

Πειραματική Μελέτη της Δυναμικής Τριβής του Αέρα

Γεώργιος Παπαδόπουλος, Χαρίτων Μ. Πολάτογλου

Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

gpadad@physics.auth.gr hariton@auth.gr

Περίληψη. Στην παρούσα εργασία προτείνουμε μια διαδικασία η οποία επιτρέπει την λεπτομερή πειραματική μελέτη του φαινομένου της δυναμικής τριβής του αέρα και την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Η προτεινόμενη διαδικασία χωρίζεται στο τεχνικό μέρος και το ίδιο το πείραμα. Όσον αφορά στο τεχνικό μέρος αυτό περιλαμβάνει αρχικά την βαθμονόμηση της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής ή web cam για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία των μετρήσεων, έπειτα την καταγραφή της κίνησης και τέλος την εξαγωγή της πληροφορίας θέσης – χρόνου με την βοήθεια κοινού λογισμικού. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται με την χρήση λογιστικών φύλλων. Για το συγκεκριμένο φαινόμενο χρησιμοποιούμε την ελεύθερη πτώση επιφανειών από χαρτί 80 gr/m^2 , διπλωμένων με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκτήσουν ελαφρά αεροδυναμικό σχήμα βοηθώντας έτσι την επίτευξη της κατακόρυφης πτώσης. Με πτώση από ύψος 1 m το σώμα φτάνει σε οριακή ταχύτητα την οποία μπορούμε να εξάγουμε από την καταγραφή. Τα μέσα που χρησιμοποιούνται βρίσκονται σχεδόν παντού και συνεπώς δείχνεται ότι είναι εφικτή η πραγματοποίηση δυναμικών πειραμάτων στην Δευτεροβάθμια και Τριτοβάθμια εκπαίδευση.

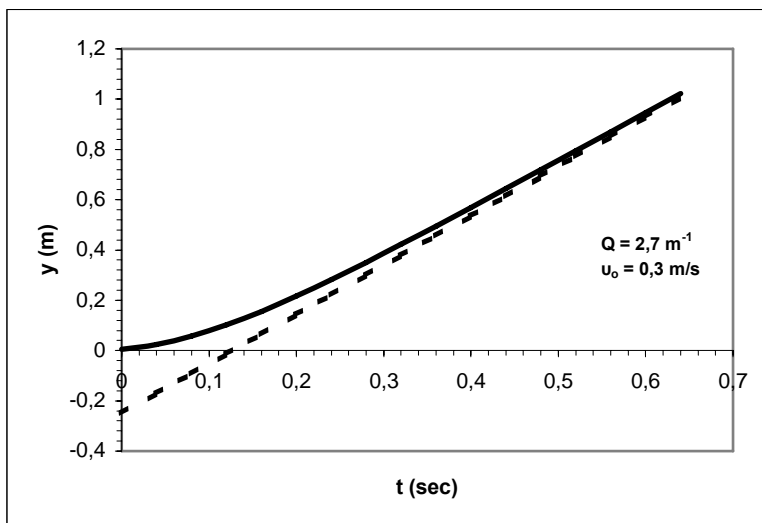
Εισαγωγή

Η πειραματική μελέτη αρκετών δυναμικών φαινομένων των φυσικών επιστημών απαιτεί συνήθως εξειδικευμένο εξοπλισμό, εκπαίδευση στην χρήση του εξοπλισμού και σημαντικό κόστος προκειμένου να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα. Συνέπεια είναι είτε η περιορισμένη μελέτη τέτοιων σημαντικών φαινομένων, είτε η επίδειξη τους μόνο. Αντιθέτως χρησιμοποιώντας ΤΠΕ στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών ελαττώνεται όχι μόνο το κόστος αλλά και η ανάγκη εξειδίκευσης στη χρήση του εξοπλισμού (Finkelstein et al 2005). Επιπλέον, από εκπαιδευτικής σκοπιάς, έρευνες έχουν δείξει ότι ένα πραγματικό εργαστήριο περιέχει τεράστιες ποσότητες πληροφορίας (χρήσιμης όσο και περιφερειακής) τις οποίες δυσκολεύεται να φιλτράρει ο μαθητής. Ως εκ τούτου δημιουργείται ένα μεγάλο φορτίο κατανόησης που μπερδεύει και δυσκολεύει το μαθητή. Όμως μια προσεκτικά σχεδιασμένη διαδικασία με τη χρήση υπολογιστή μπορεί αφενός να διατηρήσει τη σύνδεση με την πραγματικότητα και αφετέρου να εστιάσει την προσοχή και αντίληψη του μαθητή μόνο στις απαραίτητες, για την κατανόηση ενός θέματος, πληροφορίες (Wieman & Perkins 2005). Παρόμοιες εργασίες με τη χρήση του υπολογιστή για τη μελέτη του φαινομένου της δυναμικής τριβής του αέρα έχουν γίνει (Οικονομίδης, Σωτηρόπουλος, Καλκάνης), όμως τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αρκετά εξειδικευμένα καθιστώντας έτσι δύσκολη τη διεξαγωγή του πειράματος. Στην παρούσα εργασία θα παρουσιάσουμε μία διαδικασία για την μελέτη του φαινομένου μέσω δύο απλών και χαμηλού κόστους πειραμάτων. Τα πειράματα αυτά μας επιτρέπουν τόσο να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με το φαινόμενο όσο και να κάνουμε αριθμητικούς υπολογισμούς εξάγοντας τις τιμές ορισμένων μεγεθών που σχετίζονται με την αντίσταση του αέρα. Από μετρολογικής πλευράς η αρχική βαθμονόμηση

