

Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση

Το εξώφυλλο του περιοδικού θα φιλοξενεί σε κάθε τεύχος μια φωτογραφία που έχει υποβληθεί ηλεκτρονικά στη συντακτική επιτροπή για αυτό το σκοπό. Η φωτογραφία, η οποία θα είναι πρωτότυπη και δεν θα προέρχεται από το διαδίκτυο ή από κάποιο έντυπο, πρέπει να συνδέεται με ένα φαινόμενο που είναι αντικείμενο διαπραγμάτευσης των Φυσικών Επιστημών. Ο αποστολέας της φωτογραφίας μπορεί να τη συνοδεύει με ένα σύντομο επεξηγηματικό σχόλιο.

Η φωτογραφία του τρέχοντος εξωφύλλου έχει ληφθεί από τον κ. Παντελή Χαλάτση. Η λήψη έγινε ένα μεσημέρι του 1986 με συμβατικό φιλμ σταθεροποιώντας τον τηλεφακό σε φωτοστεγή επαφή ακριβώς πίσω από το κυκλικό άνοιγμα μιας μεταλλικής λεπτής κυλινδρικής σωλήνας διαμέτρου περίπου 1 cm και μήκους περίπου 1 m, εσωτερικά στιλπνής. Από το άλλο άνοιγμα ο φωτογράφος στόχευσε την ακμή ενός έντονα φωτιζόμενου αντικειμένου και με κατάλληλο ζουμ στο σκοτεινό χώρο που δημιουργήθηκε από τα εσωτερικά τοιχώματα εμφανίστηκαν οι κυκλικοί δακτύλιοι της εικόνας. Πού μπορεί να οφείλεται η δημιουργία των κυκλικών δακτυλίων. Το κόκκινο χρώμα τους είναι πιθανό να οφείλεται στο εσωτερικό υλικό του κυλίνδρου ή συμβαίνει κάτι άλλο;

Στείλτε μας την απάντησή σας και τη διδακτική σας πρόταση στην ηλεκτρονική διεύθυνση physcool@auth.gr. Οι πιο ενδιαφέρουσες θα δημοσιευτούν στο επόμενο τεύχος.

Δείτε την ερμηνεία για τη φωτογραφία του 8ου τεύχους στις σελίδες 87-98, όπου δημοσιεύεται η εργασία *Ρωτήστε τον Ήλιο!* του Αναστάσιου Νέζη.

Editorial	4
Για το περιοδικό	5-6
Αστικοί μύθοι και διδακτικοί θρύλοι	
Προλογικό σημείωμα του επιμελητή, <i>Π. Κουμαράς</i>	7-9
Η Φυσική της πτήσης – αναθεωρημένη, <i>Klaus Weltner και Martin Ingelman-Sundberg†</i>	10-22
Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες	
Διερεύνηση του προσωπικού ενδιαφέροντος των αριστούχων μαθητών της Γ' Λυκείου για το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής, με τη χρήση του C.L.A.S.S., <i>Χ. Κωσταρά και Κ.Κώτσης</i>	23-30
Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο	
Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της ροής ρευστού σε σωλήνα, <i>Σ. Χόρτης</i>	31-46
Ξεδιπλώνοντας στην τάξη τα χαρακτηριστικά της Μεγάλης Έκρηξης, <i>Χ. Ξενάκης και Σ. Σπανός</i>	47-58
Διδακτική προσέγγιση της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας σε μαθητές Λυκείου: Προσομοιώσεις ή νοητικά πειράματα; <i>Γ. Θεοδούλου</i>	59-69
Μέσα στην τάξη	
Τσίπουρο με γλυκάνισο, <i>Β. Νούσης</i>	71-86
Ρωτήστε τον Ήλιο!, <i>Α. Νέζης</i>	87-98
Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκορπίσματα	
Κατασκευή ελατηρίου και πηνίου από ντίζα ποδηλάτου, <i>Ν. Ιωάννου</i>	99-102
Επιστολές προς το περιοδικό	103-105
Πρόκειται να συμβούν	106

Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση – ISSN 2241-7680

Εκδοτική ομάδα

Κουμαράς Παναγιώτης, καθηγητής Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Μουρούζης Παναγιώτης, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Κέρκυρας
Πιερράτος Θεόδωρος, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Ευόσμου
Πολάτογλου Χαρίτων, Αν. καθηγητής Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.

Διαχείριση δικτυακού τόπου

Αρτέμη Σταματία, Υπ. Διδάκτορας Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.

Συντακτική ομάδα

Κουμαράς Παναγιώτης, καθηγητής Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Πιερράτος Θεόδωρος, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Ευόσμου
Πολάτογλου Χαρίτων, Αν. καθηγητής Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.

Επιμέλεια Εξώφυλλου

Μαΐδου Ανθούλα, Εκπ/κος Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

Επιστημονική Επιτροπή

Αυγολούπης Σταύρος, Καθηγητής του Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Βαλαδάκης Ανδρέας, Δρ. Φυσικής, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Δαπόντες Νίκος, π. Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04
Δομουχτσίδου Γαρυφαλλιά, Δρ. Βιολογίας, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Καλογιαννάκης Μιχάλης, Λέκτορας του Π.Τ.Π.Ε. του Παν. Κρήτης
Καρούνιας Διονύσιος, π. Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Μεσσηνίας
Κασσέτας Ανδρέας, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Κουμαράς Παναγιώτης, Καθηγητής του Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Λευκοπούλου Σουλτάνα, Δρ. Χημείας, Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04 Αν. Θεσ/νίκης
Μαυρόπουλος Αβραάμ, Δρ. Επιστ. Αγωγής, Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04 Στερεάς Ελλάδας
Μουρούζης Παναγιώτης, Φυσικός Ρ/Η, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Κέρκυρας
Παπαδοπούλου Πηνελόπη, Επίκουρη Καθηγήτρια του Π.Τ.Ν. του Παν. Δυτ. Μακεδονίας
Παπασταματίου Νίκος, Φυσικός, επίτιμος Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04
Πιερράτος Θεόδωρος, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Ευόσμου
Πλακίτση Κατερίνα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Π.Τ.Ν. του Παν. Ιωαννίνων

Πολάτογλου Χαρίτων, Αν. Καθηγητής του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ.
Πράμας Χρήστος, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Σχ. Σύμβουλος Π/βάθμιας Εκπ/σης Σερρών
Πριμεράκης Γιώργος, Δάσκαλος Π/βάθμιας Εκπ/σης
Ρούμελης Νικόλαος, Δρ. Χημείας, Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04 Κυκλάδων
Σκουμιός Μιχάλης, Λέκτορας του Π.Τ.Δ.Ε. του Παν. Αιγαίου
Σκούρας Ζαχαρίας, Καθηγητής του Τμήματος Βιολογίας του Α.Π.Θ.
Σολομωνίδου Χριστίνα, π. Καθηγήτρια του Π.Τ.Δ.Ε. του Παν. Θεσσαλίας
Σπανός Σεραφείμ, Δρ. Φυσικής, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Σταυρίδου Ελένη, π. Καθηγήτρια του Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Τσαγλιώτης Νεκτάριος, Δάσκαλος Π/βάθμιας Εκπ/σης
Τσαπαρλής Γεώργιος, Καθηγητής του Τμήματος Χημείας του Παν. Ιωαννίνων
Τσιτοπούλου-Χριστοδουλίδη Ευγενία, Υπεύθυνη Ε.Κ.Φ.Ε. Αιγάλεω
Φασουλόπουλος Γιώργος, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Χαλκιά Κρυσταλία, Καθηγήτρια του Π.Τ.Δ.Ε. του Ε.Κ.Π.Α.
Χαραλάμπους Μάριος, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Εκπ/κός Π/βάθμιας Εκπ/σης Κύπρου

Editorial – Δεκέμβριος 2015

Σας καλωσορίζουμε στο 9ο τεύχος του περιοδικού και σας ευχόμαστε ό,τι καλύτερο για το 2016. Το περιοδικό έκλεισε τα δύο χρόνια ζωής και μπαίνει στον τρίτο χρόνο της έκδοσής του. Στα δύο αυτά χρόνια περισσότεροι από 13000 διαφορετικοί χρήστες επισκέφθηκαν το δικτυακό του τόπο. Ευχόμαστε και ελπίζουμε ότι οι συνάδελφοι θα εξακολουθήσουν να βρίσκουν ενδιαφέρον το υλικό που θα δημοσιευτεί και κατά τον τρίτο χρόνο κυκλοφορίας του περιοδικού και επιπλέον ότι θα μοιραστούν μαζί μας γόνιμες εμπειρίες και προτάσεις τους για τη βελτίωση της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών.

Το τρέχον τεύχος φιλοξενεί 8 άρθρα. Πέρα από τις ενδιαφέρουσες εργασίες που φιλοδοξούν να σας ταξιδέψουν από τη Μεγάλη Έκρηξη και την αξιοποίηση του τσίπουρου στη μελέτη της οπτικής, μέχρι τη μελέτη των σκιών, της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας στο Λύκειο, τις στάσεις των φοιτητών απέναντι στη Φυσική και την κατασκευή ελατηρίων, θα βρείτε και δύο εργασίες σχετικές με τη μελέτη των ρευστών. Η μία θα σας δώσει τη δυνατότητα να διαπραγματευτείτε πειραματικά τα ρευστά στην τάξη σας. Η άλλη, έχει γραφτεί από έναν Γερμανό αειθαλή επιστήμονα με πλούσιο ερευνητικό και δημοσιευμένο έργο και αφορά τη Φυσική της πτήσης. Σε αυτήν θα διαπιστώσετε πώς η επίκληση και η προσκόλληση στις αυθεντίες αλλά και η

διάθεσή μας να γενικεύουμε μπορούν να καταδικάσουν γενιές μαθητών και δασκάλων να μαθαίνουν λάθος πράγματα.

Με αφορμή την εισαγωγή του κεφαλαίου «Ρευστά σε κίνηση» στην εξεταστέα ύλη της Φυσικής της Γ' Λυκείου, το άρθρο αυτό εγείρει διάφορα ερωτήματα. Η ανοικτή επιστολή που δημοσιεύεται στη στήλη «Επιστολές προς το περιοδικό» διαπραγματεύεται μερικά από αυτά.

Τέλος, υπενθυμίζουμε το Πανελλήνιο Συνέδριο «Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες» που οργανώνεται από το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Α.Π.Θ., το Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ. και την Πανελλήνια Ένωση Υπευθύνων Εργαστηριακών Κέντρων Φυσικών Επιστημών (ΠΑΝ.Ε.Κ.Φ.Ε.), και θα πραγματοποιηθεί στη Θεσσαλονίκη στις 16 και 17 Απριλίου του 2016. Θα χαρούμε να δεχτούμε την εργασία σας μέχρι τις 10 Ιανουαρίου 2016 και φυσικά να σας δούμε στη Θεσσαλονίκη και να τα πούμε δια ζώσης.

Εκ μέρους της
εκδοτικής ομάδας
Παναγιώτης Κουμαράς

Πρόσκληση για εργασίες

Καλωσορίζουμε εργασίες τριών κατηγοριών:

A) Θεωρητικές εργασίες, που θα ενημερώνουν τους δάσκαλους της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης και τους καθηγητές Φυσικών Επιστημών της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης για τις απαντήσεις που διεθνώς δίνονται σήμερα στα ερωτήματα (σε ένα ή περισσότερα):

- Γιατί η διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών αποτελεί αναγκαιότητα της εκπαίδευσης σήμερα;
- Τι να συμπεριληφθεί ως περιεχόμενο διδασκαλίας στα μαθήματα Φυσικών Επιστημών;
- Πώς να διδαχθεί το συγκεκριμένο περιεχόμενο;
- Γιατί, πώς και σε τι να αξιολογηθούν οι μαθητές;
και επιπλέον,
- Θέματα Φυσικών Επιστημών που συνήθως παρουσιάζονται λανθασμένα σε σχολικά βιβλία.

Είναι επιθυμητό κάθε ένα από τα άρθρα που εμπίπτει σε αυτές τις θεματικές περιοχές να μην ξεπερνά σε έκταση τις 3.000 περίπου λέξεις, χωρίς τις εικόνες ή πίνακες που τυχόν θα περιλαμβάνει.

B) Εργασίες “της πρώτης γραμμής” που θα παρουσιάζουν καλές ιδέες και πρακτικές άμεσα εφαρμόσιμες και χρήσιμες στην τάξη και θα αναφέρονται:

- Σε σχέδια εργασίας (projects) Φυσικών Επιστημών που έχουν εφαρμοστεί «επιτυχώς» στη σχολική τάξη
- Στην αξιοποίηση των Τ.Π.Ε. στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών
- Σε συγκεκριμένες πρακτικές αξιοποίησης της ιστορίας των Φυσικών Επιστημών στην τάξη,
- Σε πρωτότυπες/καινοτόμες διαδικασίες που έχουν γίνει και αφορούν την αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις Φυσικές Επιστήμες
- Σε πειράματα Φυσικών Επιστημών, τα οποία κατά προτίμηση δεν απαιτούν εξειδικευμένο εργαστηριακό εξοπλισμό, που συνδέονται με συγκεκριμένη διδακτέα ύλη π.χ. πρόσθεση ή αντικατάσταση κάποιου πειράματος σε συγκεκριμένη ενότητα του σχολικού βιβλίου ή του αντίστοιχου εργαστηριακού οδηγού
- Σε καταστάσεις της καθημερινής ζωής που μπορούν να αξιοποιηθούν διδακτικά κατά τη διδασκαλία συγκεκριμένης διδακτέας ύλης.

Ουσιαστικά μέσα από τα άρθρα αυτής της κατηγορίας επιδιώκεται η διάχυση των διδακτικών εμπειριών μας. Είναι επιθυμητό κάθε ένα από τα άρθρα που εμπίπτει σε αυτές τις θεματικές περιοχές να μην ξεπερνά σε έκταση τις 3.000 περίπου λέξεις, χωρίς τις εικόνες ή πίνακες που τυχόν θα περιλαμβάνει.

Γ) Μεταφρασμένα σημαντικά άρθρα που έχουν δημοσιευτεί στη διεθνή βιβλιογραφία και αφορούν τη διδασκαλία ενός τουλάχιστον τομέα των Φυσικών Επιστημών. Η έκταση αυτών των

άρθρων θα είναι όση και η έκταση των πρωτότυπων. Παρακαλούνται οι συνάδελφοι που έχουν υπόψη τους άρθρο κατάλληλο για αυτή τη στήλη, πριν ξεκινήσουν τη μετάφρασή του, να επικοινωνήσουν με τη συντακτική επιτροπή του περιοδικού ώστε να εξασφαλιστεί η σχετική άδεια του αρχικού εκδότη.

Οι εργασίες των δύο πρώτων κατηγοριών που θα υποβάλλονται στο περιοδικό θα γίνονται δεκτές ή όχι για δημοσίευση μετά από διπλή τυφλή κρίση. Από τους συγγραφείς των εργασιών που θα γίνουν δεκτές για δημοσίευση θα ζητηθεί να στείλουν μια μικρή φωτογραφία τους, τύπου ταυτότητας, και σύντομο βιογραφικό σημείωμα (50-70 λέξεις). Οδηγίες για τη συγγραφή των εργασιών θα βρείτε στο δικτυακό τόπο του περιοδικού.

Ερωτήσεις, κριτική και σχόλια σε άρθρα που έχουν δημοσιευτεί στο περιοδικό γίνονται ευχαρίστως δεκτά. Σε περίπτωση σχολίων, αν η συντακτική επιτροπή του περιοδικού κρίνει, οι συγγραφείς που τα υποβάλλουν θα κληθούν να επικοινωνήσουν άμεσα με τον συγγραφέα του αρχικού άρθρου, και, αν συμφωνήσουν σε ένα κείμενο, αυτό να δημοσιευτεί και με τα δύο ονόματα. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, θα υπάρχει χωριστά το σχόλιο και η απάντηση αν βέβαια αυτή θεωρείται αναγκαία. Σε κάθε περίπτωση και τα σχόλια θα περνούν από διαδικασία της διπλής τυφλής κρίσης.

Επιπλέον στο περιοδικό σχεδιάζεται να υπάρχουν:

- Στήλη αλληλογραφίας, μέχρι 250 λέξεις ανά επιστολή
- Παρουσίαση και κριτική βιβλίων ή δικτυακών τόπων σχετικών με το αντικείμενο του περιοδικού
- Ανακοινώσεις επικείμενων συνεδρίων, ημερίδων κτλ σχετικών με το αντικείμενο του περιοδικού
- Στο τεύχος του Ιουνίου κάθε χρονιάς θα δημοσιεύεται ευρετήριο συγγραφέων και εργασιών που έχουν δημοσιευτεί στο περιοδικό την τρέχουσα ακαδημαϊκή χρονιά.

Αν θα θέλατε να συζητήσουμε οποιαδήποτε άλλη δική σας ιδέα, που να προωθεί τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, παρακαλούμε επικοινωνήστε με τη συντακτική επιτροπή του περιοδικού στην ηλεκτρονική διεύθυνση: physcool@auth.gr.

Ο όρος “Αστικός μύθος” ή “Αστικός θρύλος” χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει κάτι ευρύτατα διαδεδομένο το οποίο όμως δεν στηρίζεται σε γεγονότα, ούτε στη βιβλιογραφία. Στη στήλη “Αστικοί μύθοι και διδακτικοί θρύλοι” θα δημοσιεύονται απόψεις ευρύτατα διαδεδομένες και μάλλον αποδεκτές από πολλούς οι οποίες αφορούν είτε το περιεχόμενο των Φυσικών Επιστημών είτε τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, που έρχονται, όμως, σε αντίθεση με την οικεία επιστήμη.

Η Φυσική της πτήσης - αναθεωρημένη

Klaus Weltner και Martin Ingelman-Sundberg†

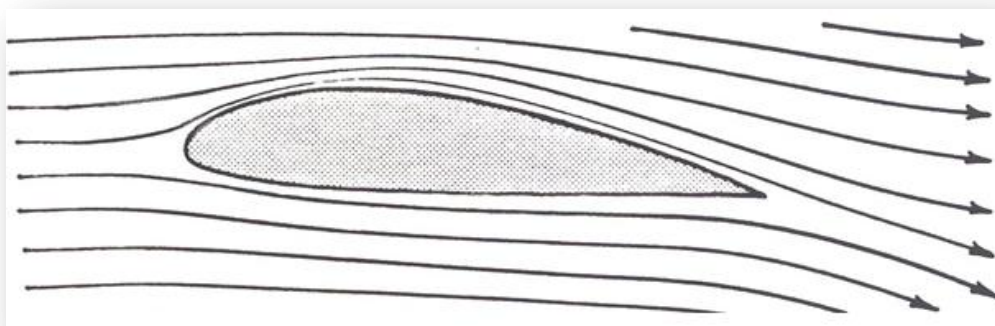
ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΘΟΔΩΡΗΣ ΠΙΕΡΡΑΤΟΣ - ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΟΥΜΑΡΑΣ

Προλογικό σημείωμα του επιμελητή

Στο άρθρο που ακολουθεί παρουσιάζεται ερμηνεία της πτήσης του αεροπλάνου η οποία στηρίζεται στους νόμους του Νεύτωνα. Η ερμηνεία αυτή μπορεί να θεωρηθεί σε δύο επίπεδα σε ό,τι αφορά την απαιτούμενη μαθηματική διαπραγμάτευση, ένα απλό και ένα πιο προχωρημένο.

Στο πιο απλό επίπεδο

Στα εγχειρίδια που ασχολούνται με το θέμα υπάρχει, συνήθως, μια εικόνα των ρευματικών γραμμών του αέρα γύρω από την αεροτομή (Εικόνα 1). Έτσι στο σχολικό βιβλίο της Γ' Λυκείου (Ιωάννου κ.ά., 2010) υπάρχει η εικόνα 3.14, σελίδα 97.



Εικόνα 1. Ρευματικές γραμμές γύρω από μία αεροτομή.

Σε συμφωνία με το φαινόμενο Coanta [1], το ρεύμα του αέρα που προσεγγίζει την επιφάνεια της αεροτομής πρέπει να ακολουθήσει την επιφάνειά της. Αυτό συνεπάγεται ότι οι αρχικά οριζόντιες ρευματικές γραμμές του κινούμενου αέρα αποκλίνουν προς τα κάτω. Άρα σε κάθε στοιχειώδη μάζα

του αέρα ασκείται από την αεροτομή δύναμη προς τα κάτω (δράση). Επομένως στην αεροτομή ασκείται από τον αέρα δύναμη προς τα πάνω και την ανυψώνει (αντίδραση). Αυτή είναι η δύναμη ανύψωσης και δρα όταν έχουμε κίνηση του αέρα γενικότερα ως προς μια (ομαλή) καμπύλη επιφάνεια. Η ερμηνεία για το «πώς πετάει το αεροπλάνο» (στο πιο απλό επίπεδο) απαιτεί το φαινόμενο Coanda και τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα (Weltner, 1987).

Σε ποιο προχωρημένο επίπεδο

Η εξήγηση βασίζεται στην παραγωγή μιας βαθμίδας πίεσης γύρω από την αεροτομή, ως συνέπεια της κεντρομόλου δύναμης που δημιουργείται λόγω του φαινομένου Coanda και του σχήματος του φτερού. Έτσι λόγω του φαινομένου Coanda ένας στοιχειώδης όγκος του αέρα κάνει καμπυλόγραμμη κίνηση (ας δούμε στην Εικόνα 1 μια ρευματική γραμμή πάνω από την αεροτομή). Αυτό βέβαια σημαίνει ότι έχει και εφαπτομενική (επιτρόχια) και κεντρομόλο επιτάχυνση. Οι επιταχύνσεις αυτές προκαλούνται από τη δράση δυνάμεων που προφανώς, για την περίπτωση μας, οφείλονται σε διαφορές ατμοσφαιρικής πίεσης. Στην παράγραφο 4 του άρθρου αναλύεται αυτό το θέμα και παρέχεται μία θεωρητική ερμηνεία του γιατί η υψηλότερη ταχύτητα ροής είναι το αποτέλεσμα χαμηλότερης πίεσης και γιατί ποτέ δεν μπορεί η υψηλότερη ταχύτητα να προκαλέσει την χαμηλότερη πίεση. Από την άλλη, δείχνεται ότι χαμηλότερη πίεση μπορεί να δημιουργηθεί εάν η ροή του αέρα, εξαναγκαστεί να καμφθεί. Η παράγραφος αυτή αναφέρεται στην κατανομή πιέσεων γύρω από μια αεροτομή [2] αλλά ισχύει για όλες τις ομαλές καμπύλες επιφάνειες που προκαλούν καμπύλωση των ρευματικών γραμμών (όπως π.χ. το καμπυλωμένο χαρτί που ανεβαίνει αν φυσήξουμε από την πάνω πλευρά του και κατά προσέγγιση και για τις στέγες).

Οι συγγραφείς πραγματευόμενοι την εφαπτομενική επιτάχυνση καταλήγουν στη διατύπωση του νόμου του Μπερνούλι με τρόπο που είναι πιο διαφωτιστικός σε σχέση με αυτόν που χρησιμοποιείται συνήθως στα εγχειρίδια, επειδή δείχνει τη Φυσική που υπάρχει πίσω από το νόμο. Η ροή του ρευστού επιταχύνεται ως αποτέλεσμα της μείωσης της πίεσης. Δείχνει σαφώς ότι η επιτάχυνση δεν μπορεί ποτέ να είναι η αιτία της μείωσης της πίεσης (Weltner and Ingelman – Sundberg, 2011).

Από τους Weltner και Ingelman-Sundberg (2011) καταγράφεται ότι «κατά κανόνα, τα βιβλία Φυσικής δεν ασχολούνται με τη μελέτη της κάθετης επιτάχυνσης του ρευστού. Δεν συζητούν τις κλίσεις πίεσης που υπάρχουν κάθετα προς την ταχύτητα εάν οι ρευματικές γραμμές είναι καμπύλες. Η παραμέληση των κλίσεων πίεσης που σχετίζονται με καμπύλες γραμμές ροής είναι καταστροφική γιατί έτσι ο μηχανισμός της παραγωγής χαμηλής πίεσης καθίσταται αδύνατο να κατανοηθεί. Τα εμπόδια προκαλούν καμπύλες ρευματικές γραμμές και δημιουργούν κλίσεις πίεσης στον αέρα και κατά συνέπεια περιοχές με υψηλότερη ή χαμηλότερη πίεση. Η εκτροπή της ροής είναι η αιτία για τη δημιουργία κλίσεων πίεσης κάθετα προς τις γραμμές ροής και άρα η αιτία για τη δημιουργία διαφορών πίεσης».

Τέλος σημειώνουμε ότι από την εξίσωση $\frac{dp}{dz} = \rho \frac{v^2}{R}$, στην οποία καταλήγει η 4η παράγραφος του άρθρου για την κλίση της πίεσης κάθετα προς τις ρευματικές γραμμές, προκύπτει ότι αν οι ρευματικές γραμμές είναι οριζόντιες ευθείες (αν δηλ. $R \rightarrow \infty$, τότε $\frac{dp}{dz} \rightarrow 0$) δεν υπάρχει βαθμίδα πίεσης. Αυτό σημαίνει ότι η (στατική) πίεση σε ρεύμα αέρα στο οποίο δεν έχουμε απόκλιση των ρευματικών γραμμών είναι ίση με την ατμοσφαιρική πίεση, οπότε μερικές από τις εντυπωσιακές επιδείξεις ερμηνεύονται εσφαλμένα, δεδομένου ότι οι επιδράσεις που παρατηρούνται δεν οφείλονται στο νόμο του Μπερνούλι.

Διευκρινίζουμε ότι τα παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ερμηνεία, πέρα από την πτήση του αεροπλάνου και, κατά προσέγγιση, για την αρπαγή της στέγης από τον αέρα, και των δραστηριοτήτων της σελίδας 101 του σχολικού βιβλίου της Γ' Λυκείου (Ιωάννου κ.ά., 2010).

Σχόλια

1. Ρεύμα αέρα που κινείται κατά μήκος μιας (ομαλά) καμπυλωμένης επιφάνειας τείνει να ακολουθήσει την καμπυλωμένη επιφάνεια. Αποδίδεται στο ιξώδες.
2. Για την πλήρη μελέτη του φαινομένου θα έπρεπε να δούμε ανάλογα και το αποτέλεσμα των ρευματικών γραμμών και στην κάτω επιφάνεια της αεροτομής (Babinsky, 2003).

Βιβλιογραφία

- Babinsky, H. (2003). How do wings work? *Physics Education* 38(6), p.p. 497 – 503.
- Weltner, K. (1987). A comparison of explanations of the aerodynamic lifting force. *American Journal of Physics* 55(1), p.p. 50 – 54.
- Weltner, K. and Ingelman - Sundberg, M. (2011). *Misinterpretations of Bernoulli's law*. Ανακτήθηκε στις 9 Δεκεμβρίου 2015, από <http://user.uni-frankfurt.de/~weltner/Misinterpretations%20of%20Μπερνούλις%20Law%202011%20internet.pdf>
- Ιωάννου, Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α. και Ράπτης Σ. (2010). Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης. Γ' Τάξη Γενικού Λυκείου. (1' Έκδοση). ΟΕΔΒ. Αθήνα.

Προλογικό σημείωμα του συγγραφέα για την Ελληνική μετάφραση

Είναι τιμή μου να βλέπω την εργασία μας για τη Φυσική της πτήσης να μεταφράζεται στην Ελληνική γλώσσα.

Η Φυσική της πτήσης είναι ένα θέμα εξαιρετικά ενδιαφέρον για τους φοιτητές και τους μαθητές μας και επομένως βοηθάει να κάνουμε τη Φυσική μία επιστήμη που έχει νόημα. Αλλά, δυστυχώς, η Φυσική της πτήσης έχει σχεδόν εξαφανιστεί από τα περισσότερα διδακτικά εγχειρίδια γεγονός που οφείλεται σε κάποιες δυσκολίες να εξηγηθεί η Φυσική της δύναμης ανύψωσης.

Η ευρέως διαδεδομένη ερμηνεία υποστηρίζει ότι η υψηλότερη ταχύτητα ροής στην άνω πλευρά των πτερύγων των αεροσκαφών προκαλεί χαμηλότερη πίεση, εξαιτίας της εξίσωσης του Μπερνούλι. Δυστυχώς, αυτή η εξήγηση είναι βασικά λάθος. Ο αέρας σε μια ρευματική γραμμή επιταχύνεται στην κατεύθυνση της χαμηλότερης πίεσης. Έτσι, η αυξημένη ταχύτητα είναι το αποτέλεσμα, αλλά δεν μπορεί ποτέ να είναι η αιτία της χαμηλότερης πίεσης.

Κατά τα τελευταία χρόνια πολλοί συγγραφείς διδακτικών εγχειριδίων σε όλο τον κόσμο αποφάσισαν να παραλείψουν το θέμα της Φυσικής της πτήσης, με ελάχιστες εξαιρέσεις, όπως οι Tipler και Mosca στην 7η έκδοση του βιβλίου «Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς», όπου δίνεται μια σωστή ερμηνεία.

Με την εργασία μας αυτή ελπίζουμε να βοηθήσουμε τους Έλληνες καθηγητές Φυσικής να εξηγήσουν τη Φυσική της πτήσης με έναν καλύτερο και σωστό τρόπο.

Περίληψη

Σύμφωνα με την καθιερωμένη ερμηνεία της αεροδυναμικής άντωσης, η υψηλότερη ταχύτητα ροής στο πάνω μέρος μίας αεροτομής είναι η αιτία στην οποία οφείλεται η εμφάνιση χαμηλότερης πίεσης, λόγω του νόμου του Μπερνούλι. Όμως μία υψηλότερη ταχύτητα ροής είναι το αποτέλεσμα μίας χαμηλότερης πίεσης και όχι η αιτία της. Η αιτία της αεροδυναμικής άντωσης είναι η προς τα κάτω επιτάχυνση του αέρα από την αεροτομή, η οποία εξαρτάται από τη γωνία προσβολής και την ταχύτητα της αεροτομής.

Σε σχέση με την αεροτομή, πρέπει να ληφθεί υπόψη, στην περίπτωση καμπυλωμένων ρευματικών γραμμών, η κάθετη συνιστώσα της επιτάχυνσης του αέρα η οποία προκαλεί βαθμίδα πίεσης κάθετη προς τις ρευματικές γραμμές και δυνάμεις αντίδρασης κάθετες στην επιφάνειά της.

1. Εισαγωγή

Η ερμηνεία της αεροδυναμικής άντωσης (δυναμικής άνωσης) έχει μακρά ιστορία, υπάρχει όμως ακόμη στις μέρες μας μία ανοικτή διένεξη σχετικά με την ερμηνεία του φαινομένου και τη σχέση της με τους Νόμους του Νεύτωνα (Smith, 1972; Fletcher, 1975; Weltner, 1987; Baumann and Schwaneberg, 1994). Το θέμα αυτό θα μπορούσε να είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και προκλητικά θέματα στα αναλυτικά προγράμματα Φυσικής. Ωστόσο, η Φυσική της πτήσης έχει σχεδόν εξαφανιστεί από τα αναλυτικά προγράμματα και τα βασικά μαθήματα Φυσικής στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες. Ένας λόγος για τον οποίο το ενδιαφέρον των καθηγητών για αυτό το αντικείμενο,

αντίθετα από αυτό των μαθητών, φθίνει ίσως να είναι το γεγονός ότι η συνηθισμένη ερμηνεία της αεροδυναμικής άντωσης δεν είναι αρκετά πειστική και δεν συνδέεται με τη θεμελιώδη μηχανική.

Ο Niermann (1989) ανέλυσε όλα τα Γερμανικά εγχειρίδια Φυσικής που δημοσιεύτηκαν τα τελευταία 100 χρόνια διερευνώντας τις ερμηνείες της αεροδυναμικής άντωσης. Το κύριο αποτέλεσμα της έρευνάς του είναι ότι από το 1920 κυριαρχούν οι ερμηνείες που βασίζονται στο νόμο του Μπερνούλι. Διαπίστωσε ότι το ίδιο επίσης συμβαίνει για τα Αμερικανικά και Αγγλικά εγχειρίδια. Μία φωτεινή εξαίρεση είναι το βιβλίο των Halliday και Resnick (1976).

2. Ανάλυση των ερμηνειών που βασίζονται στο νόμο του Μπερνούλι

Η ερμηνεία της αεροδυναμικής άντωσης στα εγχειρίδια βασίζεται στο νόμο του Μπερνούλι και στην κατανομή ταχυτήτων ενός ρεύματος αέρα που διέρχεται από μία αεροτομή. Αρχικά διατυπώνεται ο νόμος του Μπερνούλι σύμφωνα με τον οποίο υπάρχει μία αντίστροφη σχέση μεταξύ της ταχύτητας ροής και της στατικής πίεσης: όταν η ταχύτητα ροής αυξάνεται τότε η στατική πίεση μειώνεται και το αντίστροφο.



Εικόνα 1. Ροή αέρα γύρω από μία αεροτομή.

Στη συνέχεια, στα εγχειρίδια αναπαριστούνται και αναλύονται οι γραμμές ροής του αέρα που περνάει από μία αεροτομή (Εικόνα 1). Δίνεται έμφαση στο ότι ο αέρας στο πάνω μέρος ρέει γρηγορότερα από ό,τι ο αέρας στο κάτω μέρος. Τελικά, εφαρμόζεται ο νόμος του Μπερνούλι για διαφορετικές ταχύτητες ροής στο πάνω και στο κάτω μέρος του φτερού που οδηγεί στο αποτέλεσμα ότι υπάρχει μικρότερη πίεση στην πάνω επιφάνεια και μεγαλύτερη πίεση στην κάτω επιφάνεια του φτερού. Αυτή η διαφορά πιέσεων προκαλεί μία δύναμη που ασκείται στην αεροτομή, την άντωση (δυναμική άνωση).

