

## ΠΕΙΡΑΜΑ 10

### Αεροδυναμική Στερεών Σωμάτων

#### Σκοπός του πειράματος

Σκοπός του πειράματος αυτού είναι η μελέτη της αντίστασης που αναπτύσσεται κατά τη σχετική κίνηση ενός αντικειμένου μέσα σε ένα αέριο. Οι εξισώσεις που διέπουν αυτή την αντίσταση επαληθεύονται πειραματικά με τη βοήθεια της εξίσωσης του Bernoulli και εισάγοντας μεγέθη που περιγράφουν τη ροή, όπως το συντελεστή αντίστασης.

#### Αρχή λειτουργίας του πειράματος

Αντικείμενα διαφορετικών διατομών και σχημάτων τοποθετούνται μέσα σε μία ομαλή ροή αέρος. Η αντίσταση εξετάζεται ως συνάρτηση της ταχύτητας της ροής και της γεωμετρίας των εν λόγω αντικειμένων.

#### Στοιχεία από τη Θεωρία

Η δύναμη  $\mathbf{K}$  η οποία δρα πάνω σε ένα σώμα γύρω από το οποίο κυκλοφορεί αέρας δίνεται από την εξίσωση:

$$\vec{K} = \int_A \vec{p} d\alpha \quad (1)$$

όπου  $A$  είναι το **περιφερειακό εμβαδόν** του σώματος. Οι δυνάμεις επιφανείας  $\mathbf{P}$  είναι οι **κανονικές και διατμηματικές τάσεις**. Αυτές περιλαμβάνουν την πίεση  $p$  και τις δυνάμεις τριβής. Εάν η κατεύθυνση της ταχύτητας ροής  $\mathbf{v}$  είναι στην κατεύθυνση  $\mathbf{X}$ , τότε το  $\mathbf{K}_x$  είναι η **δύναμη αντίστασης**  $F_R$ . Η τιμή  $F_R$  εκφράζεται κατάλληλα σε σχέση με τη **δυναμική πίεση**  $q$  της προσπίπτουσας ροής

$$q = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \quad (2)$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα του μέσου και εξαρτάται από την διατομή του σώματος  $A_p$  κάθετα στη ροή (εγκάρσια διατομή). Πιο συγκεκριμένα, η εξίσωση της δύναμης γράφεται ως ακολούθως:

$$F_R = c_w A_p \cdot \rho \frac{v^2}{2} \quad (3)$$

όπου ο **συντελεστής αντίστασης**  $C_w$  είναι ένας αδιάστατος αριθμός και μπορεί να εκφρασθεί με ένα επιφανειακό ολοκλήρωμα. Στην περίπτωση ομαλών γεωμετρικά αντικειμένων ο συντελεστής αυτός είναι σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητος από τον **αριθμό Reynolds** ο οποίος ορίζεται ως:

$$R_e = \frac{v d}{\nu} \quad (4)$$

όπου  $d$  είναι μία τυπική παράμετρος, για παράδειγμα το πλάτος του αντικειμένου μέσα στη ροή του αέρα, και  $\nu = \mu/\rho$  η **κινηματική εσωτερική τριβή** ( $\mu$  = εσωτερική τριβή).

Στην περίπτωση του αέρα σε θερμοκρασία **278°** και πίεση **1013mbar**  
 $\nu = 1.3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Για στατική ροή σε ένα ασυμπίεστο μέσο ο νόμος διατήρησης της ενέργειας δίνει

$$p_0 + \frac{\rho}{2} v^2 = C_{\text{const}} = p \quad (\text{Εξίσωση του Bernoulli}) \quad (5)$$

Επομένως η δυναμική πίεση

$$q = \frac{\rho}{2} v^2 \quad (6)$$

ισούται με:

$$q = p - p_0 \quad (7)$$

και μπορεί να μετρηθεί σαν διαφορά πίεσης χρησιμοποιώντας τον σωλήνα του Prandtl.