του οργάνου επιβεβαιώνει τόσο την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων όσο και την εφικτότητα των προτεινόμενων πειραμάτων.

Θεωρητικό υπόβαθρο

Είναι αποδεκτό ότι, για μεγάλες τιμές του αριθμού Reynolds (Feynman, Leighton & Sands 1964), η δυναμική τριβή ή αντίσταση του αέρα είναι: $T = -(C_a \rho_a S) v^2$, όπου C_a ο αεροδυναμικός συντελεστής που εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του σώματος, ρ_a η πυκνότητα του αέρα και S η μετωπική επιφάνεια του σώματος. Για δεδομένο σώμα είναι: $T = -k v^2$, όπου $k = C_a \cdot \rho_a \cdot S$. Για ένα σώμα που πέφτει κατακόρυφα η εξίσωση που περιγράφει την πτώση, λαμβάνοντας υπόψη την αντίσταση του αέρα, θα είναι από τον 2^ο νόμο του Νεύτωνα: $F_{ολ} = B + T$. Αντικαθιστώντας τις δυνάμεις από τις γνωστές σχέσεις οπότε έχουμε: $m \cdot a = m \cdot g - kv^2 \Rightarrow a + Q \cdot v^2 - g = 0$, όπου $Q = k/m$ (1). Παρατηρώντας την διαφορική εξίσωση της κίνησης (1) διαπιστώνουμε ότι καθώς η ταχύτητα του σώματος αυξάνει, η δύναμη της τριβής του αέρα τείνει να εξισωθεί με το βάρος του σώματος. Όταν το σώμα αποκτήσει τέτοια ταχύτητα για την οποία θα ισχύει $B = T$, τότε η συνισταμένη δύναμη θα γίνει ίση με μηδέν. Από εκείνη τη στιγμή και έπειτα το σώμα θα κινείται πλέον με σταθερή ταχύτητα, σύμφωνα με τον 1^ο νόμο του Νεύτωνα. Η ταχύτητα για την οποία συμβαίνει αυτό το φαινόμενο ονομάζεται οριακή ταχύτητα και δίνεται από τη σχέση: $v^2_{οριακή} = gm/k = g/Q$ (2). Η γραφική παράσταση της λύσης της εξίσωσης (1) για πτώση σώματος για ορισμένες τιμές αρχικής ταχύτητας v_0 και συντελεστή Q (σχήμα 1) μας δείχνει ξεκάθαρα ότι μετά από κάποιο χρόνο η μετατόπιση γίνεται γραμμική εν σχέση με το χρόνο και συνεπώς η ταχύτητα αποκτά σταθερή τιμή.

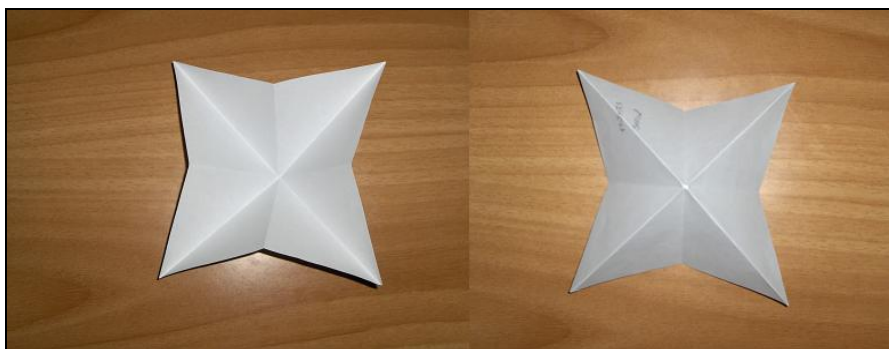


Σχήμα 1: Η λύση της εξίσωσης κίνησης, (συνεχής γραμμή) για πτώση σώματος, λαμβάνοντας υπόψη την αντίσταση του αέρα, και το γραμμικό της τμήμα (διακεκομμένη γραμμή) που αντιστοιχεί σε σταθερή ταχύτητα.