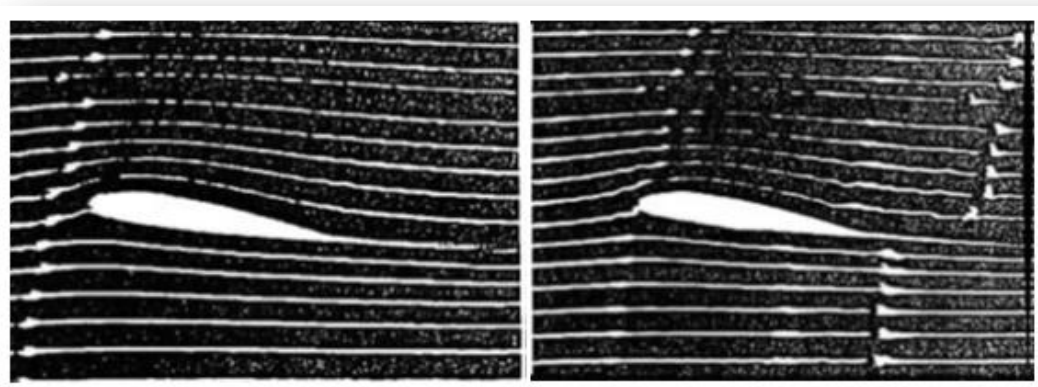
Ωστόσο, η ερμηνεία αυτή δεν είναι πλήρης: αν διαφορετικές ταχύτητες ροής προκαλούν διαφορετικές πιέσεις τότε πρέπει να δικαιολογηθεί γιατί ο αέρας ρέει γρηγορότερα στην πάνω πλευρά. Για αυτό μπορούμε να βρούμε επιχειρήματα τριών ειδών:

(i) Ανάλυση των μηκών των τροχιών

Με βάση την Εικόνα 1 διατυπώνεται το εξής επιχείρημα: το σχήμα του φτερού είναι τέτοιο ώστε ο αέρας πρέπει να ταξιδέψει περισσότερο πηγαίνοντας από την πάνω επιφάνεια κι επομένως πρέπει να ταξιδέψει γρηγορότερα για να διατηρηθεί η γραμμή ροής.

Ένα γνωστό εγχειρίδιο Γερμανικού Πανεπιστημίου (Mansfield and Sullivan, 1998) αναφέρει: “Αν ο αέρας ρέει από τα αριστερά προς την αεροτομή ή η αεροτομή κινείται στον αέρα προς τα αριστερά τότε ο αέρας θα διαχωριστεί. Καθώς το μήκος της τροχιάς που θα ακολουθήσει στο πάνω μέρος της αεροτομής ξεπερνά το μήκος της τροχιάς στο κάτω μέρος, η ταχύτητα του αέρα στο πάνω μέρος θα ξεπερνά την ταχύτητα στο κάτω μέρος.”

Αυτά τα επιχειρήματα βασίζονται σε μία άρρητη υπόθεση: το μέτωπο του παρακείμενου αέρα που φτάνει, πριν το διαχωρισμό του, μπροστά από την αεροτομή πρέπει να σμίξει ξανά (να διατηρήσει τη μορφή του) πίσω από την αεροτομή.



Εικόνα 2. Γραμμές ροής γύρω από μία αεροτομή.

Ο Smith (1972) απέδειξε ότι δεν υπάρχει κανένας νόμος ή κανόνας της Φυσικής που απαιτεί το μέτωπο του παρακείμενου αέρα πριν το διαχωρισμό να σμίξει ξανά πίσω από την αεροτομή μετά το διαχωρισμό που θα έχει υποστεί. Στην πραγματικότητα δεν σμίγει. Η Εικόνα 2 αναπαριστά πειραματικά στοιχεία ροής αέρα κατά μήκος μίας αεροτομής. Ίχνη καπνού αισθητοποιούν τις γραμμές ροής.

Η εικόνα δείχνει το μέτωπο του παρακείμενου αέρα πριν το διαχωρισμό (αριστερά). Καθώς ο αέρας περνάει κατά μήκος της πάνω επιφάνειας ταξιδεύει ακόμη πιο μακριά δημιουργώντας μία μετατόπιση μεταξύ του ανώτερου και του κατώτερου στρώματος αέρα (δεξιά). Αυτό καταρρίπτει τα επιχειρήματα που βασίζονται στις διαφορές των μηκών τροχιάς.

(ii) Χρησιμοποιώντας την έννοια κυκλοφορία

Σε αυτόν τον τύπο ερμηνειών η κατανομή των ταχυτήτων ερμηνεύεται χρησιμοποιώντας την έννοια κυκλοφορία. Αρχικά επιχειρείται η περιγραφή του δυναμικού ροής γύρω από την αεροτομή. Μετά,

υπερτίθεται μία ροή κυκλοφορίας με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύψει η στατική ροή γύρω από την αεροτομή. Η κυκλοφορία πρέπει να είναι τέτοια ώστε η ροή να είναι ομοιόμορφη στο πίσω μέρος της αεροτομής. Με αυτή τη διαδικασία επιτυγχάνεται μία ροή αέρα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η κατανομή ταχυτήτων και επομένως η κατανομή πιέσεων.

Η έννοια κυκλοφορία συνιστά μία εκλεπτυσμένη μαθηματική περιγραφή της κατανομής ταχυτήτων όχι όμως και την αιτία που προκαλεί την τελευταία.

(iii) Επιχειρήματα χωρίς ουσιαστική σημασία

Κάποια εγχειρίδια παρέχουν επιχειρήματα χωρίς ουσιαστική σημασία, όπως ο Cutnell (1998): “Εξαιτίας του σχήματος του φτερού ο αέρας ταξιδεύει γρηγορότερα κατά μήκος της καμπυλωμένης πάνω επιφάνειας από ό,τι κάνει στην πιο επίπεδη κάτω επιφάνεια.” Αυτός ο τύπος επιχειρημάτων καθιστά υπεύθυνη τη γεωμετρία της αεροτομής για τη συμπεριφορά των γραμμών ροής χωρίς να δίνει μία φυσική αιτία του γιατί και πώς οι ταχύτητες των ροών επηρεάζονται από την αεροτομή.

Αυτό αφήνει λοιπόν ανοικτό το θεμελιώδες ερώτημα: πώς δημιουργείται η κατανομή ταχυτήτων γύρω από μία αεροτομή.

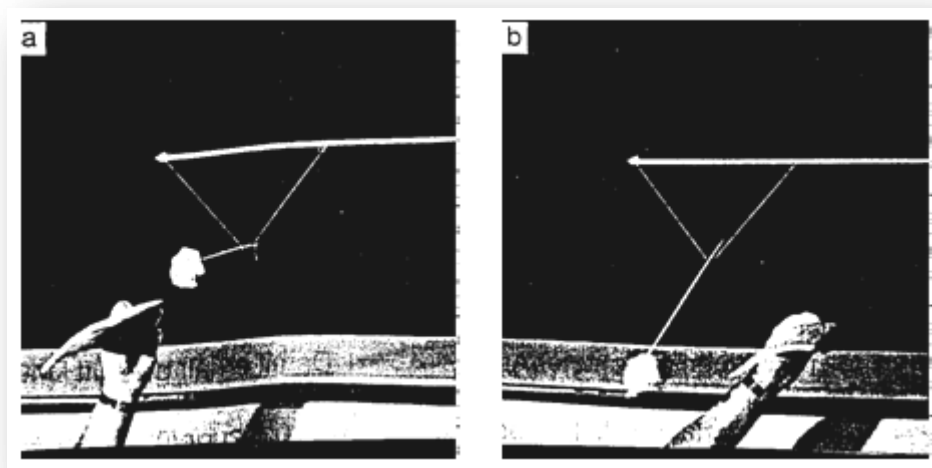
3. Μία γενική άποψη. Η αεροδυναμική άντωση ως μία δύναμη αντίδρασης καθώς ο αέρας επιταχύνεται προς τα κάτω

Για λόγους απλότητας αρχικά συζητάμε για την άντωση που προκαλείται από τον ρότορα ενός ελικοπτέρου ή την προωθητική δύναμη ενός έλικα ή ενός αεριωθούμενου. Σε αυτές τις περιπτώσεις σχηματίζεται ένα ρεύμα αέρα και ο αέρας επιταχύνεται. Για να επιταχυνθεί ο αέρας πρέπει να ασκηθεί σε αυτόν μία δύναμη [από τον ρότορα ή τον έλικα] και η δύναμη αντίδρασης ασκείται [από τον αέρα] στο ρότορα ή στον έλικα. Ποσοτικά η δύναμη αυτή ισούται με τη μεταβολή της ορμής του ρεύματος του αέρα:

$$F = \dot{m}v$$

Ουσιαστικά η ίδια Φυσική εφαρμόζεται και στην αεροτομή. Η αεροτομή δρα ως ένα ελαφρώς καμπυλωμένο επίπεδο το οποίο κινείται οριζόντια με μία μικρή κλίση: επιταχύνει τον αρχικά ακίνητο αέρα προς τα κάτω.

Αυτή η κατακόρυφη επιτάχυνση του αέρα μπορεί να επιδειχθεί με ένα απλό πείραμα. Ένα κομμάτι βαμβάκι ή ένα χαρτομάντιλο αναρτάται [δυνάμενο να κινηθεί] ελεύθερα ώστε να αισθητοποιήσει την κίνηση του αέρα. Στην Εικόνα 3α φαίνεται μία αεροτομή να κινείται οριζόντια κάτω από το βαμβάκι. Τότε αυτό ταλαντεύεται προς τα κάτω υποδεικνύοντας έτσι μία προς τα κάτω κίνηση του αέρα. Αν η αεροτομή κινηθεί πάνω από το βαμβάκι (Εικόνα 3β) παρατηρείται πάλι η ίδια προς τα κάτω κίνηση. Αυτό το πείραμα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να επιδειχθεί ποιοτικά η επίδραση της γωνίας προσβολής και της ταχύτητας [της αεροτομής] στην προς τα κάτω κίνηση του αέρα και συνεπώς στην άντωση.



Εικόνα 3. Ένα κομμάτι βαμβάκι ως ανιχνευτής της κίνησης του αέρα.

Η αεροτομή, όπως παρατηρείται από το αεροσκάφος, εκτρέπει την οριζόντια ροή του αέρα προς τα κάτω. Αυτή η κατακόρυφη κίνηση ονομάζεται κατώρευμα (downwash) και μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί. Μία κλωστή μπορεί να κολληθεί στο πίσω άκρο μίας αεροτομής. Αν η αεροτομή τοποθετηθεί στο ρεύμα αέρα, που παράγεται από ένα φυσητήριο ή έναν ανεμιστήρα, η κατεύθυνση της κλωστής ακολουθεί την κατεύθυνση του πίσω άκρου της αεροτομής αισθητοποιώντας την κατεύθυνση του ρεύματος αέρα πίσω από την αεροτομή. Αν η γωνία προσβολής μεταβληθεί τότε μεταβάλλεται επίσης και η κατεύθυνση της κλωστής. Αυτό επιδεικνύει ότι η κατεύθυνση της ροής του αέρα κοντά στην αεροτομή μπορεί να ρυθμίζεται από τη θέση της ίδιας της αεροτομής. Μία αεροτομή μπορεί να δημιουργηθεί από ένα κομμάτι χαρτόνι στο οποίο τα κολλάμε μεταξύ τους τα άκρα.

Από την ορμή της κατακόρυφης ροής του αέρα που προκαλείται από την αεροτομή μπορούν εύκολα να προκύψουν μερικές σημαντικές σχέσεις.

Άντωση και γωνία προσβολής: Η ροή του αέρα κοντά στην αεροτομή ακολουθεί το γεωμετρικό σχήμα της επιφάνειά της [φαινόμενο Coanda]. Το ρεύμα αέρα εκτρέπεται προς τα κάτω ανάλογα, κατά προσέγγιση, με τη γωνία προσβολής. Συνεπώς, η άντωση που προκύπτει είναι αντίστοιχα σχεδόν ανάλογη με τη γωνία προσβολής. Αυτό ισχύει για γωνίες μεταξύ -10° και 15° . Καθώς η γωνία προσβολής αυξάνεται (πάνω από ένα όριο) το ρεύμα αέρα σταματάει να ακολουθεί ομοιογενώς την επιφάνεια δημιουργώντας στροβίλους. Στην αεροπλοΐα το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «απώλεια στήριξης» (stall).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πίσω μέρος μίας εξαιρετικά καμπυλωμένης αεροτομής, η οποία χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη μικρών ταχυτήτων, κατευθύνεται προς τα κάτω. Ακόμη κι αν η γωνία

προσβολής είναι μηδέν ο αέρας πίσω από την αεροτομή έχει μία κατακόρυφη συνιστώσα ταχύτητας. Συνεπώς η αεροτομή προκαλεί την εμφάνιση δύναμης άντωσης.

Ταχύτητα και άντωση: Η γεωμετρία των γραμμών ροής παραμένει η ίδια ακόμη και αν η ταχύτητα διπλασιαστεί. Τότε, δύο παράγοντες διπλασιάζονται:

- Η μάζα του αέρα που εκτρέπεται προς τα κάτω στη μονάδα του χρόνου.
- Η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας ροής.

Συνδυάζοντας τα φαινόμενα προκύπτει ότι η δύναμη άντωσης αυξάνεται τέσσερις φορές αν διπλασιαστεί η ταχύτητα.

Άντωση και πυκνότητα του αέρα: Η δύναμη αντίδρασης που ασκείται από τον αέρα στο φτερό είναι ανάλογη προς τη μάζα του αέρα που επιταχύνεται κι επομένως ανάλογη με την πυκνότητα του αέρα. Σε ύψος 12000 μέτρων η πυκνότητα και η ατμοσφαιρική πίεση είναι περίπου το ένα τέταρτο των αντίστοιχων τιμών τους στην επιφάνεια της θάλασσας. Συνεπώς η δύναμη άντωσης μειώνεται στο ένα τέταρτο επίσης. Διπλασιασμός της ταχύτητας μπορεί να αντισταθμίσει αυτή την απώλεια.

4. Η μονοδιάστατη εξίσωση Euler και η δημιουργία πίεσης

Για να κατανοήσουμε την αρχή της κατανομής πιέσεων κατά μήκος της επιφάνειας μίας αεροτομής πρέπει να προσφύγουμε στις εξισώσεις Euler. Αυτές περιγράφουν τη σχέση μεταξύ της κλίσης της πίεσης και της επιτάχυνσης ασυμπίεστων ρευστών χωρίς τριβή. Ο Euler εφάρμοσε τους νόμους του Νεύτωνα στην κίνηση των ρευστών. Θα χρησιμοποιήσουμε την πιο απλή μορφή, την μονοδιάστατη εξίσωση Euler, η οποία ισχύει για σταθερή ροή που περιορίζεται από ρευματικές γραμμές (Tuckenbrodt and Schichtling 1967; Weltner, 1990). Βαρυτικές επιδράσεις δεν λαμβάνονται υπόψη.

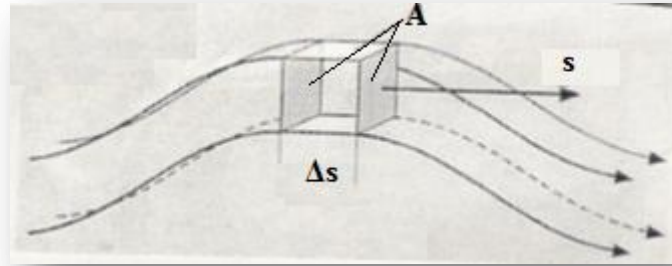
Θεωρούμε έναν στοιχειώδη όγκο (Εικόνα 4). Για τη μάζα Δm του ρευστού σε αυτό τον όγκο η βασική εξίσωση είναι η εξής:

$$F = \Delta m \cdot a$$

Θα αναλύσουμε ξεχωριστά την εφαπτομενική συνιστώσα της επιτάχυνσης (Εικόνα 4) και την κάθετη συνιστώσα της επιτάχυνσης (Εικόνα 5).

4.1 Εφαπτομενική συνιστώσα της επιτάχυνσης

Η εφαπτομενική συνιστώσα της επιτάχυνσης στην κατεύθυνση s είναι το αποτέλεσμα μίας δύναμης. Μία δύναμη στην κατεύθυνση s προκύπτει όταν η πίεση στην πίσω έδρα του στοιχειώδους όγκου είναι υψηλότερη από την πίεση στην μπροστινή έδρα. Να τονιστεί επομένως ότι επιτάχυνση στην κατεύθυνση s προκαλείται από μία μείωση της πίεσης στην κατεύθυνση s [1].



Εικόνα 4. Εφαπτομενική συνιστώσα της επιτάχυνσης ενός όγκου μέσα σε καμπυλωμένες ρευματικές γραμμές.

$$F = -A \frac{dp}{ds} \Delta s = \Delta m \cdot \ddot{s}$$

Θέτοντας όπου $\Delta m = \rho A \Delta s$ και $\ddot{s} = \frac{dv}{dt}$ προκύπτει

$$-\frac{dp}{ds} = \rho \frac{dv}{dt}$$

Η εξίσωση μετασχηματίζεται στην εξής:

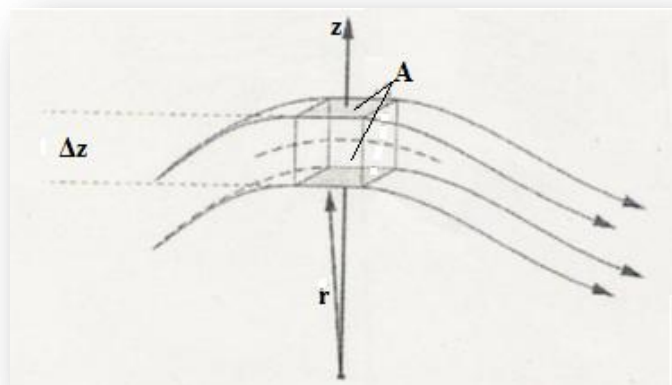
$$-\int_1^2 dp = \rho \int_1^2 \frac{ds \cdot dv}{dt} = \rho \int_1^2 v dv$$

Λύνοντας το ορισμένο ολοκλήρωμα καταλήγουμε στην εξίσωση του Μπερνούλι [2]:

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} (v_1^2 - v_2^2)$$

4.2 Κάθετη συνιστώσα της επιτάχυνσης

Μία κάθετη συνιστώσα της επιτάχυνσης εντός καμπυλωμένων ρευματικών γραμμών απαιτεί μία μεγαλύτερη πίεση στην εξωτερική πλευρική έδρα σχέση με την εσωτερική πλευρική έδρα.



Εικόνα 5. Κάθετη συνιστώσα της επιτάχυνσης ενός στοιχειώδους όγκου εντός καμπυλωμένων γραμμών ροής.

Σύμφωνα με την Εικόνα 5 ισχύει [κατ' αναλογία με ότι από την εικόνα 4]:

$$F = -A \frac{dp}{dz} \Delta z = \Delta m \cdot \ddot{z}$$

Αντικαθιστώντας τη μάζα του στοιχειώδους όγκου $\Delta m = \rho A \Delta z$ καταλήγουμε ότι:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho \cdot \ddot{z}$$

Η επιτάχυνση στην κατεύθυνση του κέντρου καμπυλότητας είναι γνωστή. Πρόκειται για την κεντρομόλο επιτάχυνση που συναντάται στην κυκλική κίνηση.

$$\ddot{z} = -\frac{v^2}{R}$$

όπου R είναι η ακτίνα καμπυλότητας και v η ταχύτητα ροής.

Τελικά προκύπτει [3]:

$$\frac{dp}{dz} = \rho \frac{v^2}{R}$$

Καμπυλωμένες ρευματικές γραμμές εντός μίας ροής αέρα σχετίζονται με την κλίση της πίεσης. Δυστυχώς η εξίσωση αυτή δεν μπορεί να ολοκληρωθεί απευθείας. Η ολοκλήρωση απαιτεί τη γνώση ολόκληρου του πεδίου ροής.

Επίσης, η ανάλυση της κάθετης συνιστώσας της επιτάχυνσης του αέρα εξυπηρετεί ως μία ερμηνεία για τη δημιουργία περιοχών με χαμηλότερη ή μικρότερη πίεση για τη ροή γύρω από μία αεροτομή.

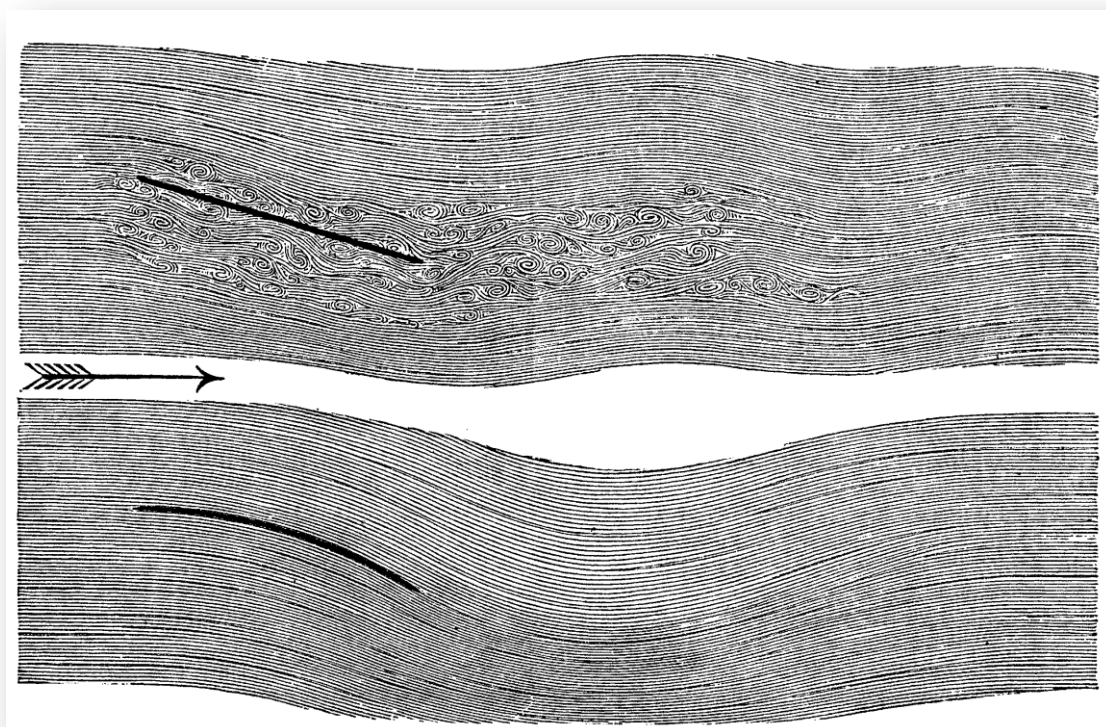
Μιλάμε για σταθερή ροή κοντά σε μία αεροτομή. Το ρεύμα αέρα που περνάει την αεροτομή δεν μπορεί να διεισδύσει την επιφάνεια και εξαναγκάζεται να κινηθεί σε ρευματικές γραμμές που περιβάλλουν την αεροτομή και ακολουθούν το γεωμετρικό της σχήμα. Κοντά στην αεροτομή η ροή εξαναγκάζεται να προσεγγίσει τη γεωμετρία της τελευταίας. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο Coanda (Weltner, xx). Η κίνηση κοντά στην αεροτομή είναι μία εξαναγκασμένη κίνηση η οποία προσδιορίζεται από το σχήμα της αεροτομής και τη θέση της τελευταίας σε σχέση με την κατεύθυνση της ροής (γωνία προσβολής).

Στην πάνω επιφάνεια της αεροτομής η επιτάχυνση κατευθύνεται προς το κέντρο καμπυλότητας, δηλαδή κυρίως προς τα κάτω. Η απαραίτητη κλίση πίεσης δημιουργείται από μία μικρή «αφαίρεση» αέρα από την επιφάνεια η οποία μειώνει την πίεση και δημιουργεί μία κλίση πίεσης στην κάθετη κατεύθυνση. Έτσι προκύπτει μία κλίση πίεσης η οποία εξασφαλίζει ότι η ροή ακολουθεί το σχήμα της επιφάνειας. Με απλά λόγια κάποιος μπορεί να πει ότι η κλίση πίεσης δημιουργείται από την κεντρομόλο δύναμη του αέρα που ρέει γύρω από την επιφάνεια. Από την καμπυλότητα των γραμμών ροής μπορεί να υπολογιστεί η κλίση της πίεσης και συνεπώς η κατανομή της πίεσης στην επιφάνεια μίας αεροτομής.

Στην πάνω επιφάνεια η πίεση καθώς πηγαίνουμε προς τα έξω πρέπει να αυξάνεται. Καθώς έχουμε την κανονική ατμοσφαιρική πίεση σε μεγαλύτερη απόσταση αυτό σημαίνει ότι έχουμε μικρότερη πίεση στην επιφάνεια.

Επιπλέον, μία συνέπεια της χαμηλότερης πίεσης στην πάνω επιφάνεια είναι η θετική εφαπτομενική επιτάχυνση του εισερχόμενου αέρα. Το πρόβλημα του πώς να εξηγήσουμε την ταχύτερη κίνηση του αέρα στην πάνω επιφάνεια τώρα λύθηκε. Είναι η χαμηλότερη πίεση που υποχρεώνει τον αέρα να επιταχυνθεί και να κινηθεί γρηγορότερα.

5. Σημειώσεις πάνω στην αρχή της συνηθισμένης ερμηνείας



Εικόνα 6. Εκτροπή της ροής αέρα από μία επίπεδη επιφάνεια [η μαύρη γραμμή πάνω αριστερά] και από μία καμπυλωμένη επιφάνεια [η μαύρη γραμμή κάτω αριστερά]. [το βέλος δειχνει την κατεύθυνση της ροής του αέρα]

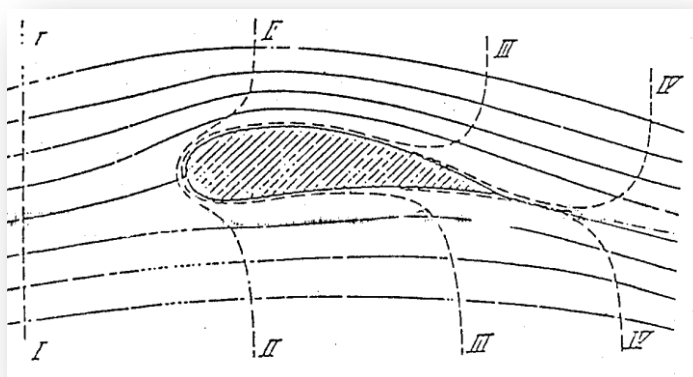
Περισσότερα από 100 χρόνια πριν ο Otto Lilienthal (Lilienthal, 1889) ερμήνευσε την αεροδυναμική άντωση σωστά και ξεκάθαρα. Σύγκρινε μία καμπυλωμένη επιφάνεια με μία επίπεδη επιφάνεια. Αναφερόμενος στην Εικόνα 6 έγραψε: «Ο αέρας που περνάει από τις επιφάνειες επιταχύνεται προς τα κάτω και στις δύο περιπτώσεις. Ο αέρας που διέρχεται από το κάτω μέρος κάθε επιφάνειας πρέπει να κινηθεί προς τα κάτω ενώ ο αέρας που περνάει από την πάνω μεριά πρέπει αντίστοιχα να γεμίσει το χώρο πάνω από κάθε επιφάνεια. Η εκτροπή του ρεύματος αέρα προς τα κάτω συμβαίνει απότομα στο

μπροστινό άκρο μίας επίπεδης επιφάνειας [πάνω μέρος της εικόνας]. Αυτό οδηγεί στη δημιουργία στροβίλων και δινών. Τα πράγματα είναι διαφορετικά με την καμπυλωμένη επιφάνεια [κάτω μέρος της εικόνας]. Η ροή του αέρα καθώς περνάει το μπροστινό άκρο της θα εκτραπεί σταδιακά από την οριζόντια κατεύθυνσή της και θα κινηθεί προς τα κάτω. Η ροή κερδίζει μία οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας χωρίς να υποστεί κάποια ξαφνική σύγκρουση. Είναι προφανές ότι μόνο το καμπυλωμένο επίπεδο, δεδομένου ότι η κατεύθυνσή του στο μπροστινό άκρο είναι παράλληλη με την αρχική κατεύθυνση ροής, θα κατευθύνει το ρεύμα αέρα προς τα κάτω με μικρές αναταράξεις σε μία κατεύθυνση η οποία δίνεται από την εφαπτόμενη στο πίσω μέρος της επιφάνειας. Η κατακόρυφη ορμή του ρεύματος αέρα προκαλεί την προς τα πάνω δύναμη που ασκείται πάνω στην αεροτομή.»

Η ερμηνεία που βασίζεται στη σχέση μεταξύ της αεροδυναμικής άντωσης και της επιτάχυνσης ενός κινούμενου προς τα κάτω ρεύματος αέρα επικράτησε στα εγχειρίδια σε αυτή την απλή μορφή μέχρι το 1920 χωρίς να αναλυθεί περαιτέρω. Από το 1920, οπότε η αεροπλοΐα κέρδισε περισσότερο το ενδιαφέρον της επιστήμης και του κοινού, η ερμηνεία που βασίζεται στο νόμο του Μπερνούλι εμφανίστηκε και εκτόπισε την ερμηνεία που βασίζεται στη δράση και αντίδραση.

Σε κάθε περίπτωση ήταν απαραίτητο η ερμηνεία της άντωσης με το νόμο του Μπερνούλι να συμπληρώνεται δίνοντας μία αιτία για την υψηλότερη ταχύτητα ροής στο πάνω μέρος της επιφάνειας του φτερού.

Η αρχή της λανθασμένης ερμηνείας με τα μήκη τροχιών μπορεί να βρεθεί σε ένα διάγραμμα (Εικόνα 7) που δίνεται από τον Prandtl (1921).



Εικόνα 7. Θέση σωματιδίων αέρα κατά τη διάρκεια της ροής γύρω από μία αεροτομή σε διαδοχικές χρονικές στιγμές I, II, III, IV.

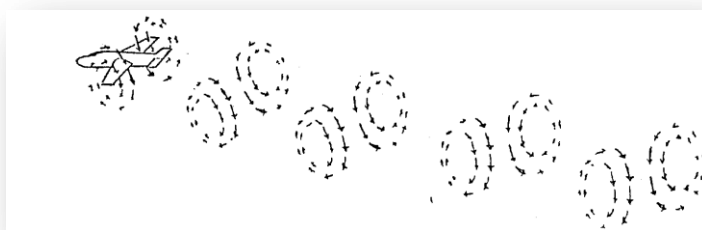
Οι διακεκομμένες γραμμές συνδέουν αρχικά παρακείμενους όγκου αέρα. Με αυτό το διάγραμμα ο Prandtl προσπάθησε να δείξει ότι ο αέρας στα εσωτερικά στρώματα κολλάει στην επιφάνεια. Το διάγραμμα αυτό δεν είναι σωστό. Υπαινίσσεται ότι οι όγκοι παραμένουν στην ίδια κατακόρυφη θέση και επίσης ότι αρχικά παρακείμενοι όγκοι αέρα συναντιούνται ξανά στο τέλος της αεροτομής. Αυτό το

διάγραμμα δεν απεικονίζει τη μετατόπιση φάσης της Εικόνας 2, κάτι το οποίο φαίνεται ότι δεν είχε παρατηρηθεί από τον Prandtl.

Διαγράμματα αυτού του τύπου είναι πιθανό να οδήγησαν ερευνητές στην υπόθεση ότι παρακείμενοι όγκοι αέρα συναντιούνται ξανά αφού περάσουν την αεροτομή.

6. Η ροή και το σύστημα των δινών

Σχετικά με την ολική ροή αέρα γύρω από μία αεροτομή πρέπει να προσθέσουμε κάποιες λεπτομέρειες. Εφόσον η αεροτομή δημιουργεί χαμηλή πίεση στο πάνω μέρος της και υψηλή πίεση στο κάτω μέρος της αυτό προκαλεί πλευρικές περιστροφικές κινήσεις στα άκρα του φτερού. Κάτω από το φτερό ο αέρας κινείται προς τα έξω, πάνω από το φτερό κινείται προς τα μέσα. Πέρα από τα άκρα της αεροτομής ο αέρας κινείται ομοιόμορφα προς τα πάνω. Έτσι σχηματίζεται ένα σύστημα δινών που αναπαριστάται στην Εικόνα 8.



Εικόνα 8. Σύστημα δινών πίσω από ένα αεροσκάφος.

Οι δίνες πίσω από το φτερό κατευθύνονται σύμφωνα με τη φορά των δεικτών του ρολογιού και αντίστροφα από την άλλη πλευρά. Το σύστημα των δινών είναι αξιοσημείωτα σταθερό και κινείται προς τα κάτω ως σύνολο.

7. Εν κατακλείδι

Η συμβατική ερμηνεία της αεροδυναμικής άντωσης η οποία στηρίζεται στο νόμο Μπερνούλι και στις διαφορές ταχυτήτων συγχέει την αιτία με το αποτέλεσμα. Η ταχύτερη ροή στο πάνω μέρος μίας αεροτομής είναι η συνέπεια της χαμηλής πίεσης και όχι η αιτία της.