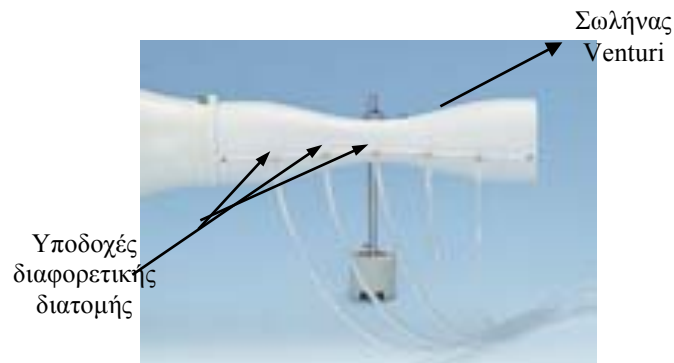
Άρα

$$F_R = c_w \cdot A_p \cdot q \quad (8)$$

### Σωλήνας Venturi

Για την μέτρηση της στατικής πίεσης,  $p_0$ , χρησιμοποιείται ο σωλήνας Venturi (Σχήμα 1). Η διαφορά πίεσης ανάμεσα σε δύο σημεία διαφορετικής διατομής του σωλήνα,  $A_0$  και  $A$  δίνεται ως  $\Delta p = p_0 - p'$ . Από την εξίσωση συνέχειας  $v_0 A_0 = v' A$  και την εξίσωση  $p_0 + \frac{\rho}{2} v_0^2 = p' + \frac{\rho}{2} v'^2$ , όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα ( $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$ ), προκύπτει η ταχύτητα ροής  $v'$  που αντιστοιχεί στη διατομή  $A$ :

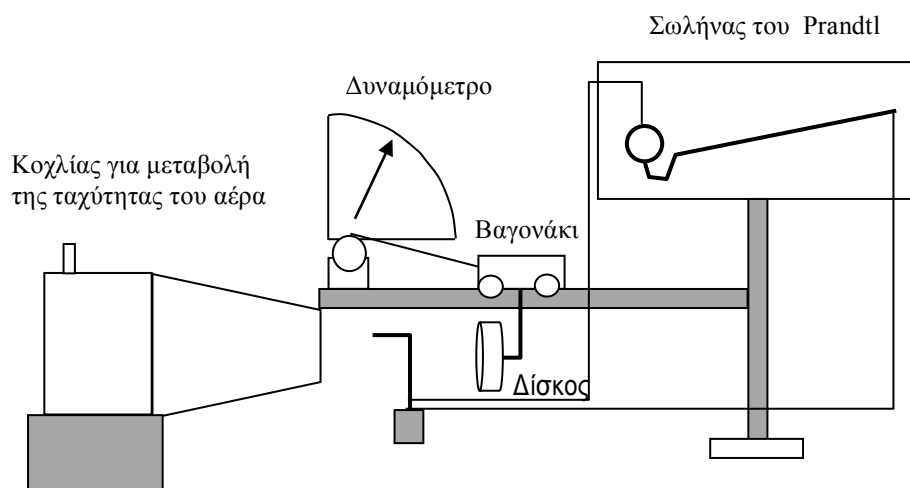
$$v' = \sqrt{\frac{2(p_0 - p')}{\rho \left(1 - \frac{A^2}{A_0^2}\right)}} \quad (9)$$



Σχήμα 1

### Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 1α. Αρχικά το δυναμόμετρο μηδενίζεται και το σώμα το οποίο θα εξεταστεί τοποθετείται στο βαγονάκι έτσι ώστε να είναι κάθετο στη ροή αέρος. Αφού σταθεροποιηθεί η ταχύτητα του αέρα, η **δυναμική πίεση  $q$**  μετράται με το σωλήνα του Prandtl, ενώ η **δύναμη αντίστασης  $F_R$**  με το δυναμόμετρο. (Για κάθε μεταβολή της ταχύτητας του αέρα θα πρέπει να περάσουν τουλάχιστο 30s για να σταθεροποιηθεί).