Από τη μελέτη αυτού ακριβώς του γραμμικού κομματιού μπορούμε να εξαγάγουμε τα συμπεράσματα που θα μας βοηθήσουν να επιβεβαιώσουμε πειραματικά τις υποθέσεις που δεχθήκαμε.

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία συνίσταται από τα εξής στάδια. Αρχικά γίνεται η βαθμονόμηση του οργάνου – εν προκειμένω της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής – για να βεβαιωθούμε ότι οι μετρήσεις που θα μας δώσει θα είναι αξιόπιστες. Ακολουθεί η βιντεοσκόπηση της πτώσης από κάποιο ύψος, επιφανειών από χαρτί γνωστών διαστάσεων και κατάλληλα διπλωμένων (σχήμα 2) ώστε να κάνουν κατακόρυφη πτώση. Έπειτα γίνεται λήψη των δεδομένων θέσης – χρόνου για κάθε ένα βίντεο με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού στον Η/Υ και τέλος επεξεργαζόμαστε τα δεδομένα με τη χρήση ενός λογιστικού φύλλου.



Σχήμα 2: Οι δύο όψεις μιας διπλωμένης επιφάνειας αρχικού εμβαδού 300 cm^2 .

Βαθμονόμηση της ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής

Για να είμαστε σίγουροι για την αξιοπιστία των μετρήσεων του οργάνου μας, ελέγξαμε δύο παραμέτρους της φωτογραφικής μηχανής ως προς τη λήψη του βίντεο. Το βήμα της στο χρόνο, δηλαδή αν όντως «βλέπει» 25 καρέ/δευτερόλεπτο και το βήμα της στο χώρο και συγκεκριμένα αν στα άκρα του πεδίου λήψης αντιστοιχούν λιγότερα pixel απ'ότι στο κέντρο δίνοντάς μας έτσι παραποιημένα δεδομένα για κάποιες περιοχές.

Για τον έλεγχο του βήματος στο χρόνο βιντεοσκοπήσαμε 2 ωρολόγια. Ένα αναλογικό και ένα ψηφιακό. Αφού περάσαμε τα βίντεο στον Η/Υ χρησιμοποιήσαμε ένα πρόγραμμα επεξεργασίας βίντεο (Carlson 2001) για να βρούμε πόσα καρέ αντιστοιχούν σε ένα δευτερόλεπτο. Στην περίπτωση του αναλογικού ρολογιού ως αρχή των χρόνων θεωρήσαμε τη στιγμή 9:23:35 και ως τέλος τη στιγμή ενός δευτερολέπτου αργότερα. Την στιγμή που θεωρήσαμε ως αρχή, το βίντεο βρισκόταν στο 81ο καρέ και ένα sec αργότερα στο 106ο. Οπότε: $106 - 81 = 25$ καρέ/δευτερόλεπτο.



Σχήμα 3: Η αρχή και το πέρας των χρόνων βαθμονόμησης με αναλογικό ρολόι.

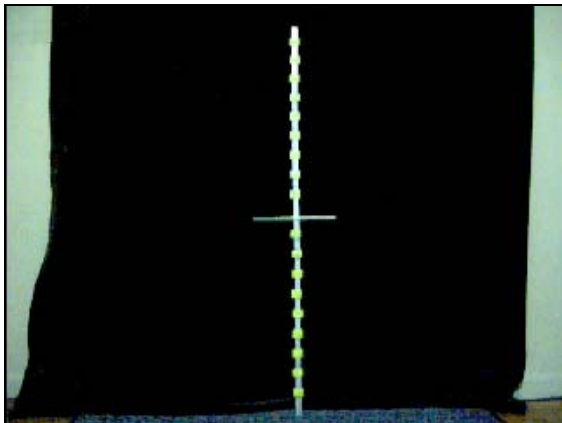
Για επιπλέον επιβεβαίωση χρησιμοποιήσαμε και ψηφιακό ρολόι. Κάνοντας την ίδια διαδικασία θεωρήσαμε αυτή τη φορά ως αρχή των χρόνων τα 0,06 sec του ψηφιακού χρονομέτρου και ως τέλος τα 1,06. Αυτή τη φορά είχαμε ως αριθμό καρτέ για την αρχή των χρόνων τα 95 καρτέ και αντίστοιχα για το τέλος των χρόνων τα 120 καρτέ. Συνεπώς: $120 - 95 = 25$ καρτέ/δευτερόλεπτο.



Σχήμα 4: Η αρχή και το πέρας των χρόνων βαθμονόμησης με ψηφιακό ρολόι.