Η δημιουργία άντωσης από μία αεροτομή μπορεί να ερμηνευτεί σωστά, απλά λαμβάνοντας υπόψη την προς τα κάτω επιτάχυνση του αέρα. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει να παράγουμε απευθείας και με συνέπεια την εξάρτηση της άντωσης από τη γωνία προσβολής, την ταχύτητα ροής και την πυκνότητα του αέρα.

Μία λεπτομερής ερμηνεία της δημιουργίας διαφορών πίεσης είναι δυνατή εάν η κάθετη συνιστώσα της επιτάχυνσης ληφθεί επίσης υπόψη.

Βιβλιογραφία

- Anderson, D. and Scott E. (2001). *Understanding Flight*, Mac Graw Hill
- Baumann, R. and Schwaneberg R. (1994). Interpretation of Μπερνούλι's Equation, *The Physics Teacher*, 32, Nov. 1994, pp. 478 – 488
- Cutnell, J. (1998). *Physics*, Chichester, New York
- Fletcher, N. H. (1975). Mechanics of Flight, *Physics Education* , 1975, S. 385-389
- Halliday-Resnick (1976). *Physics*, New York.
- Lilienthal, O. (1889). *Der Vogelflugals Grundlage der Fliegekunst. Ein Beitrag zur Systematik der Flugtechnik*, Berlin
- Mansfield, M. and Sullivan, O. (1998). *Understanding Physics*, Chichester, New York
- Niermann, K. (1989). *Darstellung der Aerodynamik in Schulphysikbüchern*, Alsbach/Bergstrase
- Prandtl, L. (1921). *Applications of modern Hydrodynamics to Aeronautics*, NASA Report, 1921, 116, pp. 161-182
- Smith, N. F. (1972). Bernoulli and Newton and Fluid Mechanics, *The Physics Teacher*, 10, S. 451-455
- Tipler, P. and Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers*, 6th Edition
- Tuckenbrodt, E. and Schlichting H. (1967). *Aerodynamik des Flugzeuges. Grundlagen aus der Stromungstechnik Aerodynamik des Tragflügels (Teil I)*, Berlin/Heidelberg/New York
- Weltner, K. (1987). A comparison of explanations of aerodynamical lifting force, *American Journal of Physics*, 55, 1, pp. 50-54
- Weltner, K. (1990). Aerodynamic Lifting Force, *The Physics Teacher*, 2, 28, pp. 78-82
- Weltner, K. (χχ). Misinterpretation of Bernoullis law, submitted to *European Journal of Physics*.

Σχόλια του επιμελητή

1. Είναι $F = -A\Delta p$, $\Delta p = \frac{dp}{ds}\Delta s$. Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο γεγονός ότι η αύξηση της πίεσης στην κατεύθυνση της ροής του ρευστού παράγει επί της μάζας δύναμη προς την αντίθετη κατεύθυνση.
2. Αυτός ο τρόπος με τον οποίο καταλήξαμε στη διατύπωση του νόμου Μπερνούλι είναι πιο διαφωτιστικός σε σχέση με αυτόν που χρησιμοποιείται συνήθως στα εγχειρίδια, επειδή δείχνει τη Φυσική που υπάρχει πίσω από το νόμο. Η ροή του ρευστού επιταχύνεται ως αποτέλεσμα της μείωσης της πίεσης. Δείχνει σαφώς ότι η επιτάχυνση δεν μπορεί ποτέ να είναι η αιτία της μείωσης της πίεσης (βλ. προλογικό σημείωμα, Weltner και Ingelman – Sundberg, 2011).
3. Από την εξίσωση $\frac{dp}{dz} = \rho \frac{v^2}{R}$ προκύπτει ότι αν οι ρευματικές γραμμές είναι οριζόντιες ευθείες (αν δηλ. $R \rightarrow \infty$, τότε $\frac{dp}{dz} \rightarrow 0$, δηλ. δεν υπάρχει βαθμίδα πίεσης. Σκεφτείτε τι σημαίνει αυτό για το νόμο του Μπερνούλι που συνήθως εφαρμόζεται από τα βιβλία.



Ο Klaus Weltner γεννήθηκε στις 1.8.1927 στο Rinteln της Γερμανίας. Σπούδασε Φυσική στο Ανόβερο και στο Μπρίστολ. Πήρε το διδακτορικό του στη Φυσική πλάσματος το 1956. Δίδαξε στο Πανεπιστήμιο του Osnabrück στη Γερμανία (1956-1969), στο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου (1969-1970) και στο Πανεπιστήμιο της Φρανκφούρτης (1970-1993). Μετά τη συνταξιοδότησή του το 1993 συνέχισε να διδάσκει ως επισκέπτης καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Σαλβαντόρ στη Βραζιλία (1993-2002). Μεταξύ των βιβλίων που έχει γράψει είναι τα εξής: "Measurement of Verbal Information in Psychology and Education" 1973, "Autonomes Lernen" 1978, "Mathematics for Scientists and Engineers" 1994 και "Flugphysik" (Physics of Flight) 1999.

Διερεύνηση του προσωπικού ενδιαφέροντος των αριστούχων μαθητών της Γ' Λυκείου για το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής, με τη χρήση του C.L.A.S.S.

Χριστίνα Ηλ. Κωσταρά και Κωνσταντίνος Θ. Κώτσης

Οι μαθητές εκτός από τις αρχικές αντιλήψεις που έχουν για έννοιες και φαινόμενα της Φυσικής, έχουν ήδη διαμορφωμένες στάσεις και πεποιθήσεις οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την εκπαιδευτική διαδικασία, τη διαδικασία της μάθησης αλλά και τη μάθηση ως αποτέλεσμα (Sahin, 2009). Έρευνες έχουν δείξει ότι οι περισσότεροι μαθητές έχουν στάσεις και πεποιθήσεις για το μάθημα της Φυσικής διαφορετικές από αυτές που έχει ένας έμπειρος Φυσικός (Sahin, 2010). Μερικοί μαθητές θεωρούν τη Φυσική σαν αδύναμα συνδεδεμένες πληροφορίες που πρέπει να μάθουν ξεχωριστά, ενώ άλλοι βλέπουν τη Φυσική σαν ένα σύνολο ιδεών που πρέπει να μάθουν (Hammer 1994). Κάποιοι μαθητές αντιλαμβάνονται τη μάθηση της Φυσικής ως απομνημόνευση τύπων και επίλυση προβλημάτων, ενώ άλλοι πιστεύουν ότι η μάθηση περιλαμβάνει την ανάπτυξη μιας βαθύτερης εννοιολογικής κατανόησης (Κώτσης και Στύλος, 2011).

Βιβλιογραφικά δεδομένα έχουν δείξει ότι οι στάσεις και οι πεποιθήσεις των μαθητών συνδέονται και με τις επιδόσεις τους. Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης προέκυψε πως οι πεποιθήσεις που αφορούν τη δομή και τη σταθερότητα της γνώσης της Φυσικής είναι καλοί προγνωστικοί δείκτες της κατανόησης της Φυσικής (Stathoroulou and Vosniadou, 2007). Επίσης, φοιτητές με ευνοϊκές πεποιθήσεις για το μάθημα της Φυσικής πετυχαίνουν υψηλότερα μαθησιακά αποτελέσματα (Perkins *et al*, 2005). Επίσης, η έννοια του ενδιαφέροντος θεωρείται ως βασική προϋπόθεση-κίνητρο για την ενασχόληση με μια δραστηριότητα (Schiefele, 1999; Krapp, 2002).

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση του προσωπικού ενδιαφέροντος των αριστούχων μαθητών της Γ' Λυκείου για το μάθημα της Φυσικής και της σχέσης του με το φύλο.

Μεθοδολογία

Πληθυσμός της Μελέτης

Στην παρούσα έρευνα συμμετείχαν 316 πρωτοετείς φοιτητές της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, οι αριστούχοι μαθητές της Γ' Λυκείου που είχαν υψηλό βαθμό πρόσβασης στο Πανεπιστήμιο. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε δυο συνεχόμενα ακαδημαϊκά έτη.

Ερωτηματολόγιο της Μελέτης

Η συλλογή των δεδομένων από τους συμμετέχοντες στη μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια κλειστού ερωτηματολογίου. Το ερωτηματολόγιο αυτό απαρτίζεται από δυο μέρη:

- α) το πρώτο μέρος περιλαμβάνει ερωτήσεις που αφορούν το φύλο, την κατεύθυνση σπουδών στο λύκειο και το ενδιαφέρον τους για το μάθημα της Φυσικής, και
- β) το δεύτερο μέρος ερωτήσεις που προέρχονται από το C.L.A.S.S..

Το C.L.A.S.S. είναι ένα εργαλείο με το οποίο εξετάζονται οι πεποιθήσεις και οι στάσεις των μαθητών/φοιτητών στις Φυσικές Επιστήμες (Adams *et al*, 2006) και στηρίχθηκε στις εξής έρευνες: (α) the Maryland Physics Expectations Survey (Redish *et al*, 1998), (β) the Views About Science Survey (Halloun and Hestenes, 1985), και (γ) the Epistemological Beliefs Assessment about Physical Science (Elby, 2001). Σκοπός των ερευνών αυτών ήταν να μελετήσουν τις στάσεις, τις πεποιθήσεις, τις προσδοκίες των μαθητών αλλά και φοιτητών που διδάσκονται εισαγωγικά μαθήματα Φυσικής σχετικά με την φύση της γνώσης και της μάθησης στις φυσικές επιστήμες, τη σχέση μεταξύ φυσικού και πραγματικού κόσμου. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών έδειξαν σημαντική διαφοροποίηση στις απόψεις που είχαν αρχάριοι και έμπειροι στο γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής, και πως οι αρχικές πεποιθήσεις και στάσεις τους επηρέαζαν σημαντικά την απόδοσή τους στο μάθημα της Φυσικής.

Το εργαλείο C.L.A.S.S. περιλαμβάνει 8 κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται 42 δηλώσεις των συμμετεχόντων σχετικά με τις πεποιθήσεις και τις στάσεις τους στις Φυσικές Επιστήμες. Κάθε κατηγορία περιλαμβάνει από 4 έως 8 δηλώσεις.

Οι 8 κατηγορίες αφορούν:

- α) Τη σύνδεση με τον πραγματικό κόσμο
- β) Το προσωπικό ενδιαφέρον
- γ) Την προσπάθεια κατανόησης
- δ) Τις εννοιολογικές συνδέσεις
- ε) Την εφαρμογή της εννοιολογικής κατανόησης
- στ) Την επίλυση προβλημάτων
- ζ) Την εμπιστοσύνη τους στην επίλυση προβλημάτων
- η) Την ικανότητά τους στην επίλυση προβλημάτων

Στην παρούσα εργασία εστιάσαμε στην κατηγορία «Προσωπικό Ενδιαφέρον» και διερευνήθηκε εάν οι συμμετέχοντες έχουν προσωπικό ενδιαφέρον για το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής.

Στην παραπάνω κατηγορία περιλαμβάνονται οι εξής δηλώσεις:

1. *Νομίζω πως η Φυσική βιώνεται στην καθημερινή ζωή.*
2. *Δεν είμαι ικανοποιημένος μέχρις ότου κατανοήσω το γιατί και το πώς κάτι λειτουργεί.*
3. *Μελετώ Φυσική για να αποκτήσω γνώσεις που θα είναι χρήσιμες στη ζωή μου έξω από το σχολείο.*
4. *Μου αρέσει να επιλύω προβλήματα Φυσικής.*
5. *Η γνώση της Φυσικής αλλάζει τις ιδέες μου για το πώς λειτουργεί ο κόσμος.*
6. *Λογικά δεξιότητες που χρησιμοποιούνται στη Φυσική μπορεί να είναι χρήσιμες για μένα στην καθημερινή ζωή μου.*

Οι απαντήσεις των φοιτητών καταγράφηκαν με τη βοήθεια μιας πενταβάθμιας κλίμακας με την εξής αντιστοίχιση:

1=Διαφωνώ πολύ

2=Διαφωνώ

3=Αβέβαιος

4=Συμφωνώ

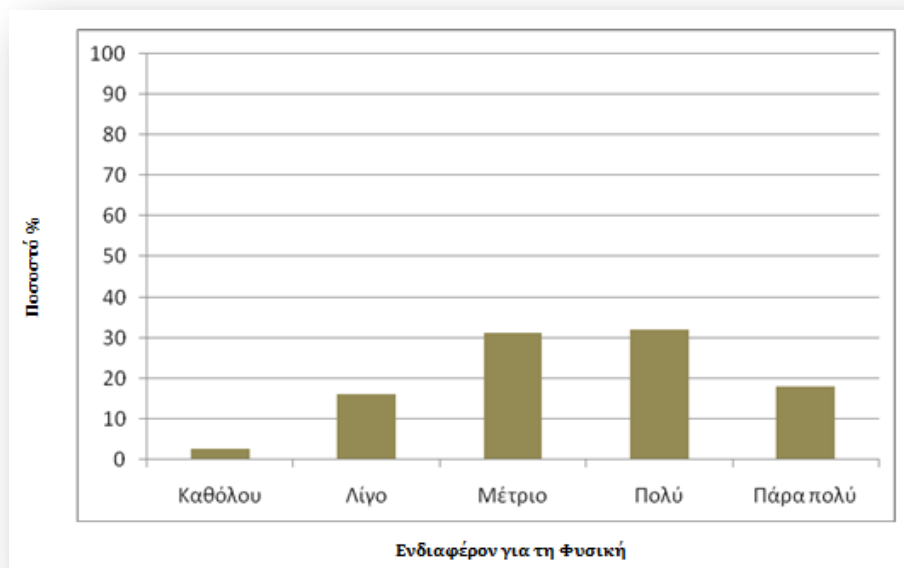
5=Συμφωνώ πολύ

Οι απαντήσεις «Συμφωνώ» και «Συμφωνώ πολύ» στις δηλώσεις του C.L.A.S.S. αντιστοιχούν στην άποψη που έχει διαμορφώσει ένας έμπειρος καθηγητής Φυσικής και στο «επιθυμητό ποσοστό» (percent favourable), ενώ οι απαντήσεις «Διαφωνώ» και «Διαφωνώ πολύ» που δε συμφωνούν με την άποψη ενός έμπειρου φυσικού αντιστοιχούν στο «μη επιθυμητό ποσοστό».

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Ο πληθυσμός της παρούσας έρευνας είναι 316 πρωτοετείς φοιτητές της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων οι οποίοι ακολούθησαν τη θετική κατεύθυνση στο Λύκειο. Το 54% του πληθυσμού αποτελούσαν τα αγόρια, ενώ το 46% τα κορίτσια.

Αρχικά οι φοιτητές κλήθηκαν να δηλώσουν το ενδιαφέρον τους για το μάθημα της Φυσικής. Οι απαντήσεις που καταγράψαμε φαίνονται στο Σχήμα 1. Από τις απαντήσεις των φοιτητών προκύπτει πως το μεγαλύτερο ποσοστό των φοιτητών παρουσιάζουν μέτριο και πολύ μεγάλο ενδιαφέρον (63.29%) για το μάθημα της Φυσικής, ενώ μικρότερο ποσοστό παρουσιάζει πάρα πολύ μεγάλο (18.04%) και λίγο (16.14%) ενδιαφέρον για το μάθημα.



Σχήμα 1. Η κατανομή των απαντήσεων των φοιτητών στην ερώτηση «Το ενδιαφέρον που δείχνετε για το μάθημα της φυσικής είναι: α) πάρα πολύ, β) πολύ, γ) μέτριο, δ) λίγο και ε) καθόλου»

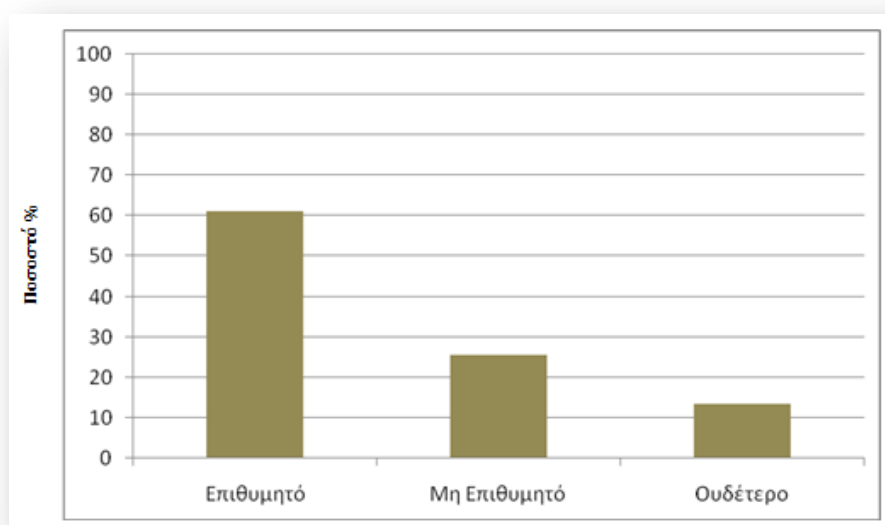
Στη συνέχεια (Πίνακας 1) παρουσιάζονται ξεχωριστά οι απαντήσεις των φοιτητών στις δηλώσεις του C.L.A.S.S. οι οποίες αφορούν το προσωπικό ενδιαφέρον τους για το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής.

A.A.	Δηλώσεις	Διαφωνώ/ Διαφωνώ πολύ (%)	Αβέβαιος (%)	Συμφωνώ/ Συμφωνώ πολύ (%)
1	Νομίζω πως η Φυσική βιώνεται στην καθημερινή ζωή	17,41	11,39	71,2
2	Δεν είμαι ικανοποιημένος μέχρις ότου κατανοήσω το γιατί και το πώς κάτι λειτουργεί	12,97	12,03	75,00
3	Μελετώ Φυσική για να αποκτήσω γνώσεις που θα είναι χρήσιμες στη ζωή μου έξω από το σχολείο	51,90	18,04	30,06
4	Μου αρέσει να επιλύω προβλήματα Φυσικής	30,07	13,92	56,01
5	Η γνώση της Φυσικής αλλάζει τις ιδέες μου για το πώς λειτουργεί ο κόσμος	27,85	14,87	57,28
6	Λογικές δεξιότητες που χρησιμοποιούνται στη Φυσική μπορεί να είναι χρήσιμες για μένα στην καθημερινή ζωή μου	7,28	16,14	76,58

Πίνακας 1. Κατανομή απαντήσεων στις δηλώσεις των φοιτητών που αφορούν το προσωπικό ενδιαφέρον για το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής.

Μεγάλο ποσοστό των φοιτητών (71.2%) αναγνωρίζουν πως η Φυσική βιώνεται στην καθημερινή πράξη και πως οι γνώσεις και δεξιότητες που αποκτούν αλλάζουν τις ιδέες τους για το πώς λειτουργεί ο κόσμος αλλά και για ό,τι παρατηρούν στην καθημερινή ζωή. Παρόλα αυτά είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι ένας στους τρεις φοιτητές δεν μελετά το μάθημα της Φυσικής με σκοπό την απόκτηση γνώσεων που θα είναι χρήσιμες εκτός των απαιτήσεων του σχολείου.

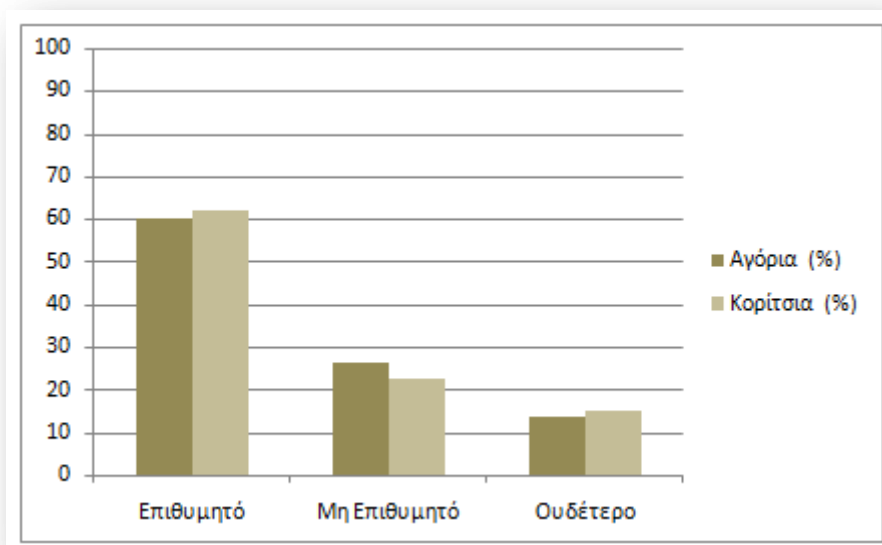
Το «επιθυμητό ποσοστό» και το «μη επιθυμητό ποσοστό» που προκύπτει από τις παραπάνω ερωτήσεις για όλους τους φοιτητές που συμμετείχαν στη μελέτη φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Η κατανομή του «επιθυμητού» και του «μη επιθυμητού» ποσοστού. Το «επιθυμητό» ποσοστό αναφέρεται στο ποσοστό των απαντήσεων «Συμφωνώ» και «Συμφωνώ πολύ» και αντιστοιχεί στις απόψεις που έχει διαμορφώσει ένας έμπειρος καθηγητής, ενώ το «μη επιθυμητό» ποσοστό αναφέρεται στο ποσοστό των απαντήσεων «Διαφωνώ» και «Διαφωνώ πολύ» και δεν αντιστοιχεί στις απόψεις που έχει ένας έμπειρος καθηγητής.

Από το Σχήμα 2 προκύπτει ότι 6 στους 10 φοιτητές εμφανίζουν επιθυμητά ποσοστά προσωπικού ενδιαφέροντος για τη Φυσική, σχεδόν 3 στους 10 εμφανίζουν μη επιθυμητά ποσοστά και 1 στους 10 παρουσιάζει ουδέτερο ενδιαφέρον.

Στο Σχήμα 3 φαίνεται το «επιθυμητό» ποσοστό και το «μη επιθυμητό» ποσοστό που προκύπτει από τις παραπάνω ερωτήσεις για τους φοιτητές που συμμετείχαν στη μελέτη σε σχέση με το φύλο. Δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα αγόρια και τα κορίτσια.



Σχήμα 3. Η κατανομή του «επιθυμητού» και του «μη επιθυμητού» ποσοστού ως προς το φύλο. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται συγκριτικά τα ποσοστά αγοριών/κοριτσιών για το «επιθυμητό» και «μη επιθυμητό» ποσοστό καθώς και όσοι έχουν ουδέτερη απάντηση.

Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν οι στάσεις και οι πεποιθήσεις των φοιτητών στην κατηγορία «Προσωπικό Ενδιαφέρον» του εργαλείου C.L.A.S.S.. Το εργαλείο C.L.A.S.S. βασίστηκε σε έρευνες που σκοπό είχαν να μελετήσουν τις στάσεις, τις πεποιθήσεις των μαθητών αλλά και φοιτητών που κάνουν εισαγωγικά μαθήματα Φυσικής σχετικά με την φύση της γνώσης και της μάθησης στις φυσικές επιστήμες. Τα αποτελέσματα των μελετών αυτών έδειξαν σημαντική διαφοροποίηση στις απόψεις που είχαν αρχάριοι και έμπειροι, και πως οι αρχικές πεποιθήσεις και στάσεις τους επηρέαζαν σημαντικά την απόδοσής τους στο μάθημα της Φυσικής.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς προκύπτει πως οι αριστούχοι μαθητές του εκπαιδευτικού μας συστήματος, δείχνουν μεγάλο ενδιαφέρον για το μάθημα της Φυσική χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ αγοριών και κοριτσιών. Οι φοιτητές αναγνωρίζουν πως μέσα από το μάθημα της Φυσικής αποκτούν δεξιότητες και γνώσεις χρήσιμες για την ερμηνεία των φαινομένων που παρατηρούν στην καθημερινή ζωή. Όμως, θεωρούν πως η μελέτη του μαθήματος της Φυσικής δεν προσφέρει γνώσεις που θα είναι χρήσιμες όταν ο μαθητής τελειώνει τη μαθητική του πορεία. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης είναι σε συμφωνία με τα αντίστοιχα που προέκυψαν από πρόσφατη έρευνα που αφορούσε την ανίχνευση του προσωπικού ενδιαφέροντος φοιτητών του Π.Τ.Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων για το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής με τη χρήση του C.L.A.S.S. (Κώτσης-Στύλος 2011).

Η στάση των φοιτητών απέναντι στο μάθημα της Φυσικής πιθανά απορρέει από τον τρόπο διδασκαλίας του μαθήματος στο Γυμνάσιο και το Λύκειο που συνήθως πραγματοποιείται μέσω

απομνημόνευσης θεωριών και κανόνων (Siorenta & Jimogiannis, 2008) παρά μέσω εκπαιδευτικών προσεγγίσεων όπου ο προβληματισμός και η σκέψη θα βοηθήσουν στην απόκτηση της γνώσης και στην ουσιαστική κατανόηση εννοιών και φαινομένων. Επιπρόσθετα μελέτες έχουν δείξει ότι οι μαθητές όταν ενδιαφέρονται για τα θέματα που πρόκειται να διδαχθούν τότε μπορεί να ασχοληθούν με επιστημονικές μαθησιακές δραστηριότητες (Osborne *et al*, 2003; Hidi *et al*, 2004).

Βιβλιογραφία

- Adams, W. K., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Dubson, M., Finkelstein, N. D. and Wieman, C. E (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics –Physics Education Research*, 2, 1-14.
- Elby, A. (2001). Helping physics students learn about learning. *Physics Education Research, American Journal of Physics Supplement*, 69(7), 52-57.
- Halloun, I. A. and Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1056.
- Hammer, D. (1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction*, 12(2), 151-183.
- Hidi, S., Renninger, K. A. and Krapp, A. (2004). Interest, a motivational variable that combines affective and cognitive functioning. In D. Y. Dai & R. J. Sternberg (Eds.), *Motivation, emotion, and cognition: Integrative perspectives on intellectual functioning and development* (pp. 89-115). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Krapp, A. (2002). Structural and dynamic aspects of interest development: theoretical considerations from an ontogenetic perspective. *Learning and Instruction*, 12, 383-409.
- Osborne, J., Simon, S., Collins, S. and Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- Perkins, K.K., Adams, W.K., Pollock, S.J., Finkelstein, N.D. and Wieman, C.E. (2005). Correlating student beliefs with student learning using the Colorado learning attitudes about science survey. In: Marx J, Heron P, Franklin S (eds) *Proceedings of 2004 physics education research conference*, Sacramento, CA. American Institute of Physics, pp 61-64.
- Redish, E.F., Saul, J.M. and Steinberg, R.N. (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*, 66, 212-224.
- Sahin, M. (2010). Effects of Problem-Based Learning on University Students' Epistemological Beliefs About Physics and Physics Learning and Conceptual Understanding of Newtonian Mechanics. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 266-275.
- Schiefele, U. (1999). Interest and learning from text. *Scientific Studies of Reading*, 3, 257-279.
- Siorenta, A. and Jimoyiannis, A. (2008). Physics instruction in secondary schools: an investigation of teachers' beliefs towards physics laboratory and ICT. *Research in Science & Technological Education*, 26, 185-202.
- Stathopoulou, C. and Vosniadou, S. (2007). Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding. *Contemporary Educational Psychology*, 32(3), 255-281.

Κώτσης, Κ. και Στύλος, Γ. (2011). Ανίχνευση του προσωπικού ενδιαφέροντος φοιτητών ΠΤΔΕ για το γνωστικό αντικείμενο της Φυσικής, με τη χρήση του C.L.A.S.S. *Πρακτικά 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 944-951.



Η Χριστίνα Κωσταρά είναι Χημικός, Υποψήφια Διδάκτωρ στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Τα ερευνητικά ενδιαφέροντα αφορούν στη διερεύνηση της ύπαρξης εναλλακτικών ιδεών σε έννοιες των Φυσικών Επιστημών στους αριστούχους μαθητές του εκπαιδευτικού συστήματος.



Ο Κωνσταντίνος Κώτσης είναι Φυσικός. Υπήρξε μέλος ΔΕΠ για 13 χρόνια στο Τμήμα Φυσικής, και από το 2000 είναι μέλος ΔΕΠ, σήμερα Καθηγητής στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα αφορούν, η Διδασκαλία της Φυσικής με πειράματα υλικών καθημερινής χρήσης, την Ιστορία της Φυσικής και τις εναλλακτικές απόψεις μαθητών.

Πειραματική διάταξη για τη μελέτη της ροής ρευστού σε σωλήνα

Σπύρος Χόρτης

Στο άρθρο αυτό περιγράφεται η κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης για τη μελέτη ρευστού σε κίνηση και η πειραματική επιβεβαίωση βασικών νόμων που διέπουν τα σχετικά φαινόμενα. Στο πρώτο μέρος δίνεται το θεωρητικό πλαίσιο των φαινομένων που θα μας απασχολήσουν. Στο δεύτερο μέρος περιγράφονται λεπτομερώς τα στάδια της κατασκευής της πειραματικής διάταξης. Στο τρίτο μέρος αξιοποιούμε τις μετρήσεις που παίρνουμε κατά τη λειτουργία της συσκευής και υπολογίζουμε πειραματικά τα μεγέθη ταχύτητα ροής και συντελεστή ιξώδους.

Στο υποστηρικτικό υλικό, το οποίο είναι διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο του περιοδικού (<http://physcool.web.auth.gr/index.php/2014-09-22-08-09-05/9>), δίνονται συνοπτικά οι βασικές αρχές και νόμοι που είναι απαραίτητοι για την κατανόηση των παρατηρήσεων κατά την πραγματοποίηση των πειραμάτων. Ο αναγνώστης που δεν είναι εξοικειωμένος με τις αντίστοιχες έννοιες ίσως θα μπορούσε να ξεκινήσει από εκεί την ανάγνωσή του.

Μέρος Α'. Θεωρητικό πλαίσιο

Ροόμετρο Venturi

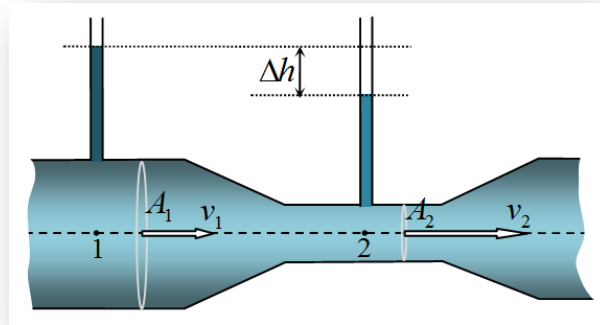
Μια σημαντική εφαρμογή της εξίσωσης Bernoulli (βλ. εξίσωση 2, υποστηρικτικό υλικό) είναι το ροόμετρο Venturi. Είναι μια διάταξη με την οποία μπορούμε να μετρήσουμε την ταχύτητα ροής ενός ρευστού σε σωλήνα. Σχηματικά η διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 1.

Εφαρμόζοντας το νόμο του Bernoulli μεταξύ των σημείων 1 και 2 έχουμε,

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Επίσης, από την εξίσωση συνέχειας (βλ. υποστηρικτικό υλικό, Σχήμα 1) παίρνουμε τη σχέση,

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



Σχήμα 1. Το ροόμετρο Venturi.

Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει,

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

Όμως η διαφορά των στατικών πιέσεων στα σημεία 1 και 2 ισούται με την υδροστατική πίεση της στήλης ύψους Δh του υγρού. Δηλαδή $p_1 - p_2 = \rho g \Delta h$. Άρα η ταχύτητα του ρευστού στο σημείο 1 θα είναι

$$v_1 = \sqrt{\frac{2g\Delta h}{\left(\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}} \quad (1)$$

Σωλήνας Pitot

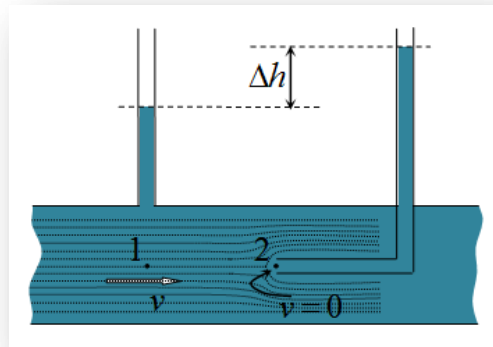
Στις αρχές του 18^{ου} αιώνα ο Γάλλος μηχανικός Henri Pitot επινόησε μια μέθοδο μέτρησης της ταχύτητας ενός ρευστού, που στηρίζεται στη διαφορά της στατικής πίεσης (static pressure) και της πίεσης στο σημείο ηρεμίας (stagnation pressure) δηλαδή του αθροίσματος στατικής και δυναμικής πίεσης. Η αρχή λειτουργίας του φαίνεται στο Σχήμα 2.

Στο σημείο 2, η ταχύτητα του ρευστού μηδενίζεται. Εφαρμόζοντας την εξίσωση Bernoulli για τα σημεία 1 και 2, έχουμε,

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v^2 = p_2$$

ή

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



Σχήμα 2. Η αρχή λειτουργίας του σωλήνα Pitot.