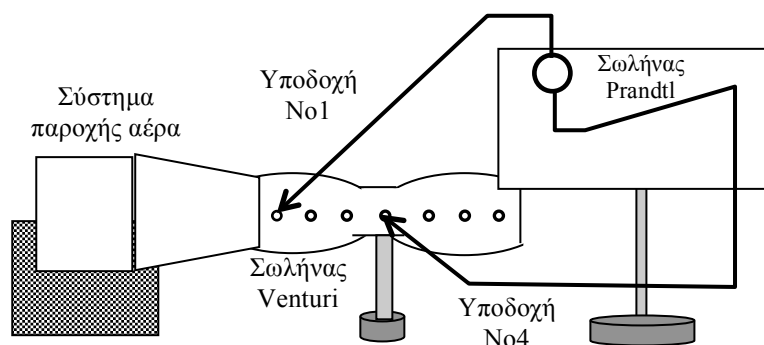


Σχήμα 1α



### Εκτέλεση

1. Να καταγραφεί η μεταβολή της δυναμικής πίεσης με την ταχύτητα του αέρα στο μέγιστο, για διάφορες αποστάσεις από την έξοδο του αέρα. Προσοχή, ο αισθητήρας πίεσης θα πρέπει να βρίσκεται κάθετα στη ροή και ο σωλήνας του Prandtl ευθυγραμμισμένος. Πως μεταβάλλεται η δυναμική πίεση σε σχέση με την απόσταση από την έξοδο του αέρα;

2. Να καταγραφεί η κατανομή της δυναμικής πίεσης με την ταχύτητα του αέρα, κατά μήκος της οριζόντιας διαμέτρου (διάμετρο 56 mm) για μια σταθερή απόσταση του δίσκου-μοτέρ. Πως κατανέμεται η δυναμική πίεση κατά μήκος του δίσκου; Σχολιάστε τις μετρήσεις των ερωτημάτων 1 και 2.
3. Να μετρηθεί η αντίσταση στη ροή σαν συνάρτηση της δυναμικής πίεσης,  $q$  (για όλα τα σώματα με το ίδιο εμβαδόν διατομής). Να χαραχτεί η γραφική παράσταση  $F_R = f(q)$ .
4. Από την πιο πάνω γραφική παράσταση να προσδιοριστούν οι συντελεστές αντίστασης και να συγκριθούν με τις αντίστοιχες θεωρητικές τιμές συνοψίζοντας τα αποτελέσματα σε ένα κοινό πίνακα. Σχεδιάστε τις δυναμικές γραμμές για τα διάφορα σώματα που έχετε μελετήσει και σχολιάστε.
5. Να μετρηθεί η αντίσταση στη ροή σαν συνάρτηση της διατομής  $A_p$  των δίσκων, με σταθερή τη δυναμική πίεση στη μέγιστη τιμή. Να χαραχτεί η γραφική παράσταση  $F_R = f(A_p)$ .
6. Πραγματοποιήστε την πειραματική διάταξη που φαίνεται στο Σχήμα 1β. Τοποθετήστε το σωλήνα Venturi και ευθυγραμμίστε τον με το σύστημα παροχής του αέρα. Τοποθετήστε τα σωληνάρια στις υποδοχές 1 και 4 και συνδέστε τα με το σωλήνα του Prandtl. Να μετρηθεί η διαφορά της πίεσης ανάμεσα στα σημεία και να υπολογίσετε την ταχύτητα ροής  $v_4$ . Επαναλάβετε τουλάχιστον 5 φορές. Βρείτε επίσης την ταχύτητα ροής του  $v_1$ .
7. Τι συμπεραίνετε για την αντίσταση ροής που παρουσιάζουν τα διάφορα αντικείμενα; Από ποιους παράγοντες εξαρτάται; Πως συσχετίζεται τα παραπάνω με διάφορα παραδείγματα από την καθημερινότητά σας;



Σχήμα 1β

Σώμα	Δίσκος	Σφαίρα	Ημίσφαιρα	Αεροδ.σώμα I 	Αεροδ.σώμα II 
Cw	1.15	0.45	1.33	0.06	0.243

**Γεωμετρικά Στοιχεία σωμάτων:**

Διάμετρος εμβαδού διατομής:

των σωμάτων = 56mm

των δίσκων=40, 56, 80mm