Έτσι με αυτούς τους 2 τρόπους επιβεβαιώσαμε ότι η ταχύτητα λήψης της ψηφιακής μηχανής είναι 25 καρτέ/δευτερόλεπτο. Συνεπώς η αβεβαιότητα στο πρωτογενές μέγεθος χρόνος είναι $1/25$ sec.

Για να ελέγξουμε αν στα άκρα του πεδίου λήψης αντιστοιχούν λιγότερα pixel απ'ότι στο κέντρο του, κάναμε τα παρακάτω. Κολλήσαμε χαρτάκια πάνω σε ένα μέτρο, από την αρχή του και με βήμα 5cm, σε όλο το μήκος του. Ειδικότερα τη θέση των 50 cm τη σημειώσαμε κολλώντας ένα καλαμάκι κάνοντάς τη πιο ευδιάκριτη. Έπειτα βιντεοσκοπήσαμε το μέτρο αυτό και περάσαμε το βίντεο στον Η/Υ.



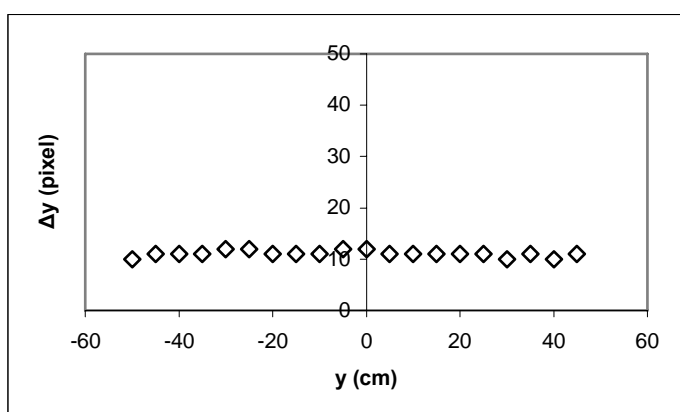
Σχήμα 5: Το μέτρο και οι ανά 5 cm υποδιαιρέσεις του

Θεωρώντας ως σημείο 0 το σημείο των 50 cm του μέτρου πήραμε τις τιμές των pixel που αντιστοιχούν στις θέσεις που σημειώσαμε, δηλαδή στα 5 cm, 10 cm, 15cm κοκ εκατέρωθεν του σημείου 0, με θετική φορά προς τα πάνω. Από τα δεδομένα αυτά υπολογίσαμε και τον αριθμό των pixel που αντιστοιχούν σε 5 cm για κάθε περιοχή λήψης. Τα δεδομένα συνοψίζονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1: Τα δεδομένα που λήφθηκαν για τον έλεγχο του πεδίου λήψης του οργάνου.

y (cm)	y (pixel)	Δy (pixel)	y (cm)	y (pixel)	Δy (pixel)
50	228	Δεν ορίζεται	-5	107	12
45	217	11	-10	96	11
40	207	10	-15	85	11
35	196	11	-20	74	11
30	186	10	-25	62	12
25	175	11	-30	50	12
20	164	11	-35	39	11
15	153	11	-40	28	11
10	142	11	-45	17	11
5	131	11	-50	7	10
0	119	12			

Η γραφική παράσταση $y(\text{cm}) - \Delta y(\text{pixel})$ μας οδηγεί ασφαλώς στο συμπέρασμα ότι σε όλο το εύρος της κατακόρυφης περιοχής η αντιστοιχία $\text{cm} - \text{pixel}$ είναι σταθερή. Οι μικρές αποκλίσεις ± 1 pixel από την τιμή των 11 pixel οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα και συγκεκριμένα στην αβεβαιότητα με την οποία μπορούσαμε να σημαδέψουμε τα σημάδια – χαρτάκια στις υποδιαιρέσεις του μέτρου. Συνεπώς η αβεβαιότητα για το μέγεθος θέση είναι 2 mm.

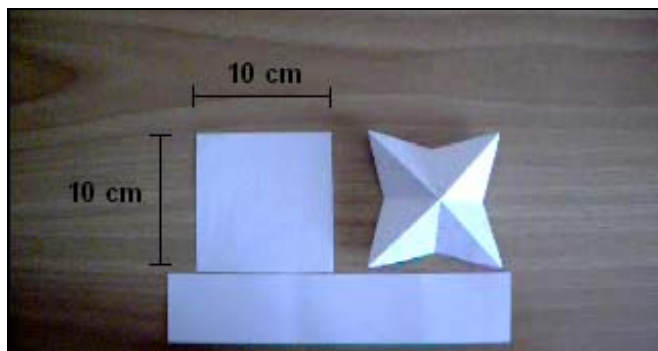


Σχήμα 6: Η γραφική παράσταση $y(\text{cm}) - \Delta y(\text{pixel})$.