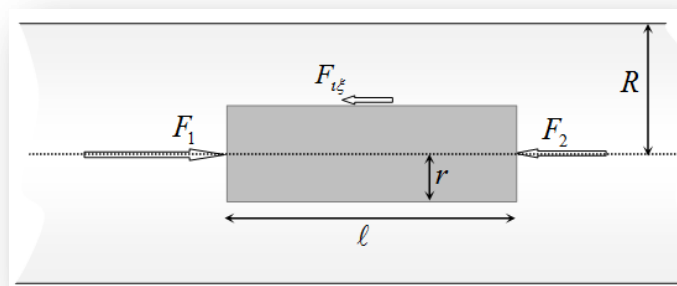
Αλλά η διαφορά πίεσης μεταξύ των σημείων 1 και 2 είναι ίση με την υδροστατική πίεση της στήλης υγρού ύψους Δh . Άρα,

$$v = \sqrt{2g\Delta h} \quad (2)$$

Πρέπει να σημειώσουμε ότι με την μέθοδο αυτή μετράμε την ταχύτητα του ρευστού σε συγκεκριμένο σημείο του πεδίου ροής (σημείο 2) στο οποίο μηδενίζεται η ταχύτητα.

Ροή πραγματικού ρευστού σε κυλινδρικό σωλήνα

Έστω ρευστό με ιξώδες που ρέει σε κυλινδρικό σωλήνα ακτίνας R . Αν υποθέσουμε ότι η ροή είναι μόνιμη και στρωτή, λόγω συμμετρίας η ταχύτητα ροής θα είναι μόνο συνάρτηση της απόστασης r από τον άξονα ($v = v(r)$). Έτσι τα διάφορα στρώματα του ρευστού μπορούν να θεωρηθούν ως κυλινδρικοί φλοιοί με άξονα τον άξονα του σωλήνα.



Σχήμα 3. Ροή σε κυλινδρικό σωλήνα.

Έστω κυλινδρικό τμήμα του ρευστού ακτίνας r και μήκους ℓ (Σχήμα 3). Στο τμήμα αυτό ασκούνται δύο αντίρροπες δυνάμεις στις βάσεις του, λόγω της πίεσης στις περιοχές αυτές, μέτρου $F_1 = \pi r^2 p_1$ και

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

$F_2 = \pi r^2 p_2$ καθώς και η δύναμη λόγω του ιξώδους που ασκείται από το περιβάλλον στρώμα ρευστού, στην παράπλευρη επιφάνεια του κυλίνδρου εμβαδού $A = 2\pi r \ell$, με μέτρο $F_{i\xi} = 2\pi r \ell \tau$, όπου τ η διατμητική τάση ($\tau = \frac{F_{i\xi}}{A}$). Εφαρμόζοντας τον 2^ο νόμο του Νεύτωνα για το τμήμα του ρευστού έχουμε,

$$F_1 - F_2 - F_{i\xi} = 0$$

αφού όπως υποθέσαμε η ροή είναι μόνιμη και οι ρευματικές γραμμές είναι παράλληλες, οπότε η επιτάχυνση του ρευστού είναι μηδέν. Αντικαθιστώντας προκύπτει,

$$r(p_1 - p_2) = 2\ell \tau \quad (3)$$

Για τα Νευτώνεια ρευστά η διατμητική τάση είναι ανάλογη της βαθμίδας της ταχύτητας. Δηλαδή, $\tau = -\eta \frac{dv}{dr}$, όπου η ο συντελεστής ιξώδους. Το αρνητικό πρόσημο τίθεται επειδή η ταχύτητα του ρευστού ελαττώνεται όσο πλησιάζουμε στα τοιχώματα του σωλήνα και μηδενίζεται σε αυτά, ($\frac{dv}{dr} < 0$).

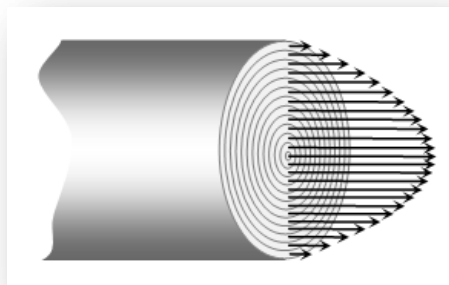
Αντικαθιστώντας στην (3) προκύπτει η διαφορική εξίσωση,

$$\frac{dv}{dr} + \frac{p_1 - p_2}{2\ell \eta} r = 0$$

Η λύση της τελευταίας με συνοριακή συνθήκη $v(R)=0$ είναι,

$$v(r) = \frac{p_1 - p_2}{4\ell \eta} (R^2 - r^2) \quad (4)$$

Δηλαδή το προφίλ της ταχύτητας είναι παραβολικό όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



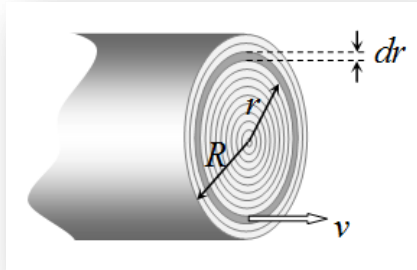
Σχήμα 4. Το προφίλ των ταχυτήτων ροής.

Όπως φαίνεται από την (4) η ταχύτητα στον άξονα του σωλήνα είναι μέγιστη και ίση με,

$$v_{\max} = \frac{p_1 - p_2}{4\ell\eta} R^2 \quad (5)$$

Από την εξίσωση (4) μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή ως εξής:

Έστω κυλινδρικό στρώμα του ρευστού ακτίνας r και πάχους dr (Σχήμα 5) το οποίο



Σχήμα 5. Ένα κυλινδρικό στρώμα του ρευστού.

κινείται με την ταχύτητα που δίνεται από την εξίσωση (4). Η στοιχειώδης παροχή από το στρώμα αυτό θα είναι,

$$d\Pi = v(r) dA = \frac{p_1 - p_2}{4\ell\eta} (R^2 - r^2) 2\pi r dr$$

Με ολοκλήρωση σε όλη την επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής βρίσκουμε,

$$\Pi = \frac{(p_1 - p_2)\pi R^4}{8\ell\eta} \quad (6)$$

Η τελευταία εξίσωση είναι γνωστή ως νόμος του Poiseuille. Η μέση ταχύτητα ροής υπολογίζεται από τη σχέση,

$$\bar{v} = \frac{\Pi}{A} = \frac{(p_1 - p_2)\pi R^4}{8\ell\eta \pi R^2} = \frac{(p_1 - p_2)}{8\ell\eta} R^2 = \frac{v_{\max}}{2}$$

Παρατήρηση: Στα παραπάνω συμπεράσματα μπορούμε να καταλήξουμε, επιλύοντας τις εξισώσεις Navier – Stokes για τη συγκεκριμένη ροή, αφού τις γράψουμε σε κυλινδρικές συντεταγμένες (Oertel, 2003; Young *et al.*, 2009).

Πρέπει να σημειώσουμε τέλος, ότι τα παραπάνω ισχύουν μακριά από το άκρο του σωλήνα στο οποίο εισέρχεται το ρευστό. Το προφίλ της ταχύτητας κατά την είσοδο δεν είναι αυτό που διαμορφώνεται στη συνέχεια και που παραμένει αμετάβλητο κατά τη ροή στον υπόλοιπο σωλήνα. Το "μήκος εισόδου" ℓ_e όπως ονομάζεται το μήκος του σωλήνα που απαιτείται για την αποκατάσταση της μονιμότητας της ροής, εξαρτάται από τον αριθμό Reynolds (Re) (βλέπε επόμενη παράγραφο), και την ακτίνα R του σωλήνα (Douglas *et al.*, 2011; Young *et al.*, 2009). Συγκεκριμένα για στρωτή ροή ισχύει,

$$\ell_e = 0,12R \cdot Re$$

και για τυρβώδη ροή

$$\ell_e = 8,8R \cdot (Re)^{\frac{1}{6}}$$

Ο αριθμός Reynolds

Ο αριθμός Reynolds είναι μια αδιάστατη παράμετρος που αποτελεί κριτήριο για το είδος της ροής ενός ρευστού (στρωτή ή τυρβώδης). Για ροή σε κυλινδρικό σωλήνα ορίζεται ως,

$$Re = \frac{2\rho\bar{v}R}{\eta} \quad (7)$$

όπου:

ρ - η πυκνότητα του ρευστού

$\bar{v}$ - η μέση ταχύτητα ροής

R - η ακτίνα του σωλήνα

η - ο συντελεστής ιξώδους

Για τις διάφορες τιμές του αριθμού Reynolds έχουμε,

$Re < 2100$: στρωτή ροή

$2100 < Re < 4000$: μεταβατική κατάσταση στην οποία η ροή μπορεί να είναι στρωτή ή τυρβώδης.

$Re > 4000$: τυρβώδης ροή

Για σωλήνα ακτίνας $R = 5,5 \text{ mm}$ που θα χρησιμοποιήσουμε στην κατασκευή, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέγιστη τιμή της μέσης ταχύτητας ώστε να έχουμε στρωτή ροή για διάφορα υγρά στους 20°C . Από την εξίσωση (7) προκύπτει ότι για στρωτή ροή πρέπει, $\bar{v} < \frac{\eta Re}{2\rho R}$ και με αντικατάσταση βρίσκουμε,

$$\bar{v} < 190909 \frac{\eta}{\rho}$$

(το πηλίκο $\frac{\eta}{\rho}$ ονομάζεται κινηματικό ιξώδες)

Υπολογίζουμε την μέγιστη ταχύτητα ώστε η ροή να παραμένει στρωτή για τα παρακάτω υγρά (Lemuel and Tianying, 2014):

$$\text{για το νερό: } \rho = 10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}, \eta = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}, \bar{v}_{\max} \approx 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

για ηλιέλαιο(26 °C): $\rho = 0,91 \cdot 10^3 \frac{Kg}{m^3}$, $\eta = 48 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$, $\bar{v}_{max} \approx 10 \frac{m}{s}$

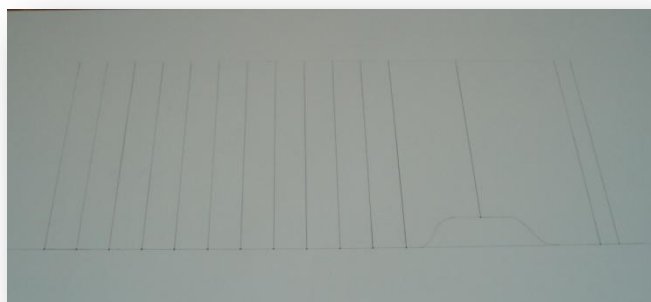
για λάδι μηχανής (SAE 10): $\rho = 0,87 \cdot 10^3 \frac{Kg}{m^3}$, $\eta = 65 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$, $\bar{v}_{max} \approx 14 \frac{m}{s}$

Μέρος Β. Κατασκευή της πειραματικής διάταξης

Υλικά που θα χρειαστούν:

- Ένα ορθογώνιο κομμάτι κόντρα πλακέ ή μελαμίνη διαστάσεων 125X70 (cm) περίπου και μικρού πάχους (8 ή 10 mm).
- Αλφαδολάστιχο μήκους 2,5 m περίπου και εσωτερικής διαμέτρου 11 mm.
- Συσκευές χορήγησης ορού, το πλήθος των οποίων εξαρτάται από το πλήθος των σημείων στα οποία θα μετρήσουμε την πίεση του ρευστού.
- Τρυπάνι διαμέτρου 1,2-1,6 mm. Υπάρχουν σε σετ εργαλείων μοντελισμού.
- Κόλλα στιγμής.
- Δεματικά.
- Μια μικρή αντλία.
- Διάφορα υλικά που υπάρχουν στο σχολικό εργαστήριο.

Βήμα 1. Σχεδιάζουμε στο φύλλο μελαμίνης την επιθυμητή διαδρομή του σωλήνα (αλφαδολάστιχου), και σημειώνουμε τα σημεία στα οποία θα μετράμε την πίεση του ρευστού (Εικόνα 1). Επίσης σημειώνουμε το σημείο (ή τα σημεία) στο οποίο θα ελαττώσουμε την διάμετρο του σωλήνα. Στο τέλος του ευθύγραμμου τμήματός του σημειώνουμε δύο τρύπες σε απόσταση περίπου 3 cm, τις οποίες θα χρησιμοποιήσουμε για την μέτρηση της διαφοράς της στατικής πίεσης και της πίεσης στο σημείο ηρεμίας, με βάση την οποία θα μπορούμε να μετράμε την ταχύτητα του ρευστού.



Εικόνα 1. Απεικόνιση σε φύλλο μελαμίνης της διαδρομής του σωλήνα. Φωτογραφία, όπως και όλες όσες ακολουθούν, του συγγραφέα.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Στα σημεία που θα στερεώσουμε το σωλήνα (τα οποία δεν πρέπει να απέχουν πολύ μεταξύ τους) κάνουμε δύο μικρές τρύπες, ώστε μόλις να χωράνε τα δεματικά που θα χρησιμοποιήσουμε, συμμετρικά ως προς τον άξονα του σωλήνα και σε απόσταση λίγο μικρότερη από τη διάμετρό του. Τοποθετούμε πρόχειρα το σωλήνα πάνω στο φύλλο ώστε τα δύο άκρα του να ενώνονται κοντά στο δεξιό (ή το αριστερό) άκρο της κατασκευής (ανάλογα με το σημείο που θέλουμε να τοποθετήσουμε την αντλία) και σημειώνουμε το σημείο στο οποίο θα ελαττώσουμε την διατομή του.

Βήμα 2. Στερεώνουμε δύο ορθοστάτες στα άκρα ενός εργαστηριακού πάγκου. Τοποθετούμε το σωλήνα στους ορθοστάτες ώστε το σημείο που θα στενέψουμε να είναι ανάμεσά τους και τον στερεώνουμε σ' αυτούς σε ύψος περίπου 30 cm. Τοποθετούμε ένα γκαζάκι μαζί με το πλέγμα κάτω από την περιοχή που θα στενέψουμε και θερμαίνουμε ήπια τεντώνοντας σταδιακά το αλφαδολάστιχο (Εικόνα 2α). Μετά από λίγο η διάμετρος θα αρχίσει να μειώνεται και μόλις γίνει αρκετά μικρότερη από την κανονική (Εικόνα 2β) απομακρύνουμε το γκαζάκι αλλά εξακολουθούμε να έχουμε το λάστιχο υπό τάση μέχρι να κρυώσει. Χρειάζεται προσοχή ώστε να μην αυξηθεί υπερβολικά η θερμοκρασία γιατί τότε το αλφαδολάστιχο θα κοπεί. Τοποθετούμε ξανά το σωλήνα στην επιφάνεια στήριξης και σημειώνουμε πάνω σ' αυτόν τα σημεία όπου θα μπουν τα σωληνάκια μέτρησης της πίεσης (Εικόνα 2γ).



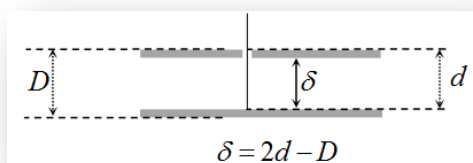
Εικόνα 2. (α) και (β) μορφοποιώντας το αλφαδολάστιχο. (γ) μαρκάροντας το σωλήνα.

Βήμα 3. Με το τρυπάνι των 1,2 mm ανοίγουμε προσεκτικά τρύπες στα σημεία που έχουμε σημαδέψει στο βήμα 2. Για να εξαλείψουμε τυχόν προεξοχή προς το εσωτερικό του σωλήνα από τμήματα του πλαστικού, η οποία θα επηρεάσει την ακρίβεια της μέτρησης, περιστρέφουμε το τρυπάνι ώστε ο άξονάς του να διαγράφει περίπου μια κωνική επιφάνεια ελαττώνοντας τη συχνότητα περιστροφής για να αποφύγουμε υπερβολικό άνοιγμα της τρύπας (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Τρυπώντας κατάλληλα το λάστιχο.

Αφού έχουμε τρυπήσει το αλφαδολάστιχο στο στενότερο σημείο του μετράμε την εσωτερική διάμετρο δ , με τη βοήθεια ενός λεπτού σύρματος και του διαστημόμετρου όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Μέτρηση του αλφαδολάστιχου.

Βήμα 4. Για τη συγκόλληση του κεντρικού σωλήνα με τα σωληνάκια μέτρησης της πίεσης, θα χρειαστούμε έναν ορθοστάτη ο οποίος έχει στερεωθεί στον πάγκο του εργαστηρίου με δύο λαβίδες και μεταλλικούς συνδέσμους (Εικόνα 4). Στερεώνουμε το σωλήνα στην κάτω λαβίδα ώστε η τρύπα να απέχει 2-3 cm από αυτήν. Στην πάνω λαβίδα στερεώνουμε το σωληνάκι ορού μήκους 50 cm περίπου, τυλίγοντάς το με ένα κομμάτι χαρτί, ώστε να περισσεύει η μια άκρη του κατά 1 cm περίπου. Μετακινώντας κατάλληλα την πάνω λαβίδα βάζουμε την άκρη από το σωληνάκι ακριβώς πάνω από την τρύπα του μεγάλου σωλήνα. Αφού βεβαιωθούμε ότι είναι στη σωστή θέση βάζουμε περιμετρικά στο σημείο επαφής κόλλα στιγμής και περιμένουμε για 15-20 λεπτά ώστε να στεγνώσει καλά. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία για όλα τα σωληνάκια.



Εικόνα 4. Συγκόλληση του κεντρικού σωλήνα με τα υπόλοιπα σωληνάκια.

Στην τελευταία τρύπα προσαρμόζουμε ένα λεπτό σωληνάκι από σκληρό πλαστικό με εξωτερική διάμετρο 3-4 mm περίπου, το οποίο σχηματίζει ορθή γωνία με πλευρές 2X1,5 cm περίπου. Επειδή είναι δύσκολο να βρούμε κάποιο που εκ κατασκευής να σχηματίζει ορθή γωνία μπορούμε να το διαμορφώσουμε με ήπια θέρμανση. Περνάμε την πλευρά των 2 cm μέσα στο σωλήνα, με το ανοιχτό άκρο προς την αντίθετη κατεύθυνση από την κατεύθυνση ροής και την ευθυγραμμίζουμε με τον άξονά του. Στερεώνουμε με κόλλα στιγμής και όταν στεγνώσει προσαρμόζουμε το σωληνάκι μέτρησης της πίεσης (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Διαμόρφωση του άκρου του σωλήνα.

Βήμα 5. Χρησιμοποιώντας μεταλλικές γωνίες και δύο κομμάτια μελαμίνη ή οποιοδήποτε άλλο υλικό στερεώνουμε κατακόρυφα την επιφάνεια στήριξης (Εικόνα 6). Για την εύκολη μέτρηση του ύψους της στήλης του υγρού στα σωληνάκια μπορούμε να επικολλήσουμε χιλιοστομετρικό χαρτί (υπάρχει και σε ρολό) είτε αυτοσχέδια κλίμακα εκτυπωμένη σε plotter όπως φαίνεται στην Εικόνα 6. Η συγκεκριμένη τυπώθηκε σε αυτοκόλλητο αδιάβροχο πολυμερές, με ελάχιστη υποδιαίρεση 2mm.

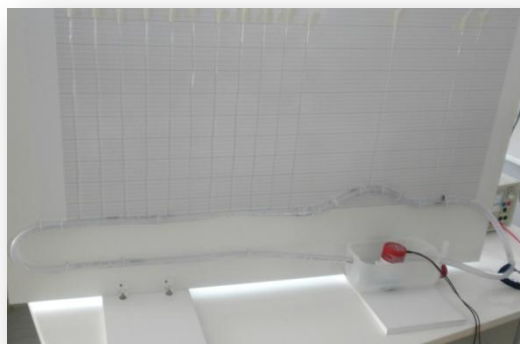


Εικόνα 6. Κατακόρυφη τοποθέτηση της επιφάνειας στήριξης.

Βήμα 6. Τοποθετούμε το σωλήνα στην προκαθορισμένη θέση με τα σωληνάκια προς τα πάνω και τον στερεώνουμε με τα δεματικά. Τα σημεία δεσίματος καλό είναι να παρεμβάλουμε μικρά κομμάτια από το ίδιο αλφαδολάστιχο σχισμένα κατά μήκος, τα οποία να "αγκαλιάζουν" το κεντρικό, ώστε να αποφύγουμε την τοπική στένωση. Τεντώνουμε τα σωληνάκια προς τα πάνω και τα στερεώνουμε προσωρινά με χαρτοταινία. Στο δεξιό μέρος της κατασκευής και πάνω στη βάση στήριξης

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

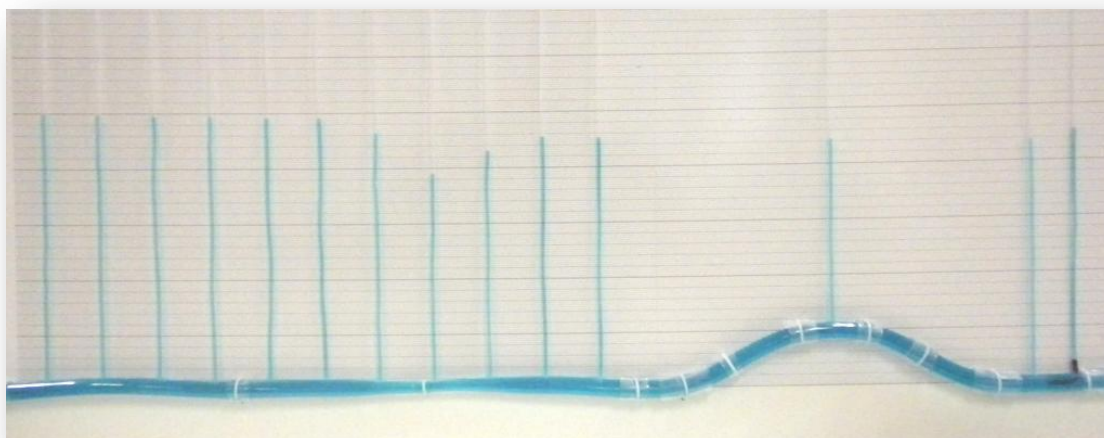
τοποθετούμε και στερεώνουμε το δοχείο που θα περιέχει το υγρό (ένα πλαστικό δοχείο απιονισμένου νερού 4 L κομμένο κατάλληλα είναι αρκετά βολικό). Κάνουμε δύο τρύπες διαμέτρου λίγο μικρότερης από την εξωτερική διάμετρο του σωλήνα δεξιά και αριστερά στο δοχείο από τις οποίες θα περάσουμε τα άκρα του αλφαδολάστιχου. Κόβουμε το επιπλέον λάστιχο (αν περισσεύει) και τοποθετούμε την έξοδο της αντλίας στο αριστερό άκρο. Έχει σημασία (ειδικά στην περίπτωση που χρησιμοποιούμε ρευστό με μικρό ιξώδες όπως το νερό) η θέση της αντλίας σε σχέση με τη φορά της ροής, ώστε να παρεμβάλλεται αρκετά μεγάλο μήκος σωλήνα μέχρι το οριζόντιο τμήμα στο οποίο θα παίρνουμε μετρήσεις πίεσης, ώστε στην περιοχή αυτή να έχει αποκατασταθεί το προφίλ της ταχύτητας που προβλέπεται θεωρητικά (βλ. στο θεωρητικό μέρος για το μήκος εισόδου). Συνδέουμε την αντλία με τροφοδοτικό συνεχούς. Μπορούμε να μεταβάλλουμε την τάση στα άκρα της μέχρι την τάση κανονικής λειτουργίας, ρυθμίζοντας έτσι στην επιθυμητή τιμή την ταχύτητα ροής και την παροχή. Η κατασκευή μας είναι έτοιμη (Εικόνα 7).



Εικόνα 7. Η ολοκληρωμένη διάταξη.

Μέρος Γ. Η συσκευή σε λειτουργία

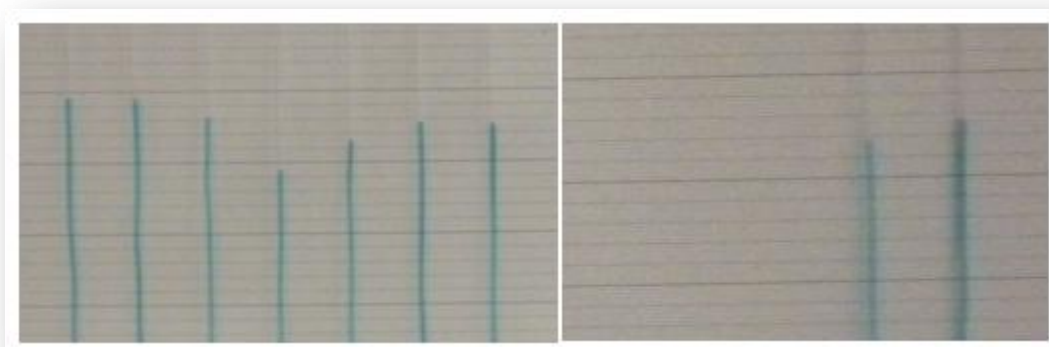
Ακολουθούν μερικά παραδείγματα αξιοποίησης της συσκευής στη διδασκαλία μας.



Εικόνα 8. Η συσκευή σε λειτουργία.

Προσθέτοντας χρωματισμένο νερό και θέτοντας σε λειτουργία την αντλία παρατηρούμε ότι για να έχουμε αρκετά μεγάλη στατική πίεση χωρίς να χρειάζεται μεγάλη ταχύτητα ροής θα πρέπει στην επιστροφή του νερού να προσαρμόσουμε ένα μικρό σφικτήρα τύπου G, ώστε να μπορούμε να πετύχουμε τον επιθυμητό συνδυασμό στατικής πίεσης και ταχύτητας ροής. Έτσι ρυθμίζοντας τη συσκευή μπορούμε να πετύχουμε την παραπάνω εικόνα (Εικόνα 8).

Παρατηρούμε ότι στην αριστερή περιοχή όπου η διατομή του σωλήνα είναι σταθερή, η πτώση πίεσης είναι αμελητέα αφού η παροχή είναι πάρα πολύ μικρή και ο συντελεστής ιξώδους του νερού είναι επίσης πολύ μικρός. Φαίνεται όμως καθαρά η ελάττωση της πίεσης στην περιοχή στένωσης σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli. Μεγεθύνοντας κατά τμήματα παίρνουμε τις Εικόνες 9α και 9β.



Εικόνα 9. (α) και (β) το νερό ανέρχεται σε διαφορετικά ύψη.

Από την Εικόνα 9β μπορούμε να εκτιμήσουμε την ταχύτητα ροής από τη διαφορά στάθμης στα δύο σωληνάκια σύμφωνα με την εξίσωση 2.

$$\Delta h \approx 8 \cdot 10^{-3} \text{ m} , g = 9,8 \text{ m/s}^2 \text{ και } v \approx 0,4 \text{ m/s}$$

Η ταχύτητα που μετρήσαμε είναι η ταχύτητα στον άξονα του σωλήνα, άρα η μέγιστη ταχύτητα ροής.

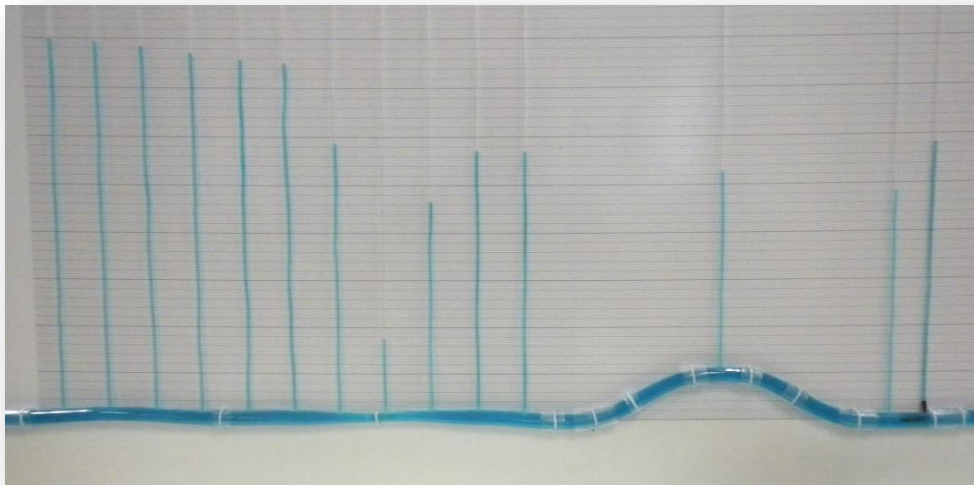
Παρατηρώντας το κεντρικό τμήμα βλέπουμε ότι η πίεση πριν το στένωμα διατηρείται περίπου σταθερή όπως επίσης και μετά από αυτό. Όμως η πίεση μετά το στένωμα είναι εμφανώς μικρότερη από πριν (περίπου ίση με 20 mm στήλης νερού) παρά το γεγονός ότι η διατομή είναι ίδια. Αυτό συμβαίνει γιατί η πτώση πίεσης στην περιοχή μικρής διατομής δεν είναι πια αμελητέα αφού όπως φαίνεται από την εξίσωση 6 είναι αντιστρόφως ανάλογη της 4ης δύναμης της ακτίνας για δεδομένη παροχή. Έτσι μπορούμε λόγω συμμετρίας να θεωρήσουμε την διαφορά πίεσης στο μέσο της στένωσης από την πίεση στην αρχή (περίπου ίση με 52 mm στήλης νερού), ως αποτέλεσμα της πτώσης πίεσης (ίση με 10 mm στήλης νερού) λόγω του ιξώδους και της πτώσης λόγω ελάττωσης της διατομής (ίση με 42 mm στήλης νερού) όπως προβλέπεται από την εξίσωση Bernoulli. Ασφαλώς η

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

εξίσωση Bernoulli ισχύει προσεγγιστικά αφού δεν πρόκειται για ιδανικό ρευστό, ωστόσο μπορούμε να εκτιμήσουμε την ταχύτητα ροής.

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση 1 $\Delta h = 0,042m$ βρίσκουμε, $v \approx 0,4m/s$, σε συμφωνία με την μέτρηση με τη μέθοδο Pitot. Πρέπει να επισημάνουμε ότι η ταχύτητα που μετρήσαμε με τη μέθοδο Pitot είναι η ταχύτητα στον άξονα του σωλήνα και επομένως η μέση ταχύτητα θα είναι περίπου $0,2m/s$, δηλαδή στα όρια μετάβασης της ροής από στρωτή σε μεταβατική όπως υπολογίσαμε στο θεωρητικό μέρος με βάση τον αριθμό Reynolds.

Το φαινόμενο της πτώσης πίεσης γίνεται εμφανές αν η παροχή αυξηθεί όπως στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10. Η κατάσταση με αυξημένη παροχή νερού.

Αν χρησιμοποιήσουμε ηλιέλαιο το οποίο έχει μεγαλύτερο συντελεστή ιξώδους, χρωματισμένο με μερικές σταγόνες χρωστικής για καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα, παίρνουμε την εικόνα που φαίνεται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11. Το νερό έχει αντικατασταθεί με ηλιέλαιο.

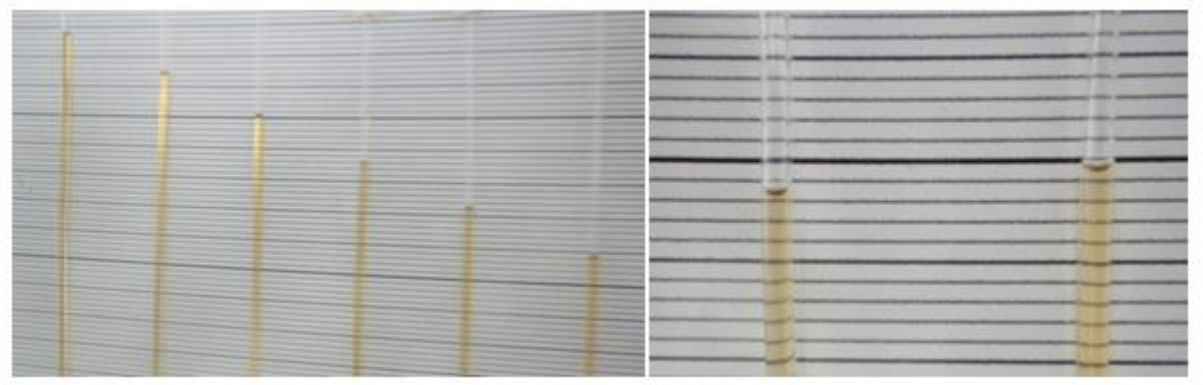
Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Η απόσταση των σημείων που είναι προσαρμοσμένα το 1ο και το 6ο σωληνάκι είναι $\ell = 25\text{cm}$. Η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο σημείων είναι $p_1 - p_2 = \rho g \Delta h$, με $\Delta h = 70\text{mm}$. Από την δεξιά φωτογραφία βρίσκουμε $\Delta h_1 = 8\text{mm}$. Πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη ότι την στατική πίεση την μετράμε 0,8 cm αριστερότερα από την πίεση ηρεμίας. Επομένως η υψομετρική διαφορά που οφείλεται στη δυναμική πίεση θα είναι, $\Delta h_p = \Delta h_1 + \frac{70}{25} \cdot 0,8 = 10,24\text{mm}$. Συνδυάζοντας τις εξισώσεις 2 και 5 και αντικαθιστώντας $p_1 - p_2 = \rho g \Delta h$ βρίσκουμε,

$$\eta = \frac{\rho \sqrt{g} R^2}{4\sqrt{2}\ell} \sqrt{\frac{\Delta h^2}{\Delta h_p}} \quad (8)$$

Αντικαθιστώντας για το ηλιέλαιο, $\rho = 910\text{Kg/m}^3$, $g = 9,8\text{m/s}^2$ και τις τιμές που μετρήσαμε προηγουμένως βρίσκουμε $\eta \approx 0,046\text{Pa}\cdot\text{s}$, τιμή που είναι πολύ κοντά στην πραγματική (ένα μικρό επιπλέον σφάλμα υπάρχει και οφείλεται στο ότι η θερμοκρασία τη ώρα του πειράματος ήταν περίπου 24°C).

