα από τον σωλήνα σε συνάρτηση με το μήκος ακτινοβολίας της πηγής.



Ερωτήσεις