Από τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης του οργάνου διαπιστώνουμε ότι η διαδικασία μελέτης του φαινομένου της δυναμικής τριβής του αέρα είναι εφικτή και ότι τα αποτελέσματα που θα πάρουμε θα είναι αξιόπιστα.

Έλεγχος μετωπικής επιφάνειας

Σημειωτέο είναι ότι η τελική μετωπική επιφάνεια είναι πλέον μικρότερη της αρχικής, για αυτό παρακάτω θα υπολογίσουμε την επί τοις εκατό μείωση της αρχικής επιφάνειας σε σύγκριση με την τελική. Ο υπολογισμός θα γίνει συγκρίνοντας τις διαστάσεις μιας διπλωμένης επιφάνειας με αυτές μιας ιδίων αρχικών διαστάσεων και όχι διπλωμένης (10 cm x 10 cm). Αφού μετρήσουμε πόσα pixel αντιστοιχούν στο πλάτος και στο μήκος του διπλωμένου χαρτιού, θα τα μετατρέψουμε σε cm με τη βοήθεια της αντιστοιχίας pixel σε cm που προέκυψε από το γνωστών διαστάσεων μη διπλωμένου και τελικά θα υπολογίσουμε το εμβαδόν της μετωπικής επιφάνειάς του.

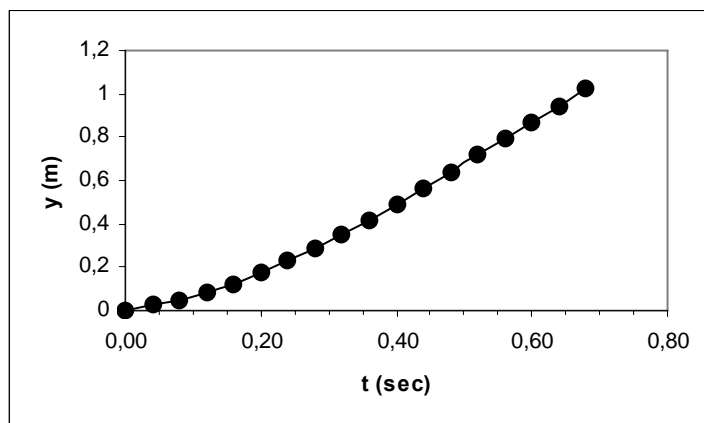


Σχήμα 7. Σύγκριση τετραγώνου διαστάσεων 10 cm x 10 cm με την αντίστοιχη διπλωμένη επιφάνεια.

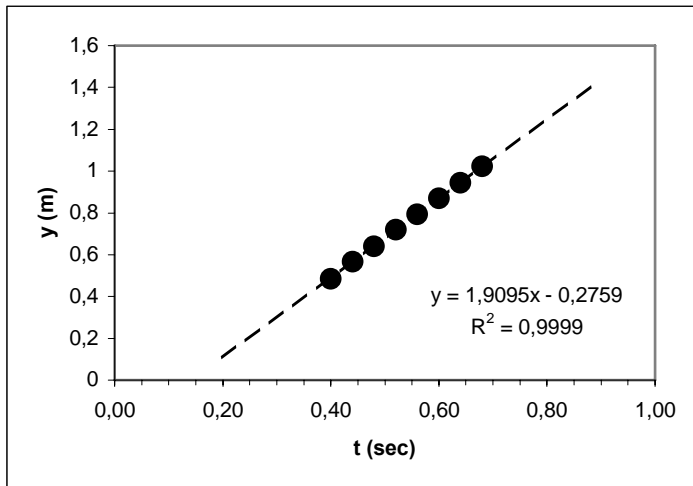
Έτσι βρήκαμε για το μη διπλωμένο χαρτί ότι οριζοντίως τα 10 cm αντιστοιχούν σε 66 pixel και καθέτως σε 68 pixel. Οι αντίστοιχες διαστάσεις του διπλωμένου είναι 64 pixel x 66 pixel, οπότε κάνοντας τη μετατροπή σε cm έχουμε 9,7 cm x 9,71 cm. Δηλαδή η τελική μετωπική του επιφάνεια είναι 94,12 cm² ή αλλιώς κατά 5,88 % μικρότερη της αρχικής. Η ποσοστιαία αυτή διαφορά είναι ίδια για όλες τις διπλωμένες επιφάνειες καθώς οι γωνίες τσάκισής τους είναι ακριβώς ίδιες, γεγονός που ελέγχθηκε τοποθετώντας τη μια μέσα στην άλλη ώστε να εφαρμόζουν πλήρως. Μία τόσο μικρή απόκλιση μπορούμε να τη θεωρήσουμε αμελητέα στους υπολογισμούς μας καθώς δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα. Τέλος, για τις επιφάνειες που χρησιμοποιήσαμε ο αριθμός Reynolds είναι στην περιοχή του 10⁴, συνεπώς μπορούμε να θεωρήσουμε με ασφάλεια ότι η αντίσταση του αέρα είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας και το φαινόμενο περιγράφεται από την εξίσωση (1).