Χρησιμοποιώντας λάδι μηχανής (SAE 10) παίρνουμε την Εικόνα 12.



Εικόνα 12. Το νερό έχει αντικατασταθεί με λάδι μηχανής.

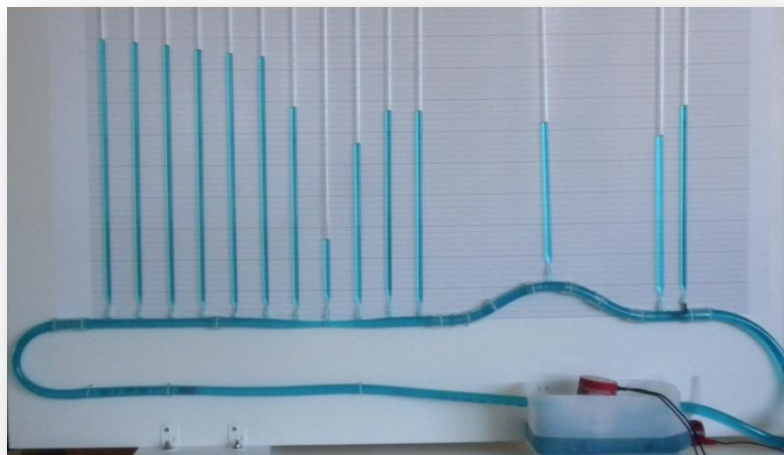
Εργαζόμενοι όπως στο προηγούμενο παράδειγμα με το ηλιέλαιο βρίσκουμε, $\eta = 0,062\text{Pa}\cdot\text{s}$, επίσης πολύ κοντά στην πραγματική τιμή.

Παρατηρήσεις - συμπεράσματα

Μερικές παρατηρήσεις και βελτιώσεις που μπορεί να γίνουν είναι οι εξής:

Κατά την εκκίνηση λειτουργίας της συσκευής στα σωληνάκια μέτρησης της πίεσης δημιουργούνται περιοχές εγκλωβισμένου αέρα. Το πρόβλημα λύνεται εύκολα φυσώντας αέρα από το ελεύθερο άκρο τους ώστε ο εγκλωβισμένος αέρας να κατέβει στον κεντρικό σωλήνα και να

απομακρυνθεί με τη ροή του υγρού. Μια βελτίωση που θα λύσει αυτό το μικρό πρόβλημα αλλά και θα βελτιώσει την καλύτερη ανάγνωση των μετρήσεων μπορεί να είναι η εξής. Να κολλήσουμε στον κεντρικό σωλήνα μικρά κομμάτια από το σωληνάκι ορού (μήκους περίπου 2 cm) και στη συνέχεια να προσαρμόσουμε στεγανά χρησιμοποιώντας κόλλα σιλικόνης, γυάλινους σωλήνες εσωτερικής διαμέτρου όσο περίπου είναι η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα ορού, τους οποίους θα στερεώσουμε σε κατακόρυφη θέση. Η συγκεκριμένη τροποποίηση έγινε μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω εργασίας και το αποτέλεσμα είναι σαφώς καλύτερο όπως φαίνεται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13. Τροποποιημένη διάταξη.

Μια άλλη παρατήρηση είναι ότι χρησιμοποιώντας αλφαδολάστιχο μικρότερης διαμέτρου μπορούμε να έχουμε δυνατότητα μεγαλύτερης ταχύτητας ροής για το νερό χωρίς η ροή να μεταπίπτει σε τυρβώδη. Τότε όμως η βαθμίδα πίεσης λόγω του ιξώδους θα αυξηθεί πάρα πολύ και το ύψος της κατασκευής πρέπει να γίνει αρκετά μεγαλύτερο προκειμένου να μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις, ειδικά αν χρησιμοποιήσουμε ρευστά με μεγαλύτερο ιξώδες όπως στα προηγούμενα παραδείγματα.

Γράφοντας διαφορετικά την εξίσωση 8, $\frac{\rho\sqrt{g}R^2}{4\sqrt{2}\ell}\Delta h = \eta\sqrt{\Delta h_p}$, βλέπουμε ότι ο συντελεστής

ιξώδους μπορεί πειραματικά να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια παίρνοντας μετρήσεις των Δh και Δh_p και κάνοντας την γραφική παράσταση της οποίας η κλίση θα είναι ο συντελεστής ιξώδους. Όμως για ρευστά με σημαντικό συντελεστή ιξώδους, για τα οποία θα μπορούσαμε να έχουμε μετρήσεις για αρκετά διαφορετικές ταχύτητες ροής χωρίς να μεταπίπτει σε τυρβώδη, θα έπρεπε το ύψος της κατασκευής να είναι πολύ μεγαλύτερο.

Μια γρήγορη εφαρμογή της βασικής τεχνικής με την οποία κατασκευάστηκε η διάταξη μπορεί να είναι ένα βεντουρίμετρο για τη μέτρηση της ταχύτητας ροής του αέρα όπως φαίνεται στην Εικόνα 14..



Εικόνα 14. Βεντουρίμετρο μέτρησης ταχύτητας ροής αέρα.

Ο αναγνώστης μπορεί να δει τη συσκευή σε λειτουργία στη διεύθυνση:
<https://youtu.be/dls1lTuKUsw>.

Βιβλιογραφία

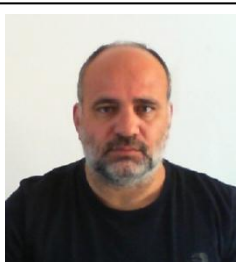
Douglas, J. F., Gasiorek, J., Swaffield, J. and Jack, L. (2011). *Fluid Mechanics*, 6th Edition.

Lemuel, M. D. and Tianying, L. (2014). Absolute Viscosities of Vegetable Oils at Different Temperatures and Shear Rate Range of 64.5 to 4835 s⁻¹. *Journal of Food Processing* Volume 2014 (2014). Διαθέσιμο στο <http://www.hindawi.com/journals/jfp/2014/234583/>

Oertel, H. (2003). *Introduction to fluid mechanics*.

Young, D. F., Munson, B. R., Okiishi, T. H. and Huebsch W. W. (2009). *A brief introduction to fluid mechanics*, 6th Edition

Όλες οι φωτογραφίες είναι του συγγραφέα.



Ο Σπύρος Χόρτης έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Αθηνών και έχει αποκτήσει μεταπτυχιακό τίτλο από το ΕΑΠ - Μεταπτυχιακό πρόγραμμα "Προχωρημένες Σπουδές στη Φυσική". Από το 2002 εργάζεται στη μέση εκπαίδευση. Από το 2012-2013 είναι υπεύθυνος του ΕΚΦΕ Λευκάδας. Έχει συμμετάσχει στη συγγραφή βιβλίου για τη Γ Λυκείου (2003) και έχει ασχοληθεί με τη δημιουργία μικροεφαρμογών (java applets) για την προσομοίωση φαινομένων Φυσικής.

Ξεδιπλώνοντας στην τάξη τα χαρακτηριστικά της Μεγάλης Έκρηξης

Χρίστος Θ. Ξενάκης και Σεραφείμ Ι. Σπανός

Το διάστημα, η αστρονομία και η κοσμολογία προκαλούν ιδιαίτερα το ενδιαφέρον των μαθητών. Ωστόσο, μετά την εκπαρθύρωση του μαθήματος της Αστρονομίας από τα αναλυτικά προγράμματα του Λυκείου η μόνη δυνατότητα που απομένει για να ασχοληθούν με σχετικά ζητήματα είναι η εκπόνηση κάποιου πρότζεκτ.

Οι διερευνητικές δραστηριότητες που ακολουθούν δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να εργαστούν ατομικά ή σε ομάδες, προκειμένου να κατανοήσουν δυσνόητες έννοιες όπως η Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang) και η διαστολή του χώρου κατά τη διάρκεια εκπόνησης ενός τέτοιου project. Ακολουθώντας τη μεθοδολογία της διερευνητικής διδασκαλίας (Spanos and Xenakis, 2013), χωρίσαμε τη διεκπεραίωση του προτεινόμενου project σε πέντε φάσεις. Το πρότζεκτ έχει εφαρμοστεί, με ελαφρές διαφοροποιήσεις, σε δύο ηλικιακές ομάδες μαθητών των Β' και Γ' τάξεων Γυμνασίου και Λυκείου κατά τη διάρκεια χειμερινού σχολείου αστρονομίας της Εταιρείας Αστρονομίας και Διαστήματος του Βόλου.

1^η διδακτική φάση: εκμαίευση ιδεών – πρόκληση ενδιαφέροντος

Στην πρώτη φάση δόθηκαν ερωτήσεις, διαφορετικές για κάθε ηλικιακή ομάδα μαθητών, όπως οι εξής: Σύμφωνα με τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης το σύμπαν διαστέλλεται.

- Πώς φαντάζεστε τη διαστολή του χώρου των τριών διαστάσεων; Μπορούμε να αισθητοποιήσουμε την αμοιβαία αύξηση των μεταξύ των αντικειμένων αποστάσεων που βρίσκονται στο διαστελλόμενο αυτό χώρο;
- Θα ήταν, ίσως, ευκολότερο να αισθητοποιήσουμε τις αμοιβαίες απομακρύνσεις των αντικειμένων, αν θεωρούσαμε ένα χώρο δύο διαστάσεων, π.χ. την επιφάνεια ενός μπαλονιού, και «όντα» δύο διαστάσεων που «ζουν» στην επιφάνεια του μπαλονιού. Πώς τα «όντα» αυτά θα αντιλαμβάνονταν τη διαστολή του «χώρου» τους;

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Οι απαντήσεις που πήραμε βοήθησαν να συζητήσουμε λεπτομερώς το αδιέξοδο στο οποίο οδηγήθηκαν πολλοί από τους μαθητές όταν αντιλήφθηκαν ότι στο μοντέλο της Μεγάλης Έκρηξης καθετί απομακρύνεται από εμάς άρα, η θέση της Γης μοιάζει να είναι «προνομιούχα» στο σύμπαν και να βρίσκεται στο κέντρο του.

2^η διδακτική φάση: διερεύνηση των ερωτήσεων που τέθηκαν

Στη δεύτερη διδακτική φάση συζητήθηκε το θέμα της διαστολής του χώρου και της αισθητοποίησής της αξιοποιώντας επιλεγμένους δικτυακούς τόπους, (Hawking, 2011; History of the Universe in 10 minutes, 2015). Για να αναπαρασταθεί εποπτικά στην τάξη μία ιδιαίτερα απλοποιημένη και εκλαϊκευτική άποψη αυτού του μοντέλου του σύμπαντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επιφάνεια μιας σφαίρας ή οποιαδήποτε άλλη ομαλή κλειστή διδιάστατη επιφάνεια, όπως π.χ. κυλινδρική, ελλειψοειδής εκ περιστροφής κ.λπ.

Οι περισσότεροι μαθητές πρότειναν προς αυτή την κατεύθυνση τη χρήση ενός (σχεδόν) σφαιρικού μπαλονιού. Άλλοι πρότειναν ένα κυλινδρικό μπαλόνι. Ενθαρρύναμε αυτή την επιλογή τους προλέγοντας ότι θα έχουν να διαχειριστούν ένα διαφορετικό σύμπαν από τους υπόλοιπους. Επισημάναμε ακόμη ότι το μπαλόνι που η κάθε ομάδα θα διαχειρίζονταν, διαφορετικού μεγέθους, πάχους μεμβράνης και ίσως υλικού, θα αντιπροσώπευε ένα ξεχωριστό σύμπαν. Όμως, κοινός παρονομαστής όλων θα ήταν η προσομοίωση της διαστολής του σύμπαντος, η «ανακάλυψη» του νόμου του Hubble και η διερεύνηση των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται αυτή η διαστολή.

3^η διδακτική φάση

Συλλογή στοιχείων

Ας φανταστούμε το σύμπαν σαν την επιφάνεια ενός μπαλονιού (άρα να έχει δύο διαστάσεις) και τους γαλαξίες να είναι κουκίδες ζωγραφισμένες με μαρκαδόρο πάνω στο μπαλόνι. Καθώς φουσκώνουμε το μπαλόνι οι κουκίδες αρχίζουν να απομακρύνονται η μία από την άλλη. Αν υποθέσουμε πως βρισκόμαστε σε μία από εκείνες τις κουκίδες, καθώς το μπαλόνι φουσκώνει, φαίνεται ότι κάθε κουκίδα απομακρύνεται από εμάς και μάλιστα, όσο πιο μακριά είναι η κουκίδα από εμάς, τόσο πιο γρήγορα απομακρύνεται. Αυτό είναι ανάλογο με ό,τι συμβαίνει στους γαλαξίες του σύμπαντος σε τρεις διαστάσεις.

Στην προσομοίωσή μας, χρησιμοποιήσαμε δύο μπαλόνια ίσου πάχους μεμβράνης και ίδιου υλικού, αλλά διαφορετικού σχήματος: ένα σφαιρικό και ένα κυλινδρικό. Και στα δύο εφαρμόσθηκε η ίδια μεθοδολογία. Στην επιφάνειά τους σημειώσαμε 5 σημεία, έτσι ώστε να απέχουν 3, 5, 10 και 13 mm από το πρώτο από αυτά (Εικόνα 1). Στη συνέχεια φουσκώσαμε τα μπαλόνια και καταγράψαμε τις νέες αποστάσεις των ανωτέρω σημείων (Εικόνα 2). Το ίδιο κάναμε μετά από ένα δεύτερο φούσκωμα. Επίσης μετρήθηκε η μεταβολή της περιφέρειας του σφαιρικού μπαλονιού όπως και αυτή της εγκάρσιας αλλά και της επιμήκους διάστασης του κυλινδρικού. Ειδικά στο σφαιρικό μπαλόνι,

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

επαναλάβαμε τη διαδικασία και για τρίτη φορά. Αφού ξεφουσκώσαμε τα μπαλόνια, μετρήσαμε πάλι τις αποστάσεις των σημείων.



Εικόνα 1. Το σφαιρικό και το κυλινδρικό μπαλόνι.



Εικόνα 2. Μετρώντας τις αποστάσεις των σημείων πάνω στα μπαλόνια.

Περιληπτικά, οι οδηγίες και οι υποδείξεις που δόθηκαν στους μαθητές κατά την τρίτη διδακτική φάση, με τη μορφή φύλλων εργασίας, ήταν οι εξής:

- Στην επιφάνεια των μπαλονιών και πριν τα φουσκώσετε, σημειώστε πέντε σημεία, τα Α, Β, Γ, Δ, Ε με τη βοήθεια ανεξίτηλου λεπτού μαρκαδόρου. Επιδιώξτε να είναι όλα πάνω στην ίδια ευθεία έτσι ώστε $(AB) < (AG) < (AD) < (AE)$. Θεωρήστε το σημείο Α ως «αφετηρία», δηλαδή ως θέση του «παρατηρητή».
- Φουσκώστε το μπαλόνι και με μια εύκαμπτη μετροταινία μετρήστε τις αποστάσεις (AB) , (AG) , (AD) και (AE) .
- Επαναλάβετε τη διαδικασία άλλες δύο φορές φουσκώνοντας το μπαλόνι διαδοχικά και κάνοντας τις ανάλογες μετρήσεις με ακρίβεια χιλιοστόμετρου. Επειδή κατά το φούσκωμα οι τελείες που παριστάνουν τα σημεία, αποκτούν αξιόλογες διαστάσεις, οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται από τα κέντρα τους.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

- Καθώς το μπαλόνι φουσκώνει, κινούνται τα σημεία Α, Β, Γ, Δ και Ε ως προς την επιφάνειά του; Γιατί αυξάνονται οι μεταξύ τους αποστάσεις;
- Θεωρήστε ότι μια μέση εκπνοή κατά το φούσκωμα των μπαλονιών, διαρκεί περίπου 4 s ($\Delta t=4$ s). Βρείτε τις μεταβολές ΔS των αποστάσεων μεταξύ των σημείων Β, Γ, Δ, Ε από το σημείο Α κατά τα διάφορα στάδια φουσκώματος και στη συνέχεια από τη σχέση $v = (\Delta S)/(\Delta t)$, βρείτε τις ταχύτητες απομάκρυνσης των σημείων Β, Γ, Δ, Ε από το σημείο Α.
- Βρείτε το μέσο ρυθμό μεταβολής της απόστασης (μεταβολή απόστασης/αρχική απόσταση) για κάθε σημείο Β, Γ, Δ και Ε. Σε τι θα μπορούσε να μας χρησιμεύσει αυτό;
- Βρείτε για κάθε σημείο από τα παραπάνω, το λόγο V_i/d_i (όπου d_i οι αποστάσεις των σημείων Β, Γ, Δ, Ε από το Α για κάθε φάση φουσκώματος και V_i οι ταχύτητες μετατόπισης των ανωτέρω σημείων σε κάθε φάση). Είναι ο ίδιος για όλα τα σημεία για κάθε φάση φουσκώματος; Πού μπορεί να οφείλονται οι μικρές διαφορές που παρουσιάζονται; Ισχύει ο νόμος του Hubble; (Οι μαθητές που συμμετείχαν στο πρότζεκτ γνώριζαν τη διατύπωση του νόμου του Hubble (Γαβρίλης κ.ά, 2008; Μαυρομάτης, 2012): δηλαδή, οι ταχύτητες απομάκρυνσης των γαλαξιών από εμάς είναι ανάλογες των αποστάσεών τους).
- Η βαρύτητα επιβραδύνει τη διαστολή του σύμπαντος. Ποια δύναμη νομίζετε ότι είναι η αντίστοιχη της βαρυτικής έλξης που αντιστρατεύεται τη διαστολή του μπαλονιού;
- Ποια είναι η συντομότερη οδός (δρόμος ελάχιστου μήκους) που πρέπει ν' ακολουθήσει ένα «διδιάστατο ον» στην επιφάνεια του μπαλονιού, ώστε να κινηθεί από το σημείο Α στο Β ή στο Γ; Είναι αυτή ευθεία γραμμή;

Οι μαθητές ενθαρρύνθηκαν να συμπληρώσουν το φύλλο εργασίας στο σπίτι τους. Παρακάτω, παραθέτουμε τα αποτελέσματα της εργασίας μιας μικτής ομάδας τεσσάρων ατόμων, όπου συμμετείχαν τρεις μικρότεροι μαθητές και ένας μεγαλύτερος ως σύμβουλος – επόπτης.

Το σφαιρικό μπαλόνι

Οι μετρήσεις που έγιναν (σε mm), δίνονται στον Πίνακα 1.

i	Ευθ. Τμήματα	Αρχική φάση	1 ^η φάση	2 ^η φάση	3 ^η φάση
1	ΑΒ	3	7	10	12
2	ΑΓ	5	13	19	23
3	ΑΔ	10	32	38	45
4	ΑΕ	13	42	48	57

Πίνακας 1. Μετρήσεις αποστάσεων των 5 σημείων σε σφαιρικό μπαλόνι που φουσκώνει σε τρεις φάσεις.

Θεωρώντας ως μέση διάρκεια φουσκώματος του μπαλονιού τα 4 s, υπολογίζουμε για τις τρεις φάσεις (Πίνακες 2 - 4) και για τα 4 σημεία παρατήρησης ($i=1,...,4$) τις ταχύτητες απομάκρυνσης ($2^{\text{η}}$

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

στήλη) και τις αντίστοιχες «σταθερές» του Hubble (3^η στήλη). Ο μέσος ρυθμός μεταβολής της απόστασης (1^η φάση-αρχ. φάση/αρχ. απόσταση) φαίνεται στη 4^η στήλη του αντίστοιχου πίνακα.

1 ^η φάση-αρχ. φάση Δs_i	$V_i = \Delta s_i / \Delta t$ (mm/s)	$H_i = V_i / d_i$	1 ^η φάση-αρχ. φάση/αρχ. απόσταση
7-3=4	4/4=1	1/7 = 0,14	4/3= 1,43
13-5=8	8/4= 2	2/13= 0,15	8/5= 1,6
32-10=22	22/4= 5,5	5,5/32= 0,17	22/10= 2,2
42-13=29	29/4= 7,25	7,25/42= 0,17	29/13= 2,23

Πίνακας 2. Υπολογισμοί α' φάσης σε σφαιρικό μπαλόνι

2 ^η φάση-1 ^η φάση Δs_i	$V_i = \Delta s_i / \Delta t$ (mm/s)	$H_i = V_i / d_i$	2 ^η φάση-αρχ. φάση /αρχ. απόσταση
10-7=3	3/4=0,75	0,75/10 = 0,075	7/3= 2,33
19-13=6	6/4= 1,5	1,5/19= 0,079	14/5= 2,8
38-32=6	6/4= 1,5	1,5/38= 0,039	28/10= 2,8
48-42=6	6/4= 1,5	1,5/48= 0,031	35/13= 2,69

Πίνακας 3. Υπολογισμοί β' φάσης σε σφαιρικό μπαλόνι

3 ^η φάση-2 ^η φάση Δs_i	$V_i = \Delta s_i / \Delta t$ (mm/s)	$H_i = V_i / d_i$	3 ^η φάση-αρχ. φάση /αρχ. απόσταση
12-10=2	2/4= 0,5	0,5/12 = 0,042	9/3= 3
23-19=4	4/4= 1	1/23= 0,043	18/5= 3,6
45-38=7	7/4= 1,75	1,75/45= 0,039	35/10= 3,5
57-48=9	9/4= 2,25	2,25/57= 0,039	44/13= 3,38

Πίνακας 4. Υπολογισμοί γ' φάσης σε σφαιρικό μπαλόνι

Η περιφέρεια του μπαλονιού στις τρεις φάσεις φουσκώματος ήταν αντίστοιχα: 50, 59 και 73 mm αντίστοιχα, ενώ μετά το ξεφουσκωμα του μπαλονιού μετρήσαμε τις αποστάσεις των σημείων ξανά και βρέθηκαν ανά δύο στα 3, 6, 13 και 17 mm. Βρέθηκαν μικρές διαφορές αλλά οι αποστάσεις σταθεροποιούνται μετά από μερικούς κύκλους φουσκώματος-ξεφουσκώματος.

Το κυλινδρικό μπαλόνι

Οι μετρήσεις που λαμβάνονται σε mm, περιέχονται στους Πίνακες 5-7.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

i	Ευθ. Τμήματα	Αρχική φάση	1 ^η φάση	2 ^η φάση
1	AB	3	12	13
2	ΑΓ	5	20	22
3	ΑΔ	10	39	42
4	ΑΕ	13	49	52

Πίνακας 5. Μετρήσεις σε κυλινδρικό μπαλόνι

1 ^η φάση- αρχ. φάση Δs_i	$V_i = \Delta s_i / \Delta t$ (mm/s)	$H_i = V_i / d_i$	1 ^η φάση-αρχ. φάση/αρχ. απόσταση
12-3=9	9/4= 2,25	2,25/12 = 0,188	9/3= 3
20-5=15	15/4= 3,75	3,75/20= 0,187	15/5= 3
39-10=29	29/4= 7,25	7,25/39= 0,185	29/10= 2,9
49-13=36	36/4= 9	9/49= 0,183	36/13= 2,76

Πίνακας 6. Υπολογισμοί α' φάσης σε κυλινδρικό μπαλόνι

2 ^η φάση- 1 ^η φάση Δs_i	$V_i = \Delta s_i / \Delta t$ (mm/s)	$H_i = V_i / d_i$	2 ^η φάση-1 ^η φάση /αρχ. απόσταση
13-12=1	1/4= 0,25	0,25/13= 0,019	1/3= 0,33
22-20=2	2/4= 0,50	0,50/22= 0,023	2/5= 0,4
42-39=3	3/4= 0,75	0,75/42= 0,018	3/10= 0,3
52-49=3	3/4= 0,75	0,75/52= 0,014	3/13= 0,23

Πίνακας 7. Υπολογισμοί β' φάσης σε κυλινδρικό μπαλόνι

Η περιφέρεια του μπαλονιού στις δύο φάσεις φουσκώματος ήταν: 23 και 24 mm αντίστοιχα, ενώ η επιμήκης διάστασή του ήταν 27 και 49 mm αντίστοιχα. Μετά το ξεφούσκωμα του μπαλονιού μετρήσαμε τις αποστάσεις των σημείων ξανά και βρέθηκαν ανά 2 στα 4, 6, 13 και 17 mm.

Παρατηρήσεις

Στο σφαιρικό μπαλόνι, παρατηρούμε ότι τόσο στην 1^η όσο και στη 3^η φάση του πειράματος η τιμή του H είναι σχεδόν σταθερή αλλά υπάρχει διαφοροποίηση στη 2^η φάση. Μεταξύ των τριών φάσεων ο ρυθμός μεταβολής της απόστασης (ρυθμός διαστολής του σφαιρικού μπαλονιού) φαίνεται μεγαλύτερος σε κάθε επόμενο φούσκωμα, λόγω της αύξησης της ελαστικότητάς του - φαινόμενο με πιθανό ανάλογο στο πραγματικό σύμπαν: περίοδοι διαφορετικού ρυθμού διαστολής (Μαυρομμάτης, 2012, σελ. 84-85, Γαβρίλης κ.ά., 2008, σελ. 135-136).

Στο κυλινδρικό μπαλόνι παρατηρούμε ότι η τιμή του H είναι αρκετά σταθερή για όλα τα σημεία ιδιαίτερα στην πρώτη φάση ωστόσο διαφέρει μεταξύ των φάσεων λόγω διαφοροποίησης της ελαστικότητας. Ενώ η εγκάρσια διάστασή του παρέμεινε σχετικά σταθερή, η επιμήκης του αυξήθηκε σημαντικά. Επομένως η τοποθέτηση των σημείων σε σχέση με τον άξονα του κυλίνδρου είναι σημαντική. Το διαφορετικό σχήμα των μπαλονιών εξηγεί τη διαφορετική συμπεριφορά και το διαφορετικό ρυθμό διαστολής τους.

Από τη σύγκριση των δύο προτύπων μάλλον το σφαιρικό μπαλόνι προσομοιάζει περισσότερο στο πιο αποδεκτό σήμερα κοσμολογικό ανάλογο του σύμπαντος που ζούμε. Σε ένα τέτοιο καμπυλωμένο σύμπαν, η συντομότερη οδός δεν είναι η γνωστή μας ευθεία αλλά μια καμπύλη γραμμή που συνδέει τα σημεία και αποτελεί τμήμα μεγίστου κύκλου του μπαλονιού: η γεωμετρία του Ευκλείδη δεν εφαρμόζεται.

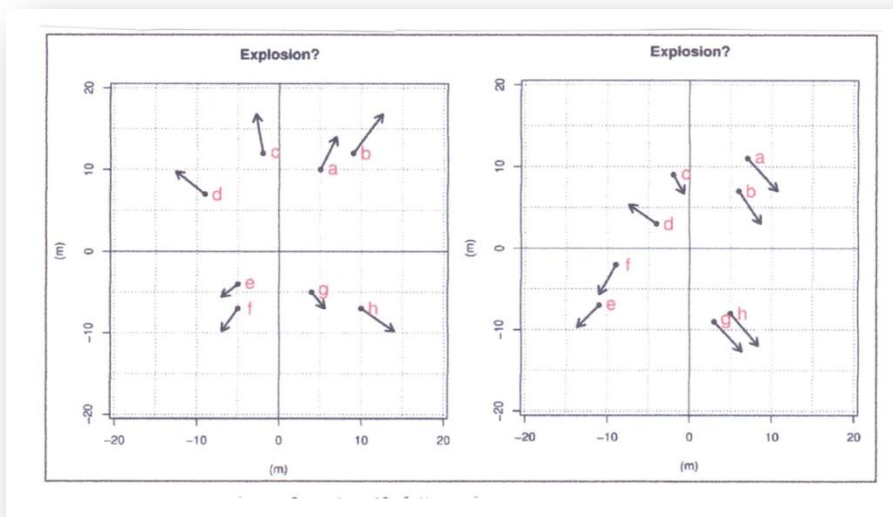
Τέλος, το αντίστοιχο της βαρυτικής έλξης που αντιστρατεύεται τη διαστολή του μπαλονιού είναι οι ελαστικές δυνάμεις της μεμβράνης του μπαλονιού. Αλλά, τότε, όπως επισημάναμε, κάθε μπαλόνι είναι ένα ξεχωριστό σύμπαν με τη δική του βαρύτητα που όμως πάντα ισχύει ο νόμος του Hubble, αλλά με διαφορετική τιμή σταθεράς « H ».

Τα διαγράμματα κινουμένων σωματιδίων

Σε ό,τι αφορά τις ομάδες των μεγαλύτερων μαθητών, τέθηκε το ερώτημα: «*Πώς επιβεβαιώνεται η θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης με βάση το νόμο του Hubble;*»

Η διδακτική ιδέα που υλοποιήσαμε, με κάποιες μικρές τροποποιήσεις, καθώς και τα αντίστοιχα διαγραμματικά στιγμιότυπα που τους δόθηκαν, έχουν ήδη δημοσιευθεί (Forringer, 2014). Στόχος της επιπλέον εργασίας που δόθηκε στους μεγαλύτερους μαθητές ήταν η βαθύτερη κατανόηση και ερμηνεία του νόμου του Hubble καθώς και η σύνδεση των ευρημάτων του Hubble με τη Μεγάλη Έκρηξη που συνέβη πριν περίπου 13,7 δισεκατομμύρια χρόνια. Ήταν επιθυμητό όμως οι μαθητές να εμβαθύνουν στη φύση μιας έκρηξης γενικότερα και πώς αυτή μπορεί να ταυτοποιηθεί με λογικές αναφορές, οδεύοντας πίσω στο χρόνο μέχρι την αρχή της. Έτσι, τους δόθηκε η εξής ερώτηση: «*Με τι θα έμοιαζε η εικόνα, ύστερα από χρόνο Δt , αν παίρναμε ένα φωτογραφικό στιγμιότυπο από μια ομάδα σωματιδίων που ξεκίνησαν ως μέρος μιας κεντρικής έκρηξης;*»

Οι μαθητές εξέφρασαν διάφορες απόψεις. Κατόπιν, τους δόθηκε ως πληροφορία και ως βασική υπόθεση, ότι τα σωματίδια κινούνται σε ευθείες γραμμές με σταθερή το καθένα ταχύτητα αλλά με διαφορετικές μεταξύ τους ταχύτητες. Ύστερα, τους δόθηκαν δύο διαγραμματικά στιγμιότυπα (Σχήματα 4α, 4β) οκτώ (8) σωματιδίων να κινούνται προς ορισμένες κατευθύνσεις και τους ζητήθηκε να απαντήσουν ποιο από τα δύο διαγράμματα μπορεί να αντιπροσωπεύει μία έκρηξη.



(α)

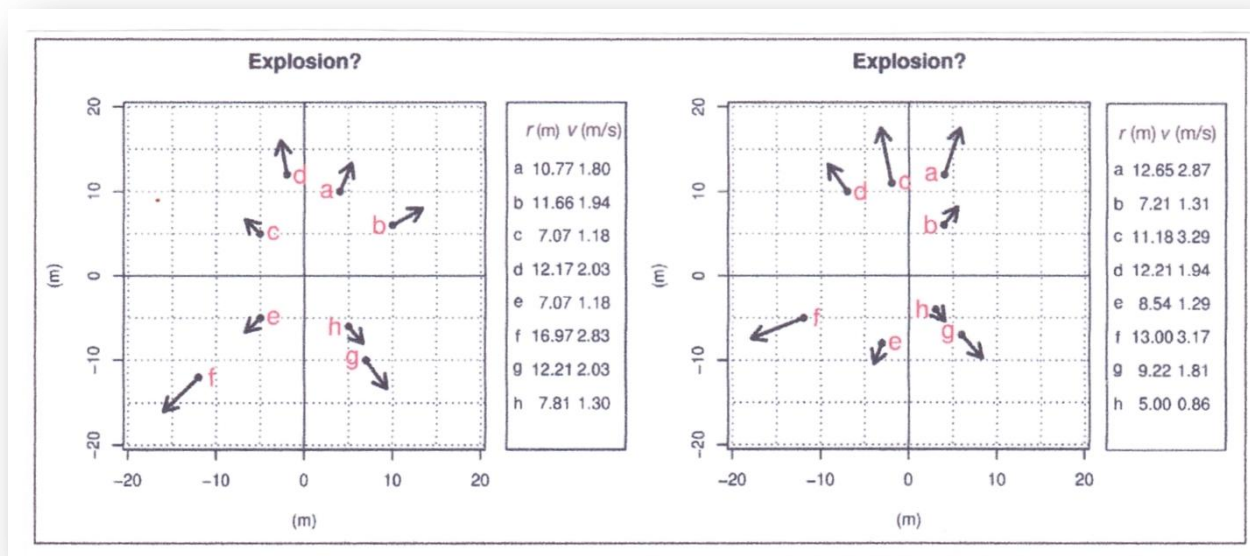
(β)

Σχήμα 4. Διαγράμματα κινουμένων σωματιδίων (α) και (β)

Το ερώτημα απαντήθηκε σχετικά εύκολα αφού προεκτείνοντας τους φορείς των διανυσμάτων των ταχυτήτων, είδαν ότι στο Σχήμα 4α συνέκλιναν στο ίδιο σημείο, το οποίο θεωρήθηκε και σημείο της αρχικής έκρηξης. Τα κριτήριά τους για την αναγνώριση του στιγμιότυπου της έκρηξης ήταν ότι: α) όλα τα σωματίδια πρέπει να απομακρύνονται από το ίδιο κεντρικό σημείο και β) όλα τα θραύσματα σε μία έκρηξη δεν φεύγουν υποχρεωτικά με την ίδια ταχύτητα από το κεντρικό σημείο. Το δεύτερο κριτήριο προέκυψε ύστερα από συζήτηση και δικές μας υποδείξεις. Ρωτήθηκαν ακόμη για τον χρόνο κίνησης των διαφόρων σωματιδίων του στιγμιότυπου της έκρηξης και ύστερα από διερεύνηση συμφώνησαν ότι ο χρόνος κίνησης για όλα, από τη στιγμή της έκρηξης μέχρι τις θέσεις που κατείχαν στο στιγμιότυπο, οφείλει να είναι ο ίδιος. Υπογραμμίσαμε ότι αυτό το εύρημά ήταν σημαντικό για την περαιτέρω επεξεργασία του θέματος.