Προσδιορισμός της οριακής ταχύτητας

Ο τρόπος προσδιορισμού της οριακής ταχύτητας γίνεται μέσω μιας γραμμικής παρεμβολής στα τελευταία σημεία της εκάστοτε πειραματικής καμπύλης $y - t$. Έτσι ξανασχεδιάζοντας το τμήμα εκείνο της καμπύλης στο οποίο θεωρούμε ότι η επιφάνεια κινείται πλέον με την οριακή της ταχύτητα, μπορούμε να έχουμε την τιμή της απευθείας από την κλίση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων. Η αιτιολογία είναι προφανής, αφού είναι γνωστό ότι για κίνηση σώματος με σταθερή ταχύτητα η εξάρτηση θέσης - χρόνου είναι μία ευθεία με κλίση ίση με την τιμή της ταχύτητας του κινούμενου σώματος.



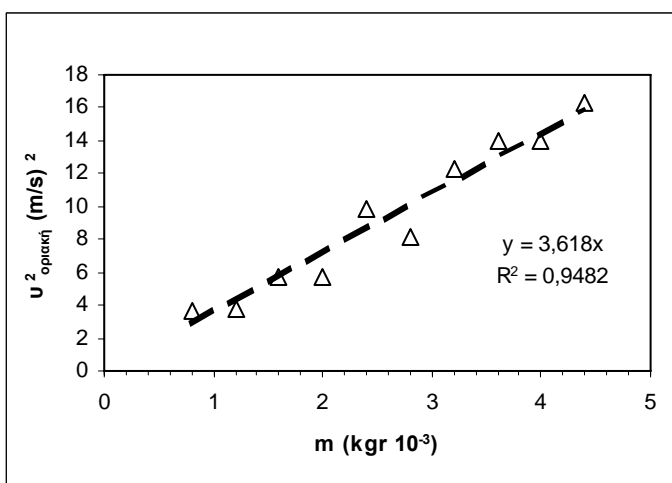
Σχήμα 8: Η πειραματική καμπύλη $y - t$ για πτώση από 1 m επιφάνειας αρχικού εμβαδού 200cm². Η περιοχή οριακής ταχύτητας φαίνεται να ξεκινά από $t = 0,4$ sec.



Σχήμα 9: Ο σχεδιασμός των σημείων της παραπάνω καμπύλης μετά από $t = 0,4\text{sec}$ και η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων με την εξίσωσή της.

Πείραμα μεταβολής της μάζας

Με αυτό το πείραμα μετρήσαμε την οριακή ταχύτητα της χάρτινης επιφάνειας που χρησιμοποιήσαμε. Επιπλέον επιβεβαιώσαμε πειραματικά το γεγονός ότι το τετράγωνο της οριακής ταχύτητας είναι ανάλογο της μάζας. Η διαδικασία συνίσταται από τη βιντεοσκόπηση της πτώσης μιας χάρτινης επιφάνειας σταθερού εμβαδού 100 cm^2 και μεταβλητής μάζας. Η μεταβολή της μάζας έγινε δημιουργώντας πανομοιότυπες επιφάνειες και βάζοντας τη μία μέσα στην άλλη. Η τελική μάζα του «συσσωματώματος» ήταν ανάλογη του αριθμού των επιφανειών που ήταν ενωμένες. Η μάζα της μιας επιφάνειας των 100 cm^2 ήταν $m_0 = 0,8\text{ gr}$. Παίρνοντας τα δεδομένα θέσης – χρόνου για τις επιφάνειες των διαφόρων μαζών, κάναμε με τη βοήθεια ενός λογιστικού φύλλου τις γραφικές παραστάσεις $y - t$ για τα πειραματικά δεδομένα και από το γραμμικό τμήμα προσδιορίσαμε την $v_{\text{οριακή}}^2$ για κάθε μια από τις επιφάνειες. Κάνοντας το διάγραμμα $v_{\text{οριακή}}^2 - m$ (σχήμα 10) μπορούμε να ελέγξουμε τη συμφωνία του πειράματος με τις υποθέσεις που δεχθήκαμε στην αρχή.



Σχήμα 10: Το διάγραμμα $v_{\text{οριακή}}^2 - m$ και η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.