Στη συνέχεια δόθηκαν άλλα δύο διαγραμματικά στιγμιότυπα (Σχήματα 5α, 5β) καθώς και επιπλέον δύο πίνακες που περιείχαν αφενός μεν την απόσταση κάθε σωματιδίου από την αρχική θέση, αφετέρου δε το μέτρο των ταχυτήτων. Όλα τα διανύσματα των ταχυτήτων των σωματιδίων και στα δύο στιγμιότυπα, προεκτεινόμενα περνούσαν από την αρχή των αξόνων του συστήματος συντεταγμένων.

Τους προτρέψαμε για κάθε σωματίδιο σε κάθε διαγραμματικό στιγμιότυπο, με τη βοήθεια των αντιστοιχών πινάκων, να προσδιορίσουν το λόγο (v/r) , λαμβάνοντας υπόψη ότι η κίνηση κάθε σωματιδίου είναι ευθύγραμμη και ομαλή, δηλαδή ότι ισχύει $v=r \cdot (1/t)$, και ότι ο χρόνος κίνησης για το καθένα σωματίδιο είναι ίδιος.



Σχήμα 5. Διαγράμματα κινουμένων σωματιδίων με δεδομένα θέσης (α) και ταχύτητας (β)

Εύκολα βρήκαν, ύστερα από υπολογισμούς, ότι για το αριστερό στιγμιότυπο (Σχήμα 5α) ο λόγος (v/r) ήταν σταθερός ενώ για το δεξιό στιγμιότυπο (Σχήμα 5β) όχι. Τι σήμαινε όμως αυτό για τα σωματίδια του δεξιού στιγμιότυπου; Καθοδηγούμενοι από εμάς, ανακάλυψαν ότι στο δεξιό στιγμιότυπο όλα τα σωματίδια δεν ξεκίνησαν από την ίδια θέση τη στιγμή $t=0$, κινούμενα για ίσα χρονικά διαστήματα, άρα δεν αποτελούσαν μέρη της ίδιας κεντρικής έκρηξης. Αντιθέτως, διαπίστωσαν το αριστερό στιγμιότυπο αποτελούσε ένα στιγμιότυπο μιας κεντρικής έκρηξης, έξι δευτερόλεπτα μετά την εκδήλωσή της.

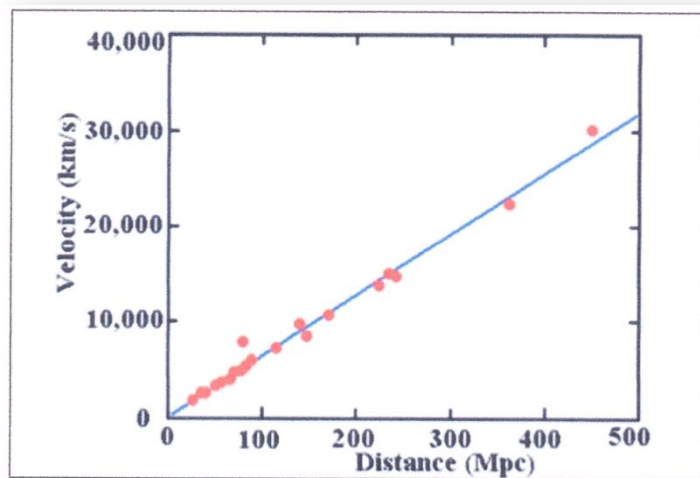
Τους ζητήσαμε να κατασκευάσουν δύο γραφικές παραστάσεις, $v = f(r)$, μία για κάθε στιγμιότυπο αντίστοιχα και να προσδιορίσουν την κλίση των ευθειών που προέκυπταν. Για το στιγμιότυπο του Σχήματος 5α, που παρίστανε έκρηξη, ζητήθηκε να εικάσουν τι εκφράζει η κλίση της ευθείας. Μετά από συζήτηση, οδηγήθηκαν στην έννοια της σταθεράς του Hubble H_0 και στην έννοια του «Χρόνου Hubble» $t=1/H_0$.

4^η Διδακτική φάση

Στην τέταρτη διδακτική φάση όλοι οι μαθητές μπορούσαν να διακρίνουν το στιγμιότυπο μιας έκρηξης από μια τυχαία κατανομή σωματιδίων γύρω από ένα σημείο, ενώ οι περισσότεροι μπορούσαν να συνδέσουν πλέον το νόμο του Hubble με μια αρχική έκρηξη, εν προκειμένω με τη Μεγάλη Έκρηξη. Προς εφαρμογή στο Σύμπαν που ζούμε, τους δόθηκε ένα πραγματικό διάγραμμα Hubble (Σχ. 7), με κατακόρυφο άξονα τις ταχύτητες απομάκρυνσης από τη Γη μερικών σουπερνόβα τύπου I_A αλλά και κηφείδων που παρατηρήθηκαν σε άλλους γαλαξίες και οριζόντιο άξονα τις αντίστοιχες αποστάσεις

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

τους από τη Γη. Δόθηκαν επίσης ότι $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ έτη φωτός} = 3,09 \times 10^{13} \text{ km}$ και ότι η σημερινή αποδεκτή ηλικία του Σύμπαντος είναι 13,8 δισεκατομμύρια έτη.



Σχήμα 7. Διάγραμμα Hubble: δημιουργήθηκε από τον Dr. Siobahn Morgan με δεδομένα από τους Riess *et al* (1996)

5^η Διδακτική φάση

Τέθηκαν τα παρακάτω ερωτήματα:

1. Το διάγραμμα του Σχήματος 7 αντιστοιχεί κατά τη γνώμη σας σε ένα «σύμπαν» που προήλθε από μια αρχική έκρηξη; Γιατί; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
2. Βρείτε την κλίση της ευθείας στο διάγραμμα του Σχήματος 7, δηλαδή τη σταθερά Hubble H_0 και με βάση αυτή, προσδιορίστε την ηλικία του Σύμπαντος.
3. Τι εκφράζει η τιμή της σταθεράς Hubble H_0 που προσδιορίσατε;
4. Πόση απόκλιση παρουσιάζεται από την αποδεκτή σήμερα τιμή για την ηλικία του Σύμπαντος; Γιατί;

Η απάντηση στο πρώτο ερώτημα φάνηκε σχετικά εύκολη αφού γρήγορα οι μαθητές διέκριναν τη γραμμική εξάρτηση της ταχύτητας απομάκρυνσης των γαλαξιών (σουπερνόβα και κηφείδων), με την απόστασή τους από τη Γη. Οδηγήθηκαν επίσης στην αρχική Μεγάλη Έκρηξη από το γεγονός ότι ο λόγος (v/r) ήταν σταθερός, όπως άλλωστε είχαν πιστοποιήσει στο διαγραμματικό στιγμιότυπο του Σχήματος 5α.

Η απάντηση στο δεύτερο ερώτημα ήταν υπολογιστική, αν και κάποιοι από τους μαθητές δυσκολεύτηκαν στη χρήση των μονάδων. Οι περισσότεροι κατάφεραν να προσδιορίσουν το χρόνο που πέρασε από τη Μεγάλη Έκρηξη ως σήμερα, δηλαδή την ηλικία του Σύμπαντος, προσδιορίζοντας τη σταθερά του Hubble σε $H_0 \simeq 64 \text{ km/s/Mpc}$ και κατόπιν το χρόνο: $t = 1/H_0 \simeq 15 \text{ δισεκατομμύρια χρόνια}$.

Στο τρίτο ερώτημα δυσκολεύτηκαν επίσης να απαντήσουν. Με τη δική μας καθοδήγηση οδηγήθηκαν τελικά στο συμπέρασμα ότι ένα ουράνιο αντικείμενο, αν βρίσκεται σε απόσταση από εμάς ίση με 1 Mpc, θα απομακρύνεται λόγω διαστολής του Σύμπαντος, με ταχύτητα 64 km/s. Η σημασία του ακριβή προσδιορισμού της τιμής αυτής στην κοσμολογία συζητήθηκε στο ίδιο ερώτημα.

Στο τέταρτο ερώτημα, προσδιόρισαν την απόκλιση περίπου 9%, δυσκολεύτηκαν όμως να τη δικαιολογήσουν. Έγινε συζήτηση για την περίοδο της πληθωριστικής διαστολής του Σύμπαντος καθώς για τη συνεχιζόμενη επιταχυνόμενη διαστολή του. Οι ανωμαλίες αυτές στη διαστολή του, δικαιολογούν ως ένα βαθμό την απόκλιση χωρίς όμως να έχει δοθεί οριστική εξήγηση, αφού αυτό το θέμα είναι ακόμη ανοικτό.

Συμπεράσματα

Οι δραστηριότητες που υλοποιήθηκαν με τη μορφή διερευνητικής εργασίας σε μια ανομοιογενή ηλικιακή τάξη, πέτυχαν τους αρχικούς στόχους που είχαν τεθεί. Οι μαθητές αισθητοποίησαν, με το πρότυπο του μπαλονιού, τη διαστολή του σύμπαντος και την αμοιβαία απομάκρυνση όλων των «αντικειμένων» στην επιφάνειά του χωρίς την ανάγκη ύπαρξης κεντρικού σημείου, καθώς επίσης και τη γραμμική εξάρτηση που εμφανίζεται μεταξύ της ταχύτητας απομάκρυνσης ενός «αντικειμένου» από τον «παρατηρητή» του και της απόστασής του από αυτόν. Δηλαδή επιβεβαίωσαν ποιοτικά το νόμο του Hubble. Συνειδητοποίησαν ακόμη ότι κάθε διαφορετικό μπαλόνι αποτελούσε ένα διαφορετικό σύμπαν γι' αυτούς, που όμως ο νόμος του Hubble ίσχυε αν και με διαφορετική τιμή σταθεράς.

Σε ό,τι αφορά τη δεύτερη δραστηριότητα που δόθηκε στους μεγαλύτερους μαθητές, αυτοί εμβάθυναν στη σύνδεση των ευρημάτων του Edwin Hubble με τη Μεγάλη Έκρηξη. Διαπίστωσαν ακόμη ότι το Σύμπαν είναι πολύ πιο πολύπλοκο και δεν προσομοιώνεται τόσο απλά η εξέλιξή του με μια αρχική έκρηξη. Εξεπλάγησαν μάλιστα όταν έμαθαν ότι το Σύμπαν αντί να επιβραδύνει τη διαστολή του λόγω βαρύτητας, επεκτείνεται με επιτάχυνση η οποία αυξάνει όσο τα «αντικείμενα» απομακρύνονται από εμάς. Έτσι δημιουργήθηκαν κίνητρα για περαιτέρω ενημέρωση και μελέτη του θέματος.

Βιβλιογραφία

Forringer, T. (2014). A Guided Inquiry on Hubble Plots and the Big Bang. *The Physics Teacher*, 52, 199, doi: 10.1111/1.4868929.

Riess, A. et al. (1996). A Precise Distance Indicator: Type IA Supernova Multicolor Light – Curve Shapes. *Astrophysical Journal*, 473.

Spanos, S.I and Xenakis, Ch., T. (2013). Learning Astronomy Through Inquiry and by means of self-constructions. *Astronomy and Space Society and Ellinogermaniki Agogi*, Athens, p. 192.

Γαβρίλης, Κ., Μεταξά Α., Νιάρχος Π., Παπαμιχάλης, Κ. (2008). *Στοιχεία Αστρονομίας και Διαστημικής*. ΟΕΔΒ.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Μαυρομάτης, Κ. (2012). *Στοιχεία Αστρονομίας, Αστροφυσικής και Διαστημικής*, τεύχος 2ο. Εταιρεία Αστρονομίας και Διαστήματος, Βόλος.

Ξενάκης, Χ., Θ. και Σπανός, Σ., Ι. (2012). *Στοιχεία Αστρονομίας, Αστροφυσικής και Διαστημικής. Διερευνητικές εργασίες, Πειραματικές δραστηριότητες και Πρακτικές εφαρμογές*, τεύχος 4ο. Εταιρεία Αστρονομίας και Διαστήματος, Βόλος.

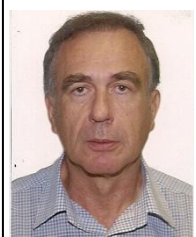
Hawking, S. (2011). *The big bang*. Διαθέσιμο στο <https://www.youtube.com/watch?v=gs-yWMuBNr4>, Πρόσφατη προσπέλαση 5-11-2015.

History of the Universe in 10 minutes (2015). Διαθέσιμο στο <https://www.youtube.com/watch?v=toxZ1rbkwZk>, Πρόσφατη προσπέλαση 5-11-2015.

Όλες οι φωτογραφίες είναι των συγγραφέων.



Ο Χρίστος Ξενάκης σπούδασε Φυσική στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Πραγματοποίησε μεταπτυχιακές σπουδές στη Διδακτική Φυσικών Επιστημών και πήρε Διδακτορικό δίπλωμα στη Φυσική με εξειδικεύσεις στο Παρίσι, στη Λυών και στο Σαουθάμπτον της Αγγλίας. Έχει διδάξει στη Μέση Εκπαίδευση ως καθηγητής Φυσικής, ενώ υπήρξε Διευθυντής Λυκείου, Σχολικός Σύμβουλος Φυσικών Επιστημών, Πάρεδρος ε.θ. του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, καθηγητής Φυσικής και Συντονιστής του Τομέα Φυσικών Επιστημών στο European School of Brussels III (Βέλγιο).



Ο Σεραφεΐμ Σπανός αποφοίτησε από το Φυσικό τμήμα του Πανεπιστημίου Αθηνών και πραγματοποίησε μεταπτυχιακές σπουδές στο ίδιο Πανεπιστήμιο με αντικείμενο την μετεωρολογία. Εργάζεται από το 2000 στη Μέση Εκπαίδευση ως καθηγητής κλάδου ΠΕ04. Παράλληλα ολοκλήρωσε τη διδακτορική του διατριβή στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης σε θέματα Συνοπτικής Κλιματολογίας. Υπήρξε Διευθυντής στο Γυμνάσιο Ιωλκού ενώ έχει υπηρετήσει και επί τετραετία ως υπεύθυνος του ΕΚΦΕ Μαγνησίας.

Διδακτική προσέγγιση της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας σε μαθητές Λυκείου: Προσομοιώσεις ή νοητικά πειράματα;

Γεωργία Θεοδούλου

Η Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας (ΕΘΣ) είναι η πιο γνωστή, ονομαστικά, επιστημονική θεωρία στους μαθητές (Caruano, 1997). Από την άποψη της εκπαίδευσης, η ΕΘΣ είναι ένα ενδιαφέρον και κομβικό κεφάλαιο, δεδομένου ότι αποτελεί ένα πραγματικό σημείο καμπής στην επιστήμη της Φυσικής καθώς είναι η γέφυρα που ενώνει την κλασική με τη σύγχρονη Φυσική.

Πολλοί είναι οι λόγοι που σχετίζονται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ΕΘΣ και συνηγορούν υπέρ της εισαγωγής της στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Μέσω της ΕΘΣ οι μαθητές μπορούν να διδαχθούν βασικά χαρακτηριστικά της φύσης της επιστήμης. Τους δίνεται η ευκαιρία να μελετήσουν τη διαδικασία μετάβασης από τη Νευτώνεια Φυσική στη σύγχρονη και να εντοπίσουν τα κρίσιμα σημεία που οδήγησαν στη θεμελίωση της ΕΘΣ (Borghi, De Ambrossis & Ghisolfi, 1993). Η γνώση της ΕΘΣ διαμορφώνει μια πιο ολοκληρωμένη περιγραφή του φυσικού κόσμου μετασχηματίζοντας την ήδη δομημένη στο μυαλό των μαθητών κλασική εικόνα για τις λειτουργίες του (Arriasecq & Greca, 2010). Οι Borghi et al. (1993) θεωρούν απαραίτητη την επαφή των μαθητών με φαινόμενα που αντιτίθενται στην κοινή λογική και στην καθημερινή εμπειρία. Μέσω αυτής έχουν την ευκαιρία να «αμφισβητήσουν» την προνομιακή θέση που θεωρούν ότι κατέχουν στον κόσμο (Angotti, 1978).

Φυσικά, η διδασκαλία της ΕΘΣ κρύβει πολλές προκλήσεις καθώς τα θέματά της ωθούν το μαθητή ένα βήμα πιο πέρα από τον «αγγίζω και αισθάνομαι» κόσμο της Νευτώνειας Φυσικής, σε έναν κόσμο όπου ο ίδιος έχει μικρή διαισθητική πρόσβαση. Το γεγονός αυτό απαιτεί την εισαγωγή νέων εργαλείων διδασκαλίας και μια διαφορετική εστίαση στην παιδαγωγική.

Διδακτικά μέσα: προσομοιώσεις ή νοητικά πειράματα;

Πολλές έρευνες έχουν ασχοληθεί με τον εντοπισμό προβληματικών περιοχών στην εκμάθηση της σύγχρονης Φυσικής από τις πρώτες τάξεις του Γυμνασίου μέχρι και σε προχωρημένο προπτυχιακό επίπεδο. Ένα κοινό μοτίβο που έχει εντοπιστεί είναι η αποσύνδεση μεταξύ της καθημερινής

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

πραγματικότητας των μαθητών και των εννοιών που διδάσκονται. Επομένως, η ανάγκη ανάπτυξης ενός διαισθητικού βοηθητικού εργαλείου για τους μαθητές είναι επιτακτική (Ausubel, 2000).

Το γεγονός ότι η ΕΘΣ εφαρμόζεται σε ταχύτητες που πλησιάζουν την ταχύτητα του φωτός καθιστά ανέφικτη την προσφυγή στο πραγματικό εργαστήριο για τη διδασκαλία της στο Λύκειο. Απομένουν δύο εργαλεία τα οποία μπορούν να εξυπηρετήσουν τους στόχους του μαθήματος: οι προσομοιώσεις και τα νοητικά πειράματα.

Οι προσομοιώσεις φυσικών φαινομένων στον υπολογιστή έχουν πλέον αναπτυχθεί και εξελιχθεί προσεγγίζοντας πολύ ικανοποιητικά τα υπό μελέτη φαινόμενα (Morgan & Morrison, 1999). Ένα πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα να απεικονίζουν φαινόμενα τεράστιας πολυπλοκότητας. Επιπλέον, επιτρέπουν στο χρήστη να κάνει υποθέσεις ως προς τη μεταβολή των παραμέτρων που διέπουν τα υπό μελέτη φαινόμενα τις οποίες μπορεί να ελέγξει άμεσα. Οι προσομοιώσεις προσφέρουν κίνητρα μάθησης στους μαθητές, ενθαρρύνουν την αλληλεπίδρασή τους και αυξάνουν την ικανοποίησή τους από το μάθημα (Gallardo et al., 2007). Σύμφωνα με τον Webb (2005), εστιάζοντας σε συγκεκριμένες περιοχές που οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν και προσεγγίζοντάς τις με προσεκτικά σχεδιασμένες προσομοιώσεις μπορεί να επέλθει μάθηση. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη μελέτη της ΕΘΣ καθώς εργαστηριακές ασκήσεις, πρακτικά, δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Τα νοητικά πειράματα είναι πειράματα που σχεδιάζονται από τους επιστήμονες και πραγματοποιούνται νοητικά στο "εργαστήριο του μυαλού" (Brown, 1991). Δηλαδή σχεδιάζονται νοητικά, χωρίς να απαιτείται να εκτελεστούν στο εργαστήριο χρησιμοποιώντας πραγματικά υλικά (Sorensen, 1992). Σύμφωνα με τον Kuhn (1977) τα νοητικά πειράματα έχουν παίξει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των Φυσικών Επιστημών και αποτελούν δυναμικά εργαλεία του ανθρώπου στην προσπάθειά του να ερμηνεύσει τα φυσικά φαινόμενα. Ο ίδιος ο Αϊνστάιν χρησιμοποιούσε τα νοητικά πειράματα όχι μόνο για να αναπτύξει τις νέες θεωρίες του αλλά και για να επικοινωνήσει με το ευρύτερο κοινό ώστε να εξηγήσει τις θεωρίες του. Ο Brown (1987), αναφέρει πως τα νοητικά πειράματα παρέχουν ένα παράθυρο μέσα από το οποίο το μυαλό ανακαλύπτει το Σύμπαν.

Η εκπαιδευτική αξία του πειραματισμού στις Φυσικές Επιστήμες δεν αμφισβητείται σε καμία περίπτωση. Με δεδομένη όμως την αδυναμία πρόσβασης σε πραγματικό εργαστήριο, το ερώτημα που τίθεται είναι ποιο είδος πειραματισμού από τα δύο παραπάνω είναι το πιο αποδοτικό για την προσέγγιση της ΕΘΣ σε τελειόφοιτους μαθητές Λυκείου: το νοητικό πείραμα ή η προσομοίωση; Αυτό είναι το ερώτημα που επιχειρούμε να απαντήσουμε σε αυτή την εργασία.

Μεθοδολογία

Επιλογή δείγματος

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν μαθητές της Γ' Λυκείου που φοιτούσαν τη σχολική χρονιά 2013-2014 σε ένα δημόσιο σχολείο της επαρχίας Λάρνακας. Η συγκεκριμένη ηλικιακή κατηγορία επιλέχθηκε διότι κρίθηκε ως η καταλληλότερη για τη μελέτη των γνώσεών τους σε σύγχρονα θέματα

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Φυσικής αλλά και για την μελέτη των απόψεών τους για τις μεθόδους διδασκαλίας καθώς είναι σε θέση να παρέχουν ποιοτικές πληροφορίες.

Σχεδιασμός ερευνητικού εργαλείου

Για τη συλλογή δεδομένων σχεδιάστηκε ένα αρχικό ερωτηματολόγιο το οποίο περιλαμβάνει 32 ερωτήσεις κλειστού τύπου σε τρία μέρη. Το Α' Μέρος περιλαμβάνει 9 ερωτήσεις που αφορούν δημογραφικά στοιχεία των μαθητών, όπως το φύλο και ο βαθμός στο μάθημα της Φυσικής. Το Β' Μέρος περιλαμβάνει 10 δηλώσεις σε κλίμακα Likert που αναφέρονται σε πιθανές απόψεις μαθητών για τη σύγχρονη Φυσική καθώς και τη χρήση των νοητικών πειραμάτων και των προσομοιώσεων στο μάθημα. Οι δηλώσεις του Μέρους Β' ομαδοποιήθηκαν σε 6 παράγοντες: (α) αναγνώριση της σπουδαιότητας της σύγχρονης Φυσικής, (β) διδακτική μέθοδος και κατανόηση του μαθήματος, (γ) διδακτική μέθοδος και ικανοποίηση των μαθητών, (δ) προσομοιώσεις, (ε) νοητικά πειράματα και (στ) παραδοσιακή διδασκαλία.

Για τους σκοπούς της έρευνας συντάχθηκε επίσης ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο το οποίο δόθηκε στους μαθητές μετά την ολοκλήρωση της διδασκαλίας, με σκοπό να διαπιστωθεί αν υπήρξε αλλαγή στις δηλώσεις τους για τις μεθόδους διδασκαλίας και αν υπήρξε βελτίωση στην επίδοσή τους.

Διαδικασία εκτέλεσης της έρευνας

Καταρχάς δόθηκε προς συμπλήρωση το αρχικό ερωτηματολόγιο στους μαθητές. Μια εβδομάδα μετά ακολούθησαν τρεις 45λεπτες διδασκαλίες, σε δύο ομάδες μαθητών, οι οποίες ολοκληρώθηκαν σε χρονικό διάστημα 3 εβδομάδων και αφορούσαν την ενότητα «Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας». Στις διδασκαλίες δόθηκαν στους μαθητές ειδικά σχεδιασμένα φύλλα εργασίας που αποτέλεσαν το εργαλείο διδασκαλίας. Το διδακτικό υλικό, η παρουσίαση (σε power point) του διδάσκοντος, τα διδακτικά μέσα και τα φύλλα εργασίας διέφεραν σε κάθε ομάδα. Στην πρώτη ομάδα η διδασκαλία έγινε με τη χρήση νοητικών πειραμάτων ενώ στη δεύτερη ομάδα με τη χρήση προσομοιώσεων.

Ακολουθεί η περιγραφή μερικών δραστηριοτήτων που πραγματοποιήθηκαν κατά τις διδασκαλίες.

Διδάσκοντας την ΕΘΣ

Πρώτη διδασκαλία

Σκοπός της πρώτης διδασκαλίας ήταν ο ορισμός του συστήματος αναφοράς, η αποσαφήνιση των όρων αδρανειακό και μη αδρανειακό σύστημα αναφοράς και η εισαγωγή στην έννοια της σχετικής κίνησης. Στην ομάδα των νοητικών πειραμάτων η εισαγωγή στο μάθημα έγινε με την παρουσίαση του έργου του Escher, «Σχετικότητα», λιθογραφία, 1953 [1]. Επιλέγθηκε το έργο αυτό καθώς είναι αδύνατο να αποκοπεί σε χωρικά διακριτά τμήματα και να μελετηθεί το κάθε τμήμα ξεχωριστά. Αφαιρώντας, όμως, νοητικά ότι αντιτίθεται στη διεύθυνση της κίνησης η λιθογραφία αποκτά νόημα. Στην ομάδα των προσομοιώσεων η εισαγωγή έγινε με την παρακολούθηση ενός βίντεο [2] που παρουσιάζει ένα

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

όχημα να κινείται σε ένα χιονισμένο τοπίο και οι μαθητές είναι οι επιβάτες του οχήματος που παρατηρούν την κίνηση των χιονονιφάδων από διαφορετικές θέσεις.

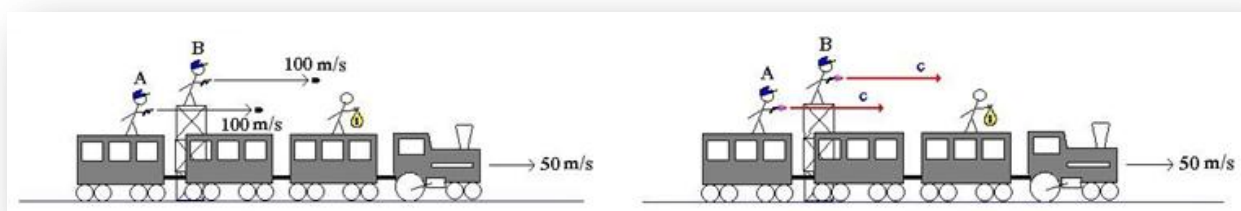
Για τον ορισμό της σχετικής ταχύτητας σε ένα αδρανειακό σύστημα αναφοράς στην ομάδα των νοητικών πειραμάτων παρουσιάστηκε το Σχήμα 1 και ακολούθησαν ερωτήσεις σχετικά με την ταχύτητα των ανθρώπων. Στην ομάδα των προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκε μια προσομοίωση της κίνησης ενός αεροπλάνου παρουσία ανέμου [3]. Μεταβάλλοντας την κατεύθυνση του ανέμου οι μαθητές κλήθηκαν να προβλέψουν την τροχιά και την ταχύτητα του αεροπλάνου.



Σχήμα 1. Το κινούμενο τρένο και οι επιβάτες του.

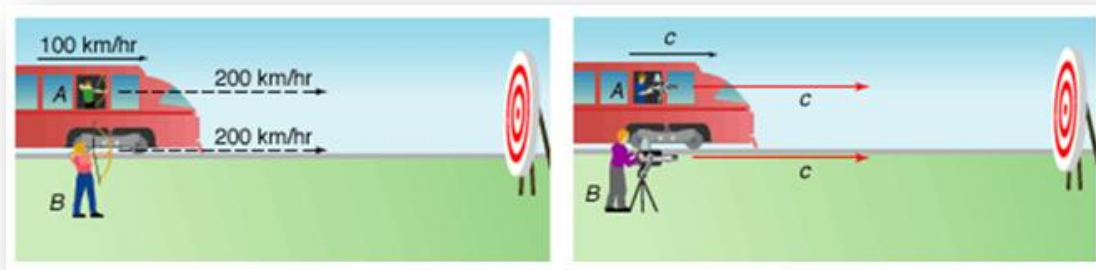
Δεύτερη διδασκαλία

Σκοπός της δεύτερης διδασκαλίας ήταν ο ορισμός του χωρόχρονου και η συζήτηση των δύο αξιωμάτων της ΕΘΣ. Για να γίνει μετάβαση από την κλασική στη σχετικιστική Φυσική οι μαθητές έπρεπε να έρθουν σε σύγκρουση με τις προϋπάρχουσες γνώσεις τους ώστε να συνειδητοποιήσουν πως η κλασική Φυσική δεν μπορεί να επιλύσει όλα τα προβλήματα. Στην ομάδα των νοητικών πειραμάτων παρουσιάστηκε και συζητήθηκε μια «σχετικιστική» ληστεία (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Σχετικιστική ληστεία (α) με πραγματικά όπλα (αριστερά), (β) με όπλα «φωτός» (δεξιά).

Στην ομάδα των προσομοιώσεων παρουσιάστηκε μια «σχετικιστική» τοξοβολία (Σχήμα 3). Οι μαθητές αυτής της ομάδας κλήθηκαν να απαντήσουν τα ίδια ερωτήματα με αυτά της πρώτης ομάδας.

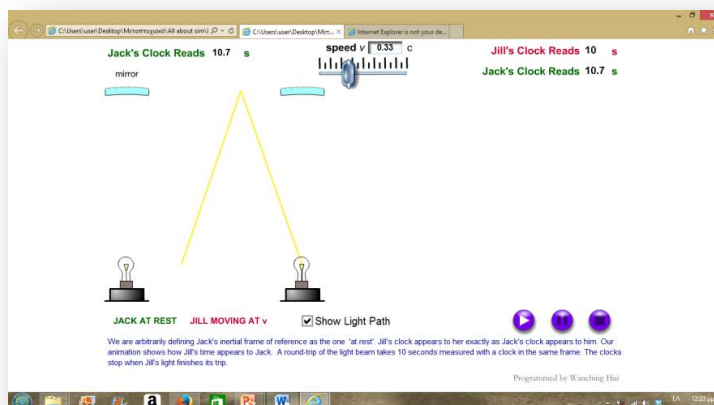


Σχήμα 3. Σχετικιστική τοξοβολία (α) με πραγματικά τόξα (αριστερά), (β) με τόξα «φωτός» (δεξιά).

Τρίτη διδασκαλία

Σκοπός της τελευταίας διδασκαλίας ήταν η μελέτη της σχετικότητας του χρόνου και του μήκους. Όσον αφορά τη μελέτη της σχετικότητας του χρόνου, στην ομάδα των νοητικών πειραμάτων επιλέγηκε ως εκπαιδευτικό υλικό ένα νοητικό πείραμα που επινοήθηκε από τον ίδιο τον Αϊνστάιν: το τρένο του Αϊνστάιν. Στη δεύτερη ομάδα το αντίστοιχο φαινόμενο μελετήθηκε χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση των «ασυγχρόνιστων» ρολογιών [4] που αποτελούν το αντίστοιχο παράδειγμα του τρένου του Αϊνστάιν.

Για την απόδειξη της μαθηματικής σχέσης που διέπει το φαινόμενο της διαστολής του χρόνου, στην ομάδα των νοητικών πειραμάτων έγινε προέκταση του νοητικού πειράματος με το τρένο, υποθέτοντας ότι στο δάπεδο του τρένου τοποθετήθηκε μια φωτεινή πηγή και ακριβώς επάνω από την πηγή ένας καθρέφτης. Ακολουθώντας, τους ζητήθηκε να προβλέψουν την τροχιά του φωτεινού παλμού στην περίπτωση που το τρένο ήταν ακίνητο και στην περίπτωση που κινείται. Στη δεύτερη ομάδα, παρουσιάσθηκε μια προσομοίωση [5], η «σχετικιστική» ρουκέτα στην οποία βρίσκονται δύο ρολόγια φωτός, καθένα στο εσωτερικό μιας ρουκέτας (Σχήμα 4). Η πρώτη ρουκέτα είναι ακίνητη, ενώ η δεύτερη εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση. Κάθε ρολόι εκπέμπει φωτεινούς παλμούς, ενώ στην οροφή κάθε ρουκέτας, ακριβώς επάνω από το ρολόι, υπάρχει καθρέφτης.



Σχήμα 4. Τα ρολόγια «φωτός».

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Μετά από χρονικό διάστημα ενός μηνός από τη λήξη των διδασκαλιών χορηγήθηκε το τελικό ερωτηματολόγιο στους μαθητές για να διαπιστωθούν τυχόν αλλαγές στις στάσεις τους σχετικά με τις μεθόδους διδασκαλίας. Επιπλέον, στόχος του τελικού ερωτηματολογίου ήταν και η διερεύνηση των γνώσεων των μαθητών και πώς αυτή εξαρτάται από τη μέθοδο διδασκαλίας.