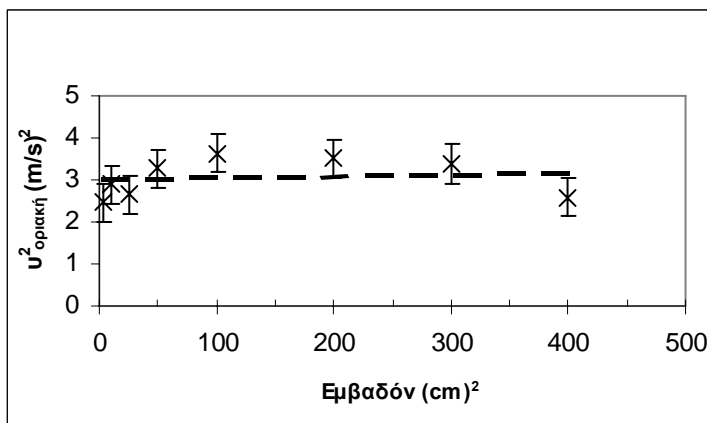
Ο συντελεστής της ευθείας αντιστοιχεί στην τιμή g/k και μέσω αυτού μπορούμε, αντικαθιστώντας τα γνωστά μεγέθη, να υπολογίσουμε την τιμή του αεροδυναμικού συντελεστή C_a . Στην προκειμένη περίπτωση: $C_a = 0,21 \pm 0,0068$. Παρατηρούμε ότι η εξάρτηση είναι γραμμική με πολύ προσέγγιση όπως υποδεικνύει η τιμή της R^2 . Επομένως επιβεβαιώνεται πειραματικά το γεγονός ότι η $v_{\text{οριακή}}^2$ είναι ανάλογη της μάζας και από εκεί ότι η τριβή είναι ανάλογη του τετραγώνου της οριακής ταχύτητας. Άρα το πείραμα είναι εφικτό και ασφαλές για τη μελέτη του φαινομένου.

Πείραμα μεταβολής της μάζας και της επιφάνειας

Με το πείραμα αυτό προσεγγίσαμε τη φυσική που διέπει το φαινόμενο μέσω μιας διαφορετικής οδού. Συγκεκριμένα διαπιστώσαμε ότι αν μεταβάλλουμε το εμβαδόν της χάρτινης επιφάνειας και η μάζα του είναι ανάλογη της επιφάνειας, τότε η οριακή ταχύτητα (και συνεπώς και το τετράγωνό της) θα παραμείνει σταθερή. Αυτό προκύπτει από τις σχέσεις :

$$\left. \begin{array}{l} v_{\text{οριακή}}^2 = (g/k)m \\ k = C_a \cdot \rho_a \cdot S \\ m = a \cdot S \end{array} \right\} \Rightarrow v_{\text{οριακή}}^2 = \frac{g \cdot a}{C_a \cdot \rho_a}, \text{ όπου } a \text{ ο συντελεστής αναλογίας } m - S \quad (3)$$

Η διαδικασία εκτέλεσης αυτού του πειράματος συνίσταται στη δημιουργία χάρτινων επιφανειών αρχικού εμβαδού 4, 10, 25, 50, 100, 200, 300 και 400 cm^2 και στην βιντεοσκόπηση της, από ενός μέτρου ύψους, πτώσης τους. Έπειτα ακολουθώντας τη διαδικασία του προηγούμενου πειράματος, δηλαδή λήψη των δεδομένων θέσης - χρόνου, σχεδίαση των πειραματικών καμπυλών και υπολογισμός από το γραμμικό τμήμα, της $v_{\text{οριακή}}^2$ για κάθε μία από τις, διαφορετικού εμβαδού, επιφάνειες. Από αυτά τα δεδομένα κάνουμε τη γραφική παράσταση $v_{\text{οριακή}}^2 - S$. Αν οι υποθέσεις μας είναι σωστές τότε η μορφή της γραφικής παράστασης θα πρέπει να είναι μία ευθεία παράλληλη στον άξονα των x , δηλαδή του εμβαδού.



Σχήμα 11: Το διάγραμμα $v_{\text{οριακή}}^2 - S$ και η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων. Ως μέτρο της αβεβαιότητας λήφθηκε η τυπική απόκλιση των δεδομένων της $v_{\text{οριακή}}^2$.

Τα σημεία φαίνεται να αποκλίνουν ελαφρά από την ευθεία. Αυτό όμως που χρίζει παρατήρησης είναι το γεγονός ότι ενώ το εμβαδόν αυξάνεται κατά δύο τάξεις μεγέθους, η τιμή της $v_{\text{οριακή}}^2$ μεταβάλλεται μόνο κατά, περίπου, 20% γεγονός που σημαίνει ότι πρακτικά και μέσα στα όρια της πειραματικής αβεβαιότητας, παραμένει σταθερή. Επιπλέον χρησιμοποιώντας τη μέση τιμή της $v_{\text{οριακή}}^2$ μπορούμε να υπολογίσουμε τον C_a από τη σχέση

(3). Προκύπτει ότι: $C_a = 0,20 \pm 0,031$, γεγονός που έρχεται σε πολύ καλή συμφωνία με τον υπολογισμό του προηγούμενου πειράματος.