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Για την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε περιγραφική και επαγωγική στατιστική με το στατιστικό πακέτο SPSS. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ανάλυση διασποράς (ANOVA) και ανάλυση συνδιασποράς (ANCOVA).

Αποτελέσματα

Στο πλαίσιο της έρευνας εξετάσθηκε πώς σχετίζεται η επίδοση των μαθητών με τις στάσεις τους σε θέματα σύγχρονης Φυσικής. Για να απαντηθεί το ερώτημα ζητήθηκε από τους μαθητές να δηλώσουν το βαθμό που είχαν στο μάθημα της Φυσικής στη Β' Λυκείου και να αξιολογήσουν κάποιες δηλώσεις που αφορούσαν την αναγνώριση της σπουδαιότητας της σύγχρονης Φυσικής σε κλίμακα 1-4 (1-διαφωνώ απόλυτα, 4-συμφωνώ απόλυτα).

Σύμφωνα με τον Πίνακα 1, οι συσχετίσεις μεταξύ της επίδοσης των μαθητών και των απόψεών τους για τη σύγχρονη Φυσική δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Σύμφωνα με ίδιο πίνακα, η άποψη ότι η σύγχρονη Φυσική πρέπει να διδάσκεται στο Λύκειο έχει πολύ υψηλή θετική συσχέτιση με το γεγονός ότι μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να ενημερώνονται για επίκαιρα επιστημονικά θέματα ($r=0,520$, $p=0,001$). Επίσης, παρατηρείται υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στη δήλωση πως η σύγχρονη Φυσική πρέπει να διδάσκεται στο Λύκειο και στη δήλωση πως προσφέρει ευκαιρίες για διεύρυνση των επιστημονικών οριζόντων των μαθητών ($r=0,377$, $p=0,023$).

	Πρέπει να διδάσκεται στο Λύκειο	Ενημέρωση για επιστημονικές εξελίξεις	Διεύρυνση οριζόντων/κατανόηση φαινομένων	Επίπεδο μαθητών
Πρέπει να διδάσκεται στο Λύκειο	1			
Ενημέρωση για επιστημονικές εξελίξεις	,520** ,001	1		
Διεύρυνση οριζόντων/κατανόηση φαινομένων	,377* ,023	,444** ,007	1	
Επίπεδο μαθητών	,214 ,209	,326 ,052	,121 ,483	1

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Πίνακας 1. Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ επιδόσεων, φύλου και των στάσεων για τη Σύγχρονη Φυσική.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Επιπλέον, η έρευνα εξέτασε πώς διαφοροποιούνται οι στάσεις των μαθητών σε θέματα σύγχρονης Φυσικής ανάλογα με το φύλο τους. Από τον Πίνακα 2 παρατηρείται πως τόσο τα αγόρια όσο και τα κορίτσια έχουν θετικές στάσεις για τη σύγχρονη Φυσική, χωρίς να παρατηρείται κάποια στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στα δύο φύλα.

Στάσεις των μαθητών για τη σύγχρονη Φυσική	Φύλο			
	Αρρεν		Θήλυ	
	$\bar{X}$	τ.α	$\bar{X}$	τ.α
πριν τη διδασκαλία	3,421	,507	3,274	,659
μετά τη διδασκαλία	3,403	,798	3,490	,356

Πίνακας 2. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις (τ.α) των στάσεων των μαθητών για τη σύγχρονη Φυσική ανάλογα με το φύλο.

Επιπλέον, ένας από τους σκοπούς της έρευνας αφορούσε τη διερεύνηση της ικανοποίησης των μαθητών για το μάθημα σε σχέση με το είδος της διδασκαλίας. Η υψηλότερη κατά μέσο όρο δήλωση υποδηλώνει πως το μάθημα είναι πιο ευχάριστο με την χρήση προσομοιώσεων ($\bar{X}=3,61$, τ.α.=0,45). Επίσης, οι μαθητές θεωρούν πως η χρήση ποικίλων διδακτικών μέσων και τρόπων αυξάνει την ικανοποίησή τους για το μάθημα (Πίνακας 3).

	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Οι προσομοιώσεις και τα εκπαιδευτικά βίντεο κάνουν το μάθημα πιο ευχάριστο.	2,50	4,00	3,61	,45
Τα νοητά πειράματα κάνουν το μάθημα πιο ευχάριστο.	2,00	4,00	3,18	,51
Το μάθημα είναι πιο ευχάριστο όταν ο εκπαιδευτικός χρησιμοποιεί ποικιλία διδακτικών τρόπων.	2,50	4,00	3,57	,45
Το μάθημα είναι πιο ευχάριστο όταν η διδασκαλία είναι παραδοσιακή.	1,50	4,00	2,76	,68

Πίνακας 3. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις της ικανοποίησης των μαθητών ανάλογα με το είδος της διδασκαλίας.

Η σχέση ανάμεσα στις επιδόσεις των μαθητών και στις προτιμήσεις τους για το είδος της διδασκαλίας είναι στατιστικά σημαντική, καθώς παρατηρείται μια πολύ υψηλή αρνητική συσχέτιση

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

($r=-0,528$, $p=0,001$) ανάμεσα στις επιδόσεις των μαθητών και στην υποστήριξή τους για την παραδοσιακή διδασκαλία (Πίνακας 4). Καθώς οι επιδόσεις των μαθητών βελτιώνονται, σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία, οι στάσεις τους γίνονται όλο και πιο αρνητικές.

	Επίπεδο μαθητών	Πόσο σου αρέσει το μάθημα της Φυσικής	Παραδοσιακή διδασκαλία
Επίπεδο μαθητών	1		
Πόσο σου αρέσει το μάθημα της Φυσικής	,404 [*] ,014	1	
Παραδοσιακή διδασκαλία	-,528 ^{**} ,010	,018 ,918	1

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Πίνακας 4: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του επιπέδου των μαθητών και της παραδοσιακής διδασκαλίας.

Για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις προτιμήσεις των μαθητών για το είδος της διδασκαλίας σε σχέση με το τμήμα ακολούθησε ανάλυση ANOVA. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ήταν στατιστικά σημαντικά (Πίνακας 5), καθώς υπήρξαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στη μεταβλητή «τμήμα» και τη χρήση προσομοιώσεων στη διδασκαλία μετά την ολοκλήρωση των μαθημάτων ($F=9,722$, $p=0,004$).

	Άθροισμα τετραγώνων	β.ε.	Μέσοι τετραγώνων	Κριτήριο F	p
Προσομοιώσεις- πριν	,042	1	,042	,098	,757
Νοητικά πειράματα - πριν	,012	1	,012	,035	,852
Προσομοιώσεις- μετά	3,237	1	3,237	9,722	,004
Νοητικά πειράματα- μετά	,681	1	,681	,881	,355

Πίνακας 5. Αποτελέσματα ANOVA για τη σύγκριση των στάσεων των μαθητών για τις μεθόδους διδασκαλίας πριν και μετά την διδασκαλία ως προς το τμήμα.

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 6 φαίνεται πως με την ολοκλήρωση των διδασκαλιών οι μαθητές της 2ης ομάδας στην οποία η διδασκαλία πραγματοποιήθηκε υποστηριζόμενη από προσομοιώσεις ανέπτυξαν πιο θετικές στάσεις για αυτές ($\bar{X}=3,74$, $\tau.α.=0,42$), οι οποίες όπως έχει προαναφερθεί ήταν

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

στατιστικά σημαντικές. Επίσης, οι μαθητές της ίδιας ομάδας, με τη λήξη των δύο διδασκαλιών φαίνεται πως έχουν αναπτύξει γενικά μια πιο θετική στάση έναντι της ποικιλίας διδακτικών μεθόδων ($\bar{X}=3,63$, $\tau.α.=0,58$), σε σχέση με την άλλη ομάδα.

Είδος διδασκαλίας που κάνει το μάθημα πιο ευχάριστο	Ομάδα			
	Νοητικών πειραμάτων		Προσομοιώσεων	
	$\bar{X}$	$\tau.α$	$\bar{X}$	$\tau.α$
προσομοιώσεις	3,47	,45	3,74	,42
ποικιλία διδακτικών μεθόδων	3,41	,62	3,63	,58

Πίνακας 6. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις της ικανοποίησης των μαθητών για το είδος της διδασκαλίας ανάλογα με το τμήμα τους.

Το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας εξέτασε πώς σχετίζεται η μάθηση με το είδος της διδασκαλίας. Αρχικά, υπολογίσθηκαν οι μέσοι όροι των μαθητών των δύο ομάδων στο αρχικό και τελικό τεστ. Σύμφωνα με τον Πίνακα 7, ο μέσος όρος στο τεστ πολλαπλής επιλογής, στην πρώτη ομάδα αυξήθηκε από 10,00 ($\tau.α.=2,25$) σε 12,87 ($\tau.α.=3,23$) στο τέλος των διδασκαλιών, ενώ στην δεύτερη ομάδα οι αντίστοιχες τιμές ήταν 8,62 ($\tau.α.=2,50$) και 11,21 ($\tau.α.=3,02$). Για να διερευνηθεί αν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους βαθμούς των μαθητών πριν και μετά τη διδασκαλία έγινε συσχέτιση των δύο μεταβλητών. Ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε 0,494 ($p=0,002$) και είναι στατιστικά σημαντική η διαφορά των δύο βαθμών.

Μέσος όρος	Τμήμα			
	Γ'1		Γ'2	
	$\bar{X}$	$\tau.α$	$\bar{X}$	$\tau.α$
αρχικού διαγωνίσματος	10,00	2,25	8,62	2,50
τελικού διαγωνίσματος	12,87	3,23	11,21	3,02

Πίνακας 7. Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις των διαγωνισμάτων των μαθητών ανάλογα με το τμήμα.

Για να διαπιστωθεί κατά πόσο σχετίζεται η μάθηση με το είδος της διδασκαλίας έγινε ανάλυση συνδιασποράς (ANCOVA) στο βαθμό του αρχικού και του τελικού διαγωνίσματος ως προς το τμήμα, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της μεταβλητής «Επίδοση στη Φυσική». Από την ανάλυση προκύπτει πως δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στους βαθμούς του αρχικού

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

διαγωνίσματος ανάμεσα στα δύο τμήματα ($F=2,354$, $p=0,134$). Επίσης, προκύπτει πως ούτε στα αποτελέσματα του τελικού διαγωνίσματος υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στα δύο τμήματα ($F=1,249$, $p=0,300$), γεγονός που υποδηλώνει πως οι διαφορετικές μέθοδοι διδασκαλίας δεν επηρέασαν τα μαθησιακά αποτελέσματα, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διδακτικής παρέμβασης.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδηλώνουν πως οι μαθητές ενδιαφέρονται να διδαχθούν την ΕΘΣ ανεξαρτήτως των επιδόσεών τους στο μάθημα της Φυσικής. Αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στο ότι η σύγχρονη Φυσική εξάπτει την περιέργεια των μαθητών καθώς στο μυαλό τους είναι χαραγμένη η εικόνα του Αϊνστάιν, προσωπικότητας συνυφασμένης με τη σύγχρονη Φυσική.

Δεν παρατηρείται κάποια διαφορά ανάμεσα στο φύλο και τις στάσεις των μαθητών για τη σύγχρονη Φυσική. Το θέμα της διαφοροποίησης των δύο φύλων ως προς το ενδιαφέρον, την επίδοση και τη διαμόρφωση στάσεων απέναντι στη Φυσική είναι πάντοτε επίκαιρο τις τελευταίες δεκαετίες. Αν και τις προηγούμενες δεκαετίες ευρήματα ερευνών υποδήλωναν μειωμένο ενδιαφέρον των κοριτσιών και χαμηλά ποσοστά συμμετοχής στη Φυσική, τα αποτελέσματα πρόσφατων διεθνών ερευνών (PISA, 2012) σε κάποιες χώρες κατέγραψαν χάσμα υπέρ των κοριτσιών. Η διαφορά στις στάσεις και τις επιδόσεις ανάμεσα στα δύο φύλα μειώνεται, γεγονός που είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της έρευνας.

Σχετικά με το είδος της διδασκαλίας και την ικανοποίηση, οι μαθητές υποστηρίζουν πως το μάθημα είναι πιο ευχάριστο όταν ο εκπαιδευτικός χρησιμοποιεί τις προσομοιώσεις κατά τη διδασκαλία, έναντι των νοητικών πειραμάτων. Γενικά, οι προσομοιώσεις συμβάλλουν στην αύξηση του ενδιαφέροντος των μαθητών, στην ικανοποίηση για τη διδασκαλία, στην προώθηση ενός πιο καλού μαθησιακού περιβάλλοντος και στην ανάπτυξη δεξιοτήτων επίλυσης προβλημάτων (Walford, 1981). Συνεισφέρουν στην ενεργοποίηση των κινήτρων των μαθητών και στην απόκτηση θετικών στάσεων για το μάθημα.

Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδηλώνουν πως και οι δύο διδακτικές μέθοδοι μπορούν να επιφέρουν βελτίωση στα μαθησιακά αποτελέσματα των μαθητών, χωρίς να υπάρχει κάποια διαφοροποίηση ανάμεσά τους. Εντούτοις, εντοπίζεται μια δυσκολία των μαθητών να αντιληφθούν τις έννοιες της σύγχρονης Φυσικής, όπως το σύστημα αναφοράς, τη σχετικότητα του χρόνου και του μήκους. Παρόμοια ήταν και τα ευρήματα της έρευνας του Machold (1983), η οποία πραγματοποιήθηκε σε μαθητές μικρότερης ηλικίας (Γ' Γυμνασίου – Α' Λυκείου), όπου εντόπισε έντονες δυσκολίες στην κατανόηση της σχετικότητας και του ταυτοχρονισμού.

Σχόλια

1. <http://herakleidon-art.gr/el/detail.cfm?ItemID=31&PhotoID=105&get=exhibits&StartRow=22>
2. https://www.youtube.com/watch?v=-OmK3rGk_I
3. <http://www.physicsclassroom.com/mmedia/vectors/plane.cfm>

4. http://www.pitt.edu/~jdnorton/Goodies/rel_of_sim/
5. http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/lightclock.swf

Βιβλιογραφία

- Angotti, J. A., Caldas, I. L., Pelizoicar Neta D., Pernambuco, M. M. and Rudinger, E. (1978). Teaching Relativity with a different Philosophy. *American Journal of Physics*, 46, 1258-1262.
- Arriasecq, I., & Greca, I. (2010). A Teaching-Learning Sequence for the Special Relativity Theory at High School Level Historically and Epistemologically Contextualized. *Science & Education*, DOI 10.1007/s11191-010-9231-5.
- Ausubel, D.P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Boston: Kluwer.
- Borghi, L., De Ambrossis, A., & Ghisolfi, E. (1993). Teaching Special Relativity in High School. In *proceedings of the III seminar misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Ithaca, NY in press.
- Brown, James Dean. (1991). *Understanding research in second language learning: A teacher's guide to statistics and research design*. Cambridge: Cambridge University Press. 207pp.
- Gallardo, S., Barrero, F., Martinez-Torres, R., Toral, S., & Duran, M., (2007). Addressing learner satisfaction outcomes in electronic instrumentation and measurement laboratory course organization. *IEEE Transactions on Education*, 50(2), 129-136.
- Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolutions*. 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press.
- Morrison, M., & Morgan, M., (1999). *Models as mediating instruments*. In *Models as mediators*, edited by M. Morgan and M. Morrison. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rutten, N., Van Joolinger, W., & Van der Veen, J. (2012). The learning effects of computer simulation in science education. *Computers & Education*, 58, 136-153.
- Villani, A., & Arruda, S. (1998). Special theory of relativity and the history of science. *Science & Education*, 7(1), 85-100.
- Δημητριάδη, Κ., Χαλκιά, Κ. & Σκορδούλης, Κ. (2009). Διδακτική προσέγγιση της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. *Πρακτικά σε ηλεκτρονική μορφή του 6ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Οι πολλαπλές Προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της Μάθησης των Φυσικών Επιστημών*, Φλώρινα 7 - 10 Μαΐου 2009, σ. 309-317.



Η Γεωργία Θεοδούλου έχει πτυχίο Φυσικής από το Πανεπιστήμιο Κύπρου και μεταπτυχιακό στις Επιστήμες Αγωγής στην κατεύθυνση "Θεωρία, Πρακτική και Αξιολόγηση Διδασκαλίας" από το Πανεπιστήμιο Λευκωσίας. Είναι υποψήφια διδάκτωρ στις Επιστήμες Αγωγής, στην κατεύθυνση "Διδακτική των Μαθηματικών και των Φυσικών Επιστημών" στο Πανεπιστήμιο Λευκωσίας. Τα ερευνητικά της ενδιαφέροντα εστιάζονται στην επιμόρφωση των εκπαιδευτικών με έμφαση στη χρήση της μοντελοποίησης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

Στη στήλη “Μέσα στην τάξη” παρουσιάζονται ιδέες, πρακτικές και σχέδια μαθήματος που έχουν εφαρμοστεί στην τάξη και προτείνουν μια πρωτότυπη, διαφορετική, καινοτόμα διδακτική προσέγγιση που προκαλεί το ενδιαφέρον στα παιδιά.

Τσίπουρο με γλυκάνισο

Βασίλης Νούσης

Η παρούσα εργασία δεν αφορά τη -μέχρι τούδε και πιθανώς εις το διηνεκές- αδυναμία να δοθεί κοινά αποδεκτή απάντηση στο ερώτημα «τσίπουρο με ή χωρίς γλυκάνισο;» Αφορά τρόπους με τους οποίους μπορούμε να διερευνήσουμε σημαντικές ιδιότητες του φωτός, εκμεταλλευόμενοι τη θεμελιώδη διαφορά του τσίπουρου με γλυκάνισο σε σχέση με το τσίπουρο χωρίς γλυκάνισο: Εκτός από τον έντονα αρωματικό χαρακτήρα του το τσίπουρο με γλυκάνισο θολώνει με την προσθήκη μικρής ποσότητας νερού. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει με το ούζο και με άλλα ποτά που περιέχουν γλυκάνισο. Πρόκειται για ένα φαινόμενο γνωστό στη διεθνή βιβλιογραφία ως «ouzo effect» και οφείλεται στη σκέδαση του φωτός.

Εισαγωγή

Κατά την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη εκτός των άλλων, το μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο του ηλεκτρομαγνητικού κύματος μπορεί να επάγει ηλεκτρική διπολική ροπή στα σωματίδια της ύλης ή σε επιμέρους τμήματά τους. Τα δίπολα αυτά ταλαντώνονται στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου με συχνότητα ίση με αυτή του προσπίπτοντος φωτός, και λειτουργώντας -σύμφωνα με την κλασσική ηλεκτρομαγνητική θεωρία- ως δευτερογενείς πηγές, επανεκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις φως με την ίδια συχνότητα (Bohren & Huffman, 1998, σ. 7). Το φαινόμενο που ονομάζεται σκέδαση του φωτός συνοδεύεται συνήθως από αλλαγή της κατάστασης πόλωσης της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με την προσπίπτουσα.

Για ένα τελείως ομοιογενές μέσο χωρίς τοπικές μεταβολές του δείκτη διάθλασης, τα δευτερογενή κύματα συμβάλλουν καταστροφικά σε όλες τις κατευθύνσεις εκτός από την αρχική κατεύθυνση διάδοσης του φωτός (Grillo, 2003). Το μέσο εμφανίζεται διαυγές και η προσπίπτουσα δέσμη είναι ορατή μόνο κοιτάζοντας κατά τη διεύθυνση διάδοσής της.

Αλλά κανένα μέσο δεν είναι απολύτως ομοιογενές ως αποτελούμενο από σωματίδια καθένα από τα οποία μπορεί ανάλογα με το μέγεθός του να δράσει ως ένα ή περισσότερα κέντρα σκέδασης. Τότε η συμβολή των δευτερογενών κυμάτων δε μπορεί να είναι καταστροφική και συνεπώς όλα τα μέσα σε κάποιο βαθμό μπορούν να προκαλέσουν σκέδαση του φωτός. Η περίπτωση που το μέσο διάδοσης παρουσιάζει ανομοιογένειες με διαστάσεις πολύ μικρότερες του μήκους κύματος του προσπίπτοντος φωτός, όπως π.χ. η σκέδαση ορατού φωτός από τα μόρια κάποιου διαφανούς υλικού, χαρακτηρίζεται ως «σκέδαση Rayleigh» προς τιμή του Λόρδου Rayleigh ο οποίος θεωρητικά μελέτησε το φαινόμενο. Τα πιο ενδιαφέροντα συμπεράσματά του είναι πως η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας:

- Είναι αντίστροφα ανάλογη της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος. Δηλαδή το μπλε χρώμα (μικρό μήκος κύματος) σκεδάζεται εντονότερα από το κόκκινο.
- Είναι ανάλογη της έκτης δύναμης της διαμέτρου των ατόμων/μορίων. Δηλαδή τα μεγαλύτερα μόρια σκεδάζουν εντονότερα όλες τις ακτινοβολίες.

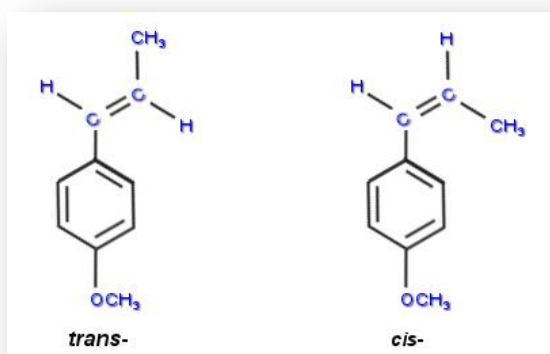
Τέλος, αν το μέσο έχει ανομοιογένειες με τυπικά μεγέθη της τάξης του μήκους κύματος του προσπίπτοντος φωτός, όπως π.χ. συμβαίνει σε ένα λυόφοβο κολλοειδές σύστημα, η σκέδαση σε όλες τις διευθύνσεις και για όλα τα μήκη κύματος είναι εντονότερη σε σχέση με τη σκέδαση Rayleigh, λόγω των μεγαλύτερων διαστάσεων των ανομοιογενειών. Ανάλογα με την ένταση του φαινομένου, που εξαρτάται από τη φύση, το μέγεθος και τη συγκέντρωση της διασπαρμένης φάσης, το κολλοειδές μπορεί να εμφανίζεται διαυγές ή να αποκτήσει «νεφελώδη» όψη σε διάφορες αποχρώσεις του μπλε ή ακόμη και γαλακτώδη όψη (θολώνει). Επιπλέον όταν μια λεπτή δέσμη φωτός διέρχεται μέσα από ένα κολλοειδές σύστημα, λόγω της σκέδασης η πορεία της δέσμης μέσα στο κολλοειδές γίνεται ορατή, γεγονός που δεν παρατηρείται κατά τη διέλευση της δέσμης μέσα από ένα ομογενές διάλυμα. Το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως «φαινόμενο Tyndall» προς τιμή του Ιρλανδού Φυσικού John Tyndall - διαδόχου του Faraday στο Βασιλικό Ινστιτούτο του Λονδίνου- ο οποίος το μελέτησε λεπτομερώς πειραματικά.

Γιατί θολώνει το τσίπουρο με γλυκάνισο;

Το τσίπουρο είναι το προϊόν της αλκοολικής ζύμωσης και της αργής απόσταξης των στεμφύλων (κοινώς τσίπουρα ή τσάμπουρα) του σταφυλιού. Στέμφυλα είναι η μάζα που απομένει μετά την συμπίεση του σταφυλοπολτού για διαχωρισμό του μούστου και αποτελείται από φλοιούς και κουκούτσια σταφυλιών, ενώ περιέχει και κάποιο ποσοστό μούστου σε διαφορετικά στάδια ζύμωσης. Το τελικό προϊόν είναι διαυγές περιεκτικότητας περίπου 40% (v/v) σε αιθανόλη. Στη Θεσσαλία, Μακεδονία και Θράκη παραδοσιακά στον αποστακτήρα προστίθεται και κατάλληλη ποσότητα σπόρων γλυκάνισου που δίνουν στο ποτό το ιδιαίτερο άρωμά του αλλά και την ιδιότητα να θολώνει με την προσθήκη νερού, ιδιότητα που για τους ίδιους ακριβώς λόγους διαθέτει και το ούζο και είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως «ouzo effect» (Carteau, Bassani, & Pianet, 2008). Οι σπόροι του γλυκάνισου περιέχουν διάφορα αιθέρια έλαια με κυριότερο το (1-μεθοξυ)-4-(1-προπυνελ)-βενζόλιο,

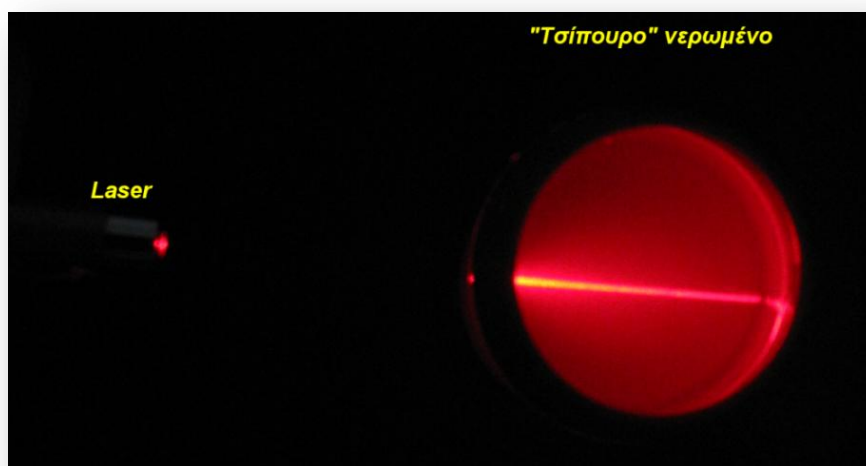
κοινώς ανηθόλη, μια αρωματική οργανική ένωση που ανήκει στα τερπένια και εμφανίζεται με δύο στερεοϊσομερείς μορφές (Εικόνα 1). Υπεύθυνη τόσο για το χαρακτηριστικό άρωμα όσο και για το «ouzo effect» είναι η *trans*-ανηθόλη.

Συνεπώς τα αλκοολούχα ποτά με γλυκάνισο μπορούν να θεωρούνται ως τριμερή μίγματα αποτελούμενα από νερό, αιθανόλη που αναμιγνύεται με το νερό σε οποιοδήποτε αναλογία, και *trans*-ανηθόλη που είναι ευδιάλυτη στην αλκοόλη και εξαιρετικά δυσδιάλυτη στο νερό (περίπου 100 mg/L).



Εικόνα 1. Στερεοϊσομερή της ανηθόλης.

Στο διαυγές ποτό η περιεκτικότητα σε νερό είναι ικανοποιητικά χαμηλή, ώστε η ανηθόλη να παραμένει διαλυμένη στο μίγμα αιθανόλης/νερού. Με την προσθήκη νερού η διαλυτότητα της ανηθόλης μειώνεται και το μίγμα γίνεται υπέρκορο σε ανηθόλη. Αν ο βαθμός υπερκορεσμού είναι πολύ μεγάλος, λόγω τυχαίων τοπικών διακυμάνσεων στη συγκέντρωση της ανηθόλης δημιουργείται αυθόρμητα πλήθος σταγονιδίων («πυρήνες») ανηθόλης, με μια διαδικασία που ονομάζεται αυθόρμητη ή ομογενής πυρήνωση (Vitale & Katz, 2003). Η διαδικασία πυρήνωσης ολοκληρώνεται όταν δεν υπάρχουν άλλες περιοχές υψηλού υπερκορεσμού στο μίγμα. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας (η οποία πραγματοποιείται σε χιλιοστά του δευτερολέπτου ή και γρηγορότερα) είναι μια αρκετά ομοιόμορφη διασπορά των σταγονιδίων ανηθόλης στη συνεχή υγρή φάση. Περεταίρω αύξηση του μεγέθους των σταγονιδίων συμβαίνει σχεδόν αποκλειστικά μέσω της ωρίμανσης Ostwald (Vitale & Katz, 2003), μιας αργής διαδικασίας όπου τα μικρότερα σταγονίδια διαλύονται και τα μεγαλύτερα μεγαλώνουν ακόμη περισσότερο, και όχι μέσω συνένωσης μικρότερων σταγονιδίων. Τελικά αν και το μέγεθος των σταγονιδίων αυξάνεται ελαφρώς στην αρχή, σταθεροποιείται μετά από λίγες ώρες (διάμετρος της τάξης των λίγων μm), ενώ τέτοιου είδους διαλύματα μπορούν στη συνέχεια να παραμείνουν σταθερά για μέρες, εβδομάδες ή ακόμη και μήνες. Συνεπώς τα συστήματα που δημιουργούνται από την προσθήκη νερού σε ποτά που περιέχουν ανηθόλη συμπεριφέρονται ως λυόφοβα κολλοειδή συστήματα (γαλακτώματα), όπου το αιθέριο έλαιο διασκορπίζεται με τη μορφή μικρών σταγονιδίων στο μίγμα νερού/αιθανόλης. Τελικά λόγω της σκέδασης Tyndall το αρχικά διαυγές ποτό αποκτά την τυπική γαλακτώδη όψη του (θόλωμα).



Εικόνα 2. Φαινόμενο Tyndall στο νερωμένο τσίπουρο με γλυκάνισο.

Την ιδιότητα του αραιωμένου με νερό τσίπουρου με γλυκάνισο να σκεδάζει έντονα το φως εκμεταλλευόμαστε για να κάνουμε ορατή μια δέσμη laser κατά τη διέλευσή της μέσα από το γαλάκτωμα (Εικόνα 2).

Πειράματα

1. Το φαινόμενο Tyndall

Σε ένα πείραμά του ο Tyndall χρησιμοποίησε ένα γυάλινο κύλινδρο μήκους περίπου 1 m και εσωτερικής διαμέτρου 7 cm (Εικόνα 3), στον οποίο εισήγαγε μίγμα αέρα, νιτρώδους βουτυλεστέρα (C_4H_9ONO) και ατμών υδροχλωρίου, συνολικής πίεσης 1,5 cm Hg περίπου, προσέχοντας ώστε ο αέρας να είναι άνυδρος και απαλλαγμένος από σωματίδια σκόνης.



Εικόνα 3. Ο κύλινδρος του Tyndall.

(<http://www.rigb.org/our-history/iconic-objects/iconic-objects-list/tyndall-blue-sky>)

Επιτρέποντας στο φως μιας λάμπας εκκένωσης τόξου να διασχίσει κατά μήκος τον κύλινδρο παρατήρησε πως «σταδιακά εντός του σωλήνα αναδύεται αυτό το υπέροχο γαλάζιο, το οποίο ενισχύεται για ένα διάστημα, φτάνει σε ένα μέγιστο βάθους και καθαρότητας, και στη συνέχεια, καθώς τα σωματίδια μεγαλώνουν, μετατρέπεται σε υπόλευκο-μπλε», ώστε τελικά «μέχρι κάποιο μήκος μια υπόλευκη απόχρωση ανακατεύτηκε με το καθαρό γαλάζιο, δηλώνοντας ότι τα σωματίδια τώρα δεν είναι πλέον αυτού του απειροελάχιστου μεγέθους που σκεδάζει μόνο τα πιο βραχεία κύματα» (Tyndall, 1875, σ. 484). Πειραματιζόμενος με διάφορες άχρωμες ουσίες διαφορετικών οπτικών και χημικών ιδιοτήτων επιβεβαιώνει πως «η ορατή δράση αρχίζει με τον σχηματισμό ενός μπλε νέφους» (Tyndall, 1869, σ. 223), ή όταν «η ύλη περνάει αργά από τη μοριακή στη μαζική κατάσταση, η μετάβαση σηματοδοτείται από την παραγωγή του μπλε χρώματος» (Tyndall, 1875, σ. 490). Συνεχίζοντας καταλήγει στο συμπέρασμα πως το σκεδαζόμενο μπλε φως είναι πολωμένο κατά τρόπο ώστε «η διεύθυνση της μέγιστης πόλωσης να είναι σε ορθές γωνίες σε σχέση με τη φωτεινή δέσμη» (Tyndall, 1869, σ. 224). Σε άλλα πειράματα γεμίζοντας το γυάλινο κύλινδρο με αλκοολικό διάλυμα μαστίχας και φωτίζοντάς τον από το ένα άκρο του με τη λάμπα εκκένωσης τόξου, παρατηρεί πλευρικά το λόγω σκέδασης μπλε χρώματος «νέφος», αλλά και την, ανάλογα με τη συγκέντρωση του διαλύματος, κιτρινωπή, πορτοκαλοκόκκινη ή και κόκκινη απόχρωση, του κατά μήκος του σωλήνα διαδιδόμενου φωτός (Tyndall, 1860).