Συμπεράσματα και σχόλια

Είναι σημαντικό το γεγονός ότι μέσω μιας τόσο απλής διαδικασίας μπορεί να γίνει μια ενδελεχής μελέτη ενός περίπλοκου δυναμικού φαινομένου. Τα δύο πειράματα που σχεδιάσαμε και εκτελέσαμε επιβεβαίωσαν το ασφαλές και το εφικτό της διαδικασίας αυτής. Αφενός μέσω της πολύ καλής συμφωνίας των αποτελεσμάτων με τις αρχικές υποθέσεις – μέσα στα όρια των πειραματικών αβεβαιοτήτων - και αφετέρου μέσω της αριθμητικής συμφωνίας των αποτελεσμάτων των δύο πειραμάτων μεταξύ τους. Από εκπαιδευτικής άποψης τόσο το γεγονός της πολύ καλής, μέσα στα όρια της πειραματικής αβεβαιότητας, αλλά όχι πλήρους ταύτισης μεταξύ θεωρίας και πειραμάτων όσο και ο τρόπος προσδιορισμού της οριακής ταχύτητας (που απαιτεί το συνδυασμό γνώσης και κρίσης) θα δώσει στους διδασκόμενους την πραγματική εικόνα της πειραματικής μεθόδου της Φυσικής και θα τους απομακρύνει από τις απογυμνωμένες από το πείραμα, «ξερές» θεωρητικές διδασκαλίες καθώς και από τα «τέλεια» όργανα και πειράματα των οποίων τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν πάντα και απόλυτα τη θεωρία. Αντίθετα θα τους εμπλουτίσει με ένα κριτικό τρόπο σκέψης όπως η αξιολόγηση των μέσων, του πειράματος αλλά και την αναζήτηση των αιτιών των αβεβαιοτήτων ο οποίος είναι αυτός που αρμόζει και που ακολουθείται για την πρόοδο της Φυσικής αλλά και όλων των θετικών επιστημών. Έτσι ελπίζουμε ότι με τη βοήθεια παρόμοιων διαδικασιών που έχουν εφαρμοστεί τόσο για τη μελέτη του εν λόγω φαινομένου (Οικονομίδης, Σωτηρόπουλος, Καλκάνης, ή Fowler 2006) όσο και για τη μελέτη και άλλων δυναμικών φυσικών φαινομένων από τα πιο απλά όπως είναι οι ταλαντώσεις, οι κρούσεις και οι πλάγιες βολές μέχρι τα πολύ σύνθετα όπως η εξίσωση Bernoulli με απώλειες (Saleta, Tobia & Gil 2005), οι μαθητές των διαφόρων βαθμίδων θα μπορέσουν να απομακρυνθούν λίγο από τις συνηθισμένες προσεγγίσεις της Φύσης - που μερικές φορές είναι αναπόφευκτες και απαραίτητες για τους σκοπούς του εκπαιδευτικού συστήματος - και θα δοθεί η δυνατότητα να κατανοήσουν λίγο καλύτερα τη Φυσική πραγματοποιώντας πειράματα σε μεγαλύτερο εύρος φαινομένων με την χρήση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών.

Παραπομπές

- Οικονομίδης, Σ. Σωτηρόπουλος, Δ. Καλκάνης, Γ. Θ. Η αντίσταση του αέρα ως συνάρτηση της ταχύτητας πτώσης. <http://micro-kosmos.uoa.gr/Hands-on-Science/airres/>
- Carlson, G. A. (2001). Πρόγραμμα λήψης δεδομένων θέσης – χρόνου DataPoint. <http://www.stchas.edu/faculty/gcarlson/physics/datapoint.htm>
- Feynman, R. P. & Leighton, R. B. & Sands, M. (1964). The Feynman Lectures on Physics Vol. II. Addison – Wesley, Reading, MA
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., and Reid, S. (2005) When learning about real world is done better virtually: A study about substituting computer simulations for laboratory equipment. Physical Review Special Topics
- Fowler, M. (2006) Stokes' Law and the Coffee Filters. <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mf1i.spring02/Reynolds.htm>
- Saleta, M. E. & Tobia, D. & Gil, S. (2005). Experimental study of Bernoulli's equation with losses. Am.J. Phys, 73(7) 598
- Wieman, C. & Perkins K. (2005). Transforming physics education. Physics Today, (11) 36