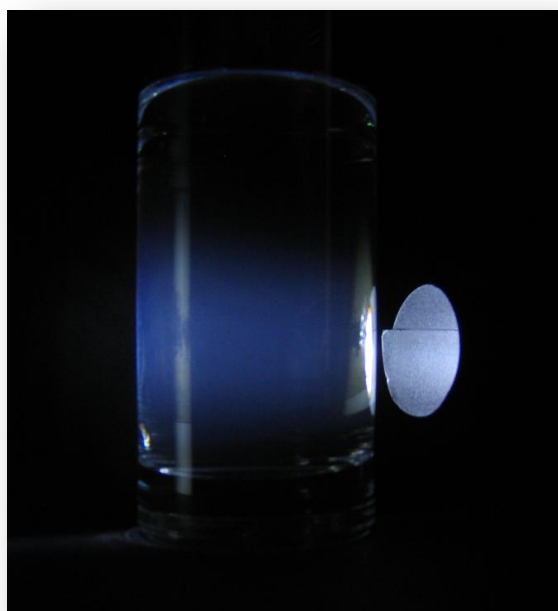
Συνειδητοποιεί πως συνδυαζόμενα τα συμπεράσματα των πειραματισμών του μπορούν να οδηγήσουν στην εξήγηση το χρώματος του ουρανού: η σκέδαση του ηλιακού φωτός στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, με τα μικρότερα μήκη κύματος να σκεδάζονται περισσότερο, έχει ως αποτέλεσμα το μπλε χρώμα του ουρανού. Επιπλέον, κατά το ηλιοβασίλεμα και καθώς η διαδρομή των ηλιακών ακτίνων στην ατμόσφαιρα είναι τώρα μεγαλύτερη, αποτέλεσμα της σκέδασης είναι η απουσία του μπλε στο φως που φτάνει στον παρατηρητή, και ως εκ τούτου ο ουρανός αποκτά τότε πορτοκαλοκόκκινη απόχρωση. Όμως ο Tyndall πιστεύει λανθασμένα, πως το ηλιακό φως σκεδάζεται από διασκορπισμένα στον ατμοσφαιρικό αέρα σωματίδια σκόνης και υδρατμών. Γνωρίζουμε βέβαια σήμερα, πως το χρώμα του ουρανού οφείλεται στη σκέδαση του ηλιακού φωτός από τα μόρια των αερίων της γήινης ατμόσφαιρας, πρόκειται δηλαδή για σκέδαση Rayleigh.

1.1 Επίδειξη του φαινομένου Tyndall

Εύκολα μπορεί να γίνει επίδειξη του φαινομένου Tyndall με τη βοήθεια του νερωμένου τσίπουρου με γλυκάνισο. Γεμίσαμε ένα νεροπότηρο με νερό και προσθέσαμε μικρή ποσότητα τσίπουρου, ώστε το διάλυμα να παραμείνει μεν διαυγές, αλλά οριακά έτοιμο να θολώσει (Εικόνα 4). Σε συσκοτισμένο χώρο φωτίζουμε το ποτήρι με φακό λευκών LED. Για να μειώσουμε τις ανακλάσεις τυλίξαμε γύρω από τον φακό ένα κομμάτι μαύρου χαρτονιού υπό μορφή σωλήνα προέκτασης κατά τη διεύθυνση διάδοσης της δέσμης. Είναι φανερό (Εικόνα 5) η μπλε απόχρωση του διαλύματος όταν η παρατήρηση γίνεται κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης της δέσμης του φωτός του φακού.

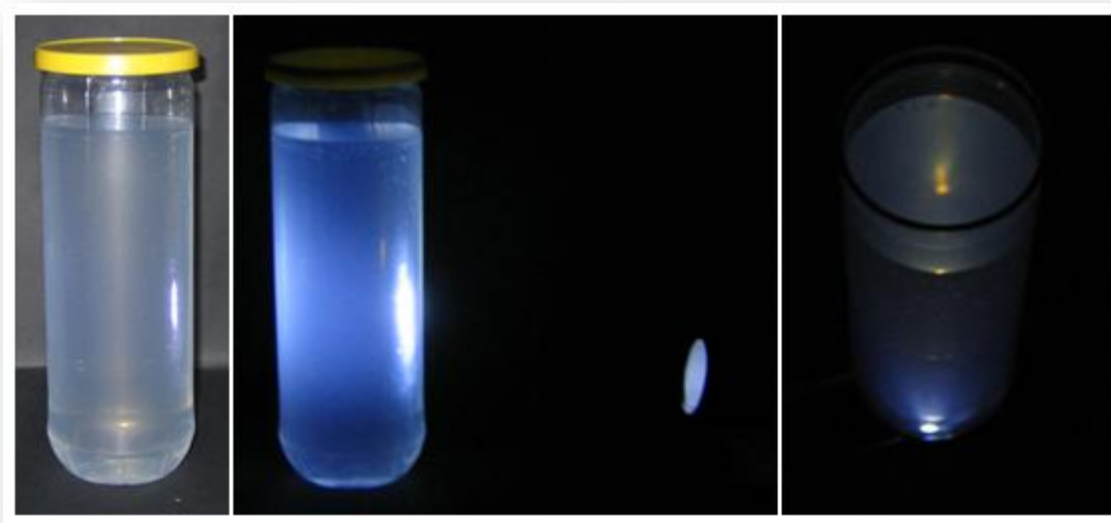


Εικόνα 4. Το «οριακά» διαυγές νερωμένο τσίπουρο...



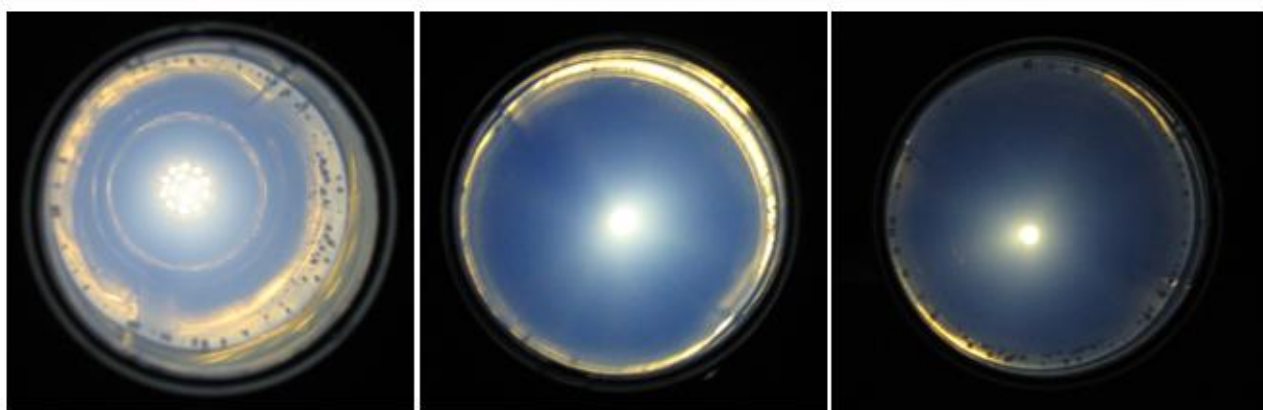
Εικόνα 5. ...φαίνεται μπλε φωτιζόμενο με λευκό φως.

Γεμίσαμε μετά ένα διαφανή κύλινδρο ύψους περίπου 21,5 cm και διαμέτρου 7,5 cm (Εικόνα 6α) με πυκνότερο και ήδη θολό διάλυμα τσίπουρου και τον φωτίσαμε με LED λευκού φωτός τόσο από τα πλάγια (Εικόνα 6β) όσο και από τη βάση του (Εικόνα 6γ). Φωτογραφίσαμε διάφορες όψεις της διάταξης: κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης της δέσμης (Εικόνα 6β), κατά τη διεύθυνση διάδοσης (Εικόνα 7) αλλά και υπό τυχαία γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση διάδοσης (Εικόνα 6γ).



Εικόνα 6. Φωτογραφίες κυλίνδρου με νερωμένο τσίπουρο (α) με κανονικό φωτισμό, (β) με πλάγιο φωτισμό λευκού φωτός σε σκοτεινό χώρο, (γ) με λευκό φως στη βάση του κυλίνδρου.

Καθώς στο ήδη θολωμένο τσίπουρο η πυκνότητα των σταγονιδίων ανηθόλης είναι πολύ μεγαλύτερη, το φαινόμενο Tyndall είναι εντονότερο. Ολόκληρη η ποσότητα του διαλύματος εμφανίζεται με διάφορες αποχρώσεις του μπλε (Εικόνα 6β).



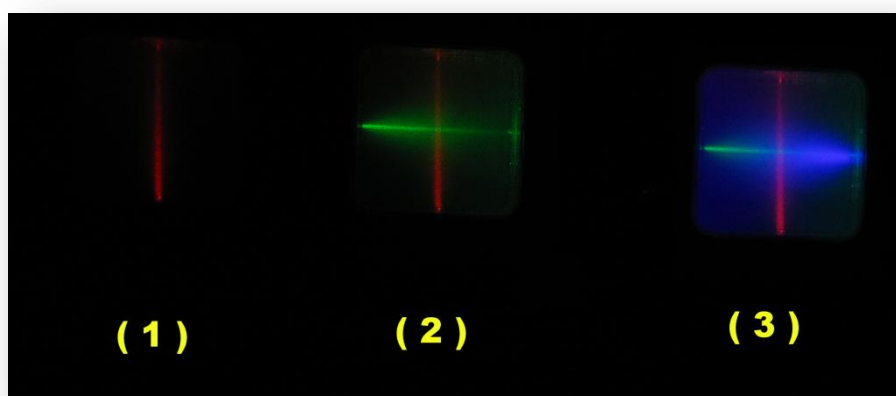
Εικόνα 7 (α, β, γ). Φωτογραφίες του διερχόμενου από τον κύλινδρο λευκού φωτός.

Οι φωτογραφίες της Εικόνας (7) ελήφθησαν κατά τη διεύθυνση διάδοσης του φωτός, με τη φωτογραφική μηχανή να στοχεύει την πάνω βάση του κυλίνδρου, και τη φωτεινή πηγή τοποθετημένη στην κάτω βάση. Στην Εικόνα 7α η φωτεινή πηγή είναι φακός δεκατεσσάρων LED λευκού φωτός, ενώ στις Εικόνες 7β και 7γ στη διεύθυνση διάδοσης του φωτός από το φακό τοποθετήθηκε μαύρο διάφραγμα που έφερε κεντρικά μικρή οπή διαμέτρου 3-4 mm. Στην κυλινδρική «τσιπουρο»-στήλη εμφανίζεται, ως αποτέλεσμα της σκέδασης του φωτός, ένα σύνολο

πορτοκαλόχρωμων δαχτυλιδιών διαφορετικής έντασης, απόχρωσης και διάταξης ανάλογα με την ένταση της φωτεινής πηγής αλλά και με τη σχετική θέση πηγής-φωτογραφικής μηχανής. Σημαντικό ρόλο στην ένταση του φαινομένου παίζει η περιεκτικότητα του διαλύματος σε τσίπουρο και συνεπώς η πυκνότητά του σε σταγονίδια ανηθόλης.

1.2 Η εξάρτηση της σκέδασης από το μήκος κύματος

Η Εικόνα (8) είναι σύνθεση τριών διαδοχικών φωτογραφιών. Σε ένα τετράγωνης διατομής διαφανές πλαστικό δοχείο προσθέσαμε ποσότητα νερωμένου (ελαφρά θολωμένου) τσίπουρου με γλυκάνισο. Στη φωτογραφία 8.1 το δοχείο φωτίστηκε πλευρικά με κόκκινου χρώματος laser (με κατεύθυνση από κάτω προς τα πάνω στην εικόνα). Στη φωτογραφία 8.2 το δοχείο φωτίστηκε από τη μια πλευρά του με το κόκκινο laser όπως προηγουμένως και από την αριστερή πλευρά του με πράσινο laser. Τέλος στη φωτογραφία 8.3 προσθέσαμε και ένα τρίτο laser μπλε χρώματος με κατεύθυνση της δέσμης από δεξιά προς αριστερά.

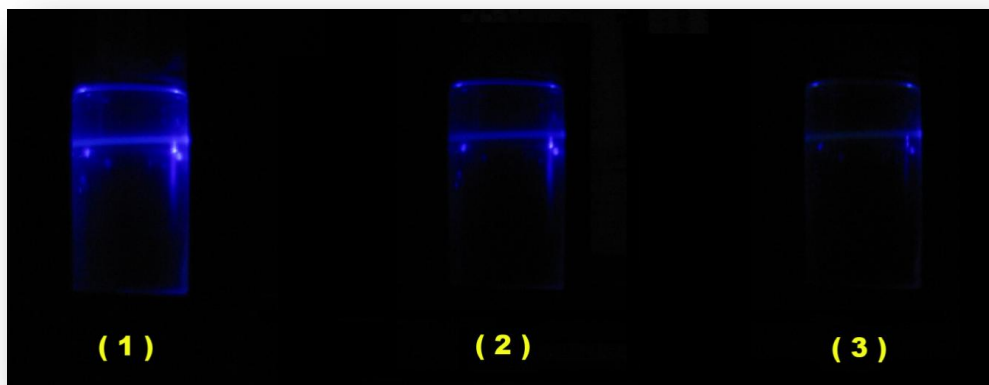


Εικόνα 8. Εξάρτηση της σκέδασης από το μήκος κύματος.

Οι φωτογραφίες έχουν ληφθεί με μειωμένο χρόνο έκθεσης, ώστε να αποφευχθούν παραμορφώσεις λόγω έντονης φωτεινότητας στη διεύθυνση διάδοσης των δεσμών laser. Τα laser ήταν της ίδιας ισχύος (5 mW) και δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή ώστε η απόσταση των laser από τις πλευρές του δοχείου να είναι ίσες. Είναι φανερή η διεύρυνση του κώνου σκέδασης της δέσμης από το κόκκινο προς το μπλε χρώμα, γεγονός που επιβεβαιώνει ποιοτικά ότι οι ακτινοβολίες με τα μικρότερα μήκη κύματος σκεδάζονται ισχυρότερα.

1.3 Πόλωση του σκεδαζόμενου φωτός

Στις φωτογραφίες της Εικόνας 9 η δέσμη ενός μπλε laser κατευθύνεται σε πλαστικό δοχείο που περιέχει ποσότητα νερωμένου αλλά ακόμη διαυγούς τσίπουρου με γλυκάνισο.

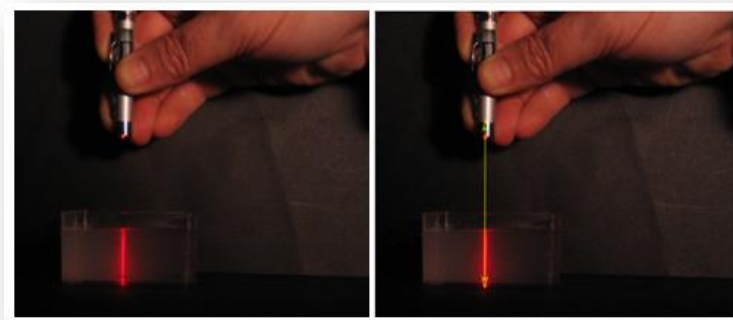


Εικόνα 9: Πόλωση του σκεδαζόμενου φωτός.

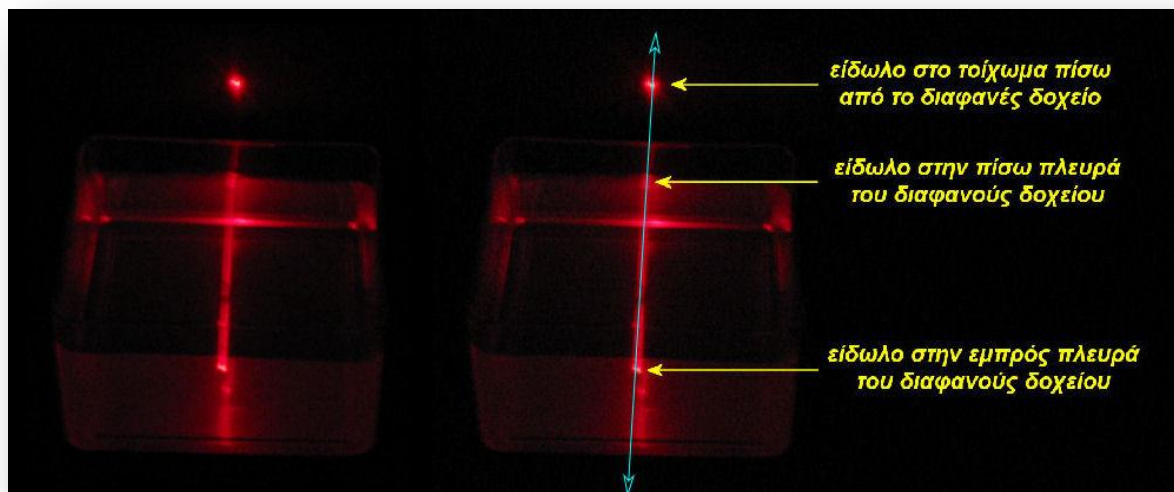
Η φωτογραφία 9.2 έχει ληφθεί με χρήση πολωτικού φίλτρου στο φακό της φωτογραφικής μηχανής. Το φίλτρο έχει περιστραφεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε η ένταση της ακτινοβολίας να είναι η μέγιστη δυνατή. Στη φωτογραφία 9.3 το πολωτικό φίλτρο έχει περιστραφεί κατά 90° περίπου σε σχέση με την προηγούμενη θέση του, ενώ η φωτογραφία 9.1 έχει ληφθεί χωρίς χρήση πολωτικού φίλτρου. Η ένταση του σκεδαζόμενου φωτός στην φωτογραφία 9.3 είναι σημαντικά μειωμένη σε σχέση με τη δεύτερη, γεγονός που επιβεβαιώνει πως το σκεδαζόμενο φως είναι πολωμένο. Όμως, με το πολωτικό φίλτρο της φωτογραφικής μηχανής δε είναι εύκολο να εξακριβώσουμε το επίπεδο πόλωσης.

2. Διάθλαση

Γεμίσαμε μικρό διαφανές τετράγωνης διατομής πλαστικό δοχείο με νερωμένο τσίπουρο και σε συσκοτισμένο δωμάτιο στρέψαμε τη δέσμη ενός κόκκινου laser προς το υγρό. Αλλάζοντας τη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης στο υγρό, φωτογραφίσαμε τη διάθλαση του φωτός. Επιλέχτηκε κόκκινο laser καθώς, λόγω μεγάλου μήκους κύματος το φως του δε σκεδάζεται έντονα. Δεν έχουμε δηλαδή έντονη διάχυση του φωτός, εμφανίζεται όμως πολύ καθαρά η πορεία της δέσμης του laser στο υγρό.



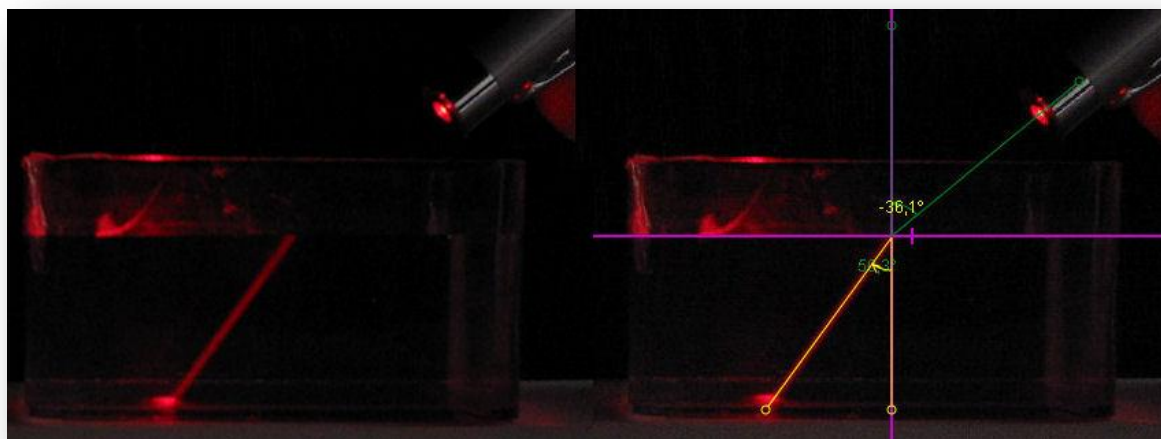
Εικόνα 10. Δέσμη laser κάθετα στην ελεύθερη επιφάνεια υγρού.



Εικόνα 11. Δέσμη laser κάθετα στην πλευρική επιφάνεια δοχείου.

Αρχικά ρίξαμε τη δέσμη του laser κάθετα στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού (Εικόνα 10) και κάθετα στην πλευρική επιφάνεια του διαφανούς δοχείου (Εικόνα 11). Με τη βοήθεια του λογισμικού ανάλυσης βίντεο Tracker, εύκολα διαπιστώνουμε πως στις περιπτώσεις αυτές η δέσμη φωτός δεν εκτρέπεται από την ευθύγραμμη πορεία της.

Στη συνέχεια με το Tracker αναλύθηκαν επτά φωτογραφίες διάθλασης για διάφορες τιμές της γωνίας πρόσπτωσης (Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Διάθλαση δέσμης laser.

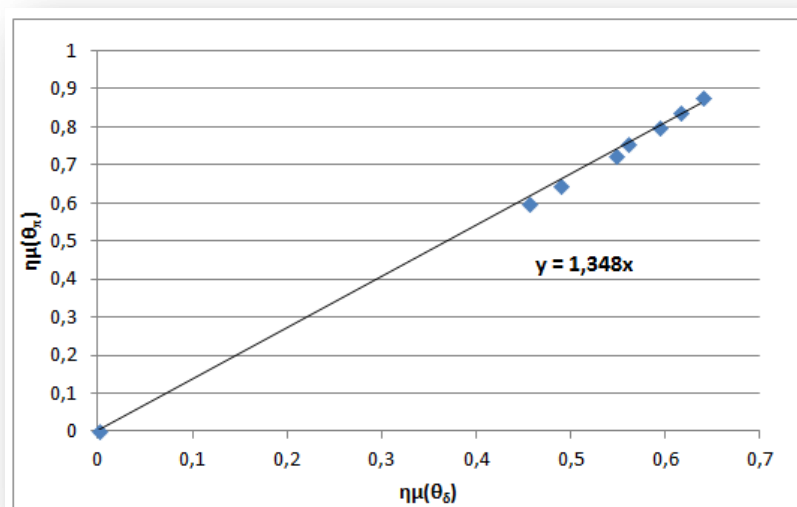
Στο Tracker ανοίξαμε το αρχείο της προς ανάλυση φωτογραφίας, και αφού εμφανίσαμε το εξορισμού σύστημα αξόνων ρυθμίσαμε τον προσανατολισμό του, ώστε ο άξονας $x'x$ να συμπίπτει με την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού, και η αρχή του με το σημείο πρόσπτωσης της δέσμης στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-υγρού. Έτσι ο άξονας $y'y$ είναι κάθετος στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-υγρού. Εν

συνεχεία δημιουργήσαμε δύο όργανα μέτρησης τύπου «μοιρογνωμόνιο», ώστε να μετρήσουμε τις γωνίες πρόσπτωσης (πράσινο μοιρογνωμόνιο στην Εικόνα 12) και διάθλασης (κίτρινο μοιρογνωμόνιο στην Εικόνα 12). Η αρχή των μοιρογνωμόνιων τοποθετείται στο σημείο πρόσπτωσης της δέσμης στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-υγρού και η μία πλευρά τους κατά μήκος του άξονα $y'y$. Η άλλη πλευρά του «πράσινου» μοιρογνωμονίου τοποθετείται στο ίχνος της πηγής laser στην εικόνα, ώστε να παραλληλιστεί με την προσπίπτουσα δέσμη. Αντίστοιχα, η άλλη πλευρά του «κίτρινου» μοιρογνωμονίου παραλληλίζεται με τη διαθλώμενη δέσμη. Οι μετρήσεις που πήραμε φαίνονται στον Πίνακα 1.

Γωνία πρόσπτωσης $\theta_{\pi} (^{\circ})$	Γωνία διάθλασης $\theta_{\delta} (^{\circ})$	$\eta_{\mu}(\theta_{\pi})$	$\eta_{\mu}(\theta_{\delta})$
61,4	39,7	0,877983	0,638768
56,8	38,0	0,836764	0,615661
53,2	36,4	0,800731	0,593419
49,1	34,0	0,755853	0,559193
46,5	33,1	0,725374	0,546102
40,4	29,2	0,648120	0,487860
36,9	27,1	0,600420	0,455545

Πίνακας 1. Μετρήσεις πειράματος διάθλασης.

Στο Excel σχεδιάστηκε η γραφική παράσταση $\eta_{\mu}(\theta_{\pi})=f(\eta_{\mu}(\theta_{\delta}))$, από την κλίση της οποίας με βάση το νόμο του Snell, υπολογίζουμε το δείκτη διάθλασης του υγρού.

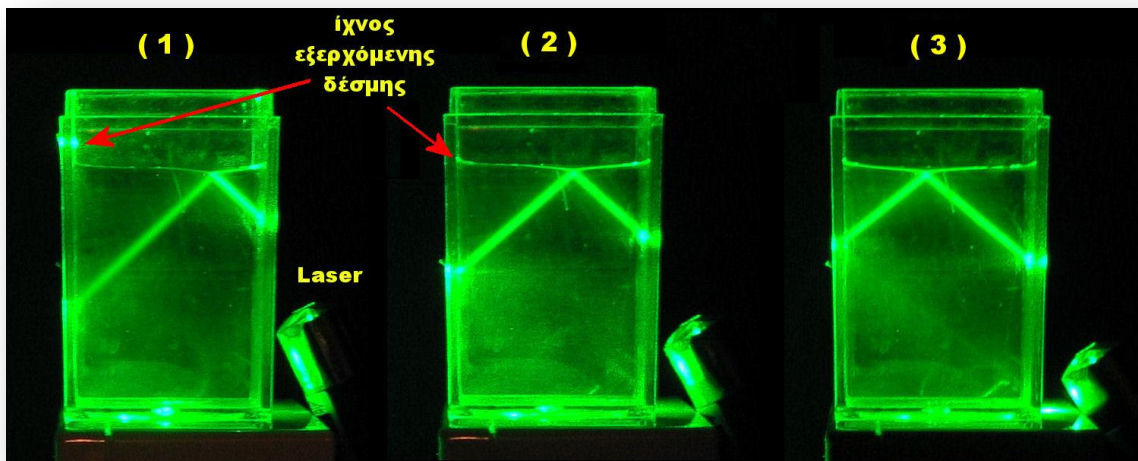


Εικόνα 13. Γραφική παράσταση $\eta_{\mu}(\theta_{\pi})=f(\eta_{\mu}(\theta_{\delta}))$.

Λάβαμε υπόψη πως για κάθετη πρόσπτωση ($\theta_{\pi}=0$) δεν υπάρχει εκτροπή της δέσμης ($\theta_{\delta}=0$) κατά τη διέλευση της από το υγρό. Στην περίπτωση που μελετήθηκε και με βάση την καλύτερη ευθεία προσαρμογής στα πειραματικά δεδομένα όπως προσδιορίζεται από το Excel, ο δείκτης διάθλασης προέκυψε: $n=1,35$. Στα πλαίσια αυτού του άρθρου δεν κρίθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός του σφάλματος στον υπολογισμό του δείκτη διάθλασης.

3. Ολική ανάκλαση

Γεμίσαμε μικρό διαφανές πλαστικό δοχείο με νερωμένο τσίπουρο και σε συσκοτισμένο δωμάτιο στρέψαμε τη δέσμη ενός πράσινου laser πλάγια στην επίπεδη πλευρική επιφάνεια του δοχείου. Μετά από διάθλαση στην πλευρική επιφάνεια του δοχείου η δέσμη εισήλθε στο διάλυμα και κινούμενο προς τον αέρα (δηλ. από οπτικά πυκνότερο προς οπτικά αραιότερο μέσο) προσέπεσε στη διαχωριστική τους επιφάνεια.



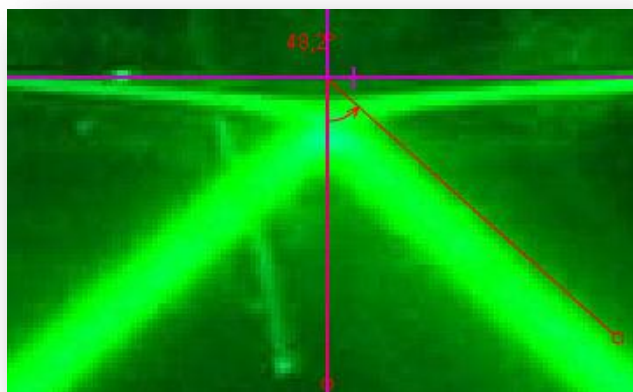
Εικόνα 14. Ολική εσωτερική ανάκλαση.

Στη φωτογραφία (1) της Εικόνας (14) η δέσμη πέφτει στη διαχωριστική επιφάνεια τσίπουρου-αέρα, με γωνία μικρότερη της οριακής και συνεπώς εν μέρει ανακλάται και εν μέρει διαθλάται και εξέρχεται στον αέρα, όπως προκύπτει από το ίχνος που αφήνει η εξερχόμενη δέσμη στην αριστερή πλευρική επιφάνεια του δοχείου και πάνω από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού. Επιπρόσθετα είναι φανερό πως η ένταση της ανακλώμενης δέσμης είναι μικρότερη της προσπίπτουσας.

Στη φωτογραφία (2) έχοντας μεταβάλει τη γωνία πρόσπτωσης της φωτεινής δέσμης στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού-αέρα, διαπιστώνουμε πως το ίχνος της εξερχόμενης δέσμης βρίσκεται στο σημείο που η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού συναντά την αριστερή πλευρική επιφάνεια του δοχείου, δηλ. η εξερχόμενη ακτίνα φεύγει παράλληλα στη διαχωριστική επιφάνεια υγρού-αέρα, οπότε η γωνία πρόσπτωσης ισούται με την κρίσιμη γωνία.

Αυξάνοντας λίγο ακόμη τη γωνία πρόσπτωσης καταλήγουμε στην περίπτωση της φωτογραφίας (3), όπου πλέον συμβαίνει μόνο ολική εσωτερική ανάκλυση. Τώρα η ένταση της ανακλώμενης δέσμης είναι τόσο μεγάλη ώστε μπορούμε να διακρίνουμε ακόμη και τη δέσμη που προκύπτει μετά την ανάκλασή της στην αριστερή πλευρική επιφάνεια του δοχείου.

Με το Tracker και αναλύοντας τη φωτογραφία (2) (Εικόνα 14) μπορούμε να υπολογίσουμε την κρίσιμη γωνία για τη διαχωριστική επιφάνεια νερωμένου τσίπουρου-αέρα και τελικά το δείκτη διάθλασης του νερωμένου τσίπουρου.



Εικόνα 15. Μέτρηση κρίσιμης γωνίας.

Για τις συνθήκες του πειράματος, η ανάλυση με το Tracker (Εικόνα 15) έδωσε για την κρίσιμη γωνία: $\theta_{cr}=48,2^\circ$. Αλλά ως γνωστό, είναι:

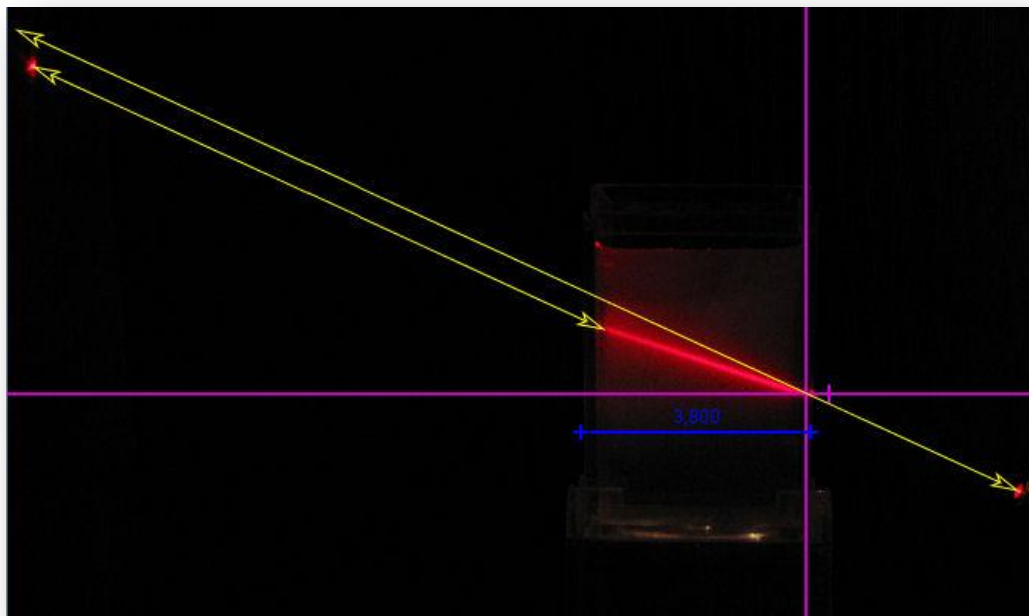
$$\eta\mu\theta_{cr} = \frac{1}{n} \Rightarrow n = \frac{1}{\eta\mu 48,2^\circ} \Rightarrow n = 1,34$$

4. Παράλληλη μετατόπιση

Γεμίσαμε μικρό διαφανές πλαστικό δοχείο τετράγωνης διατομής πλευράς 3,8 cm με νερωμένο τσίπουρο και σε συσκοτισμένο δωμάτιο στρέψαμε τη δέσμη ενός κόκκινου laser πλάγια προς την πλευρική επιφάνεια του δοχείου. Η δέσμη του laser μετά την έξοδό της από την απέναντι πλευρά του δοχείου αφήνει το ίχνος της σε μαύρο πέτασμα τοποθετημένο κάθετα στην πορεία της. Φωτογραφία του φαινομένου αναλύσαμε με το Tracker (Εικόνα 16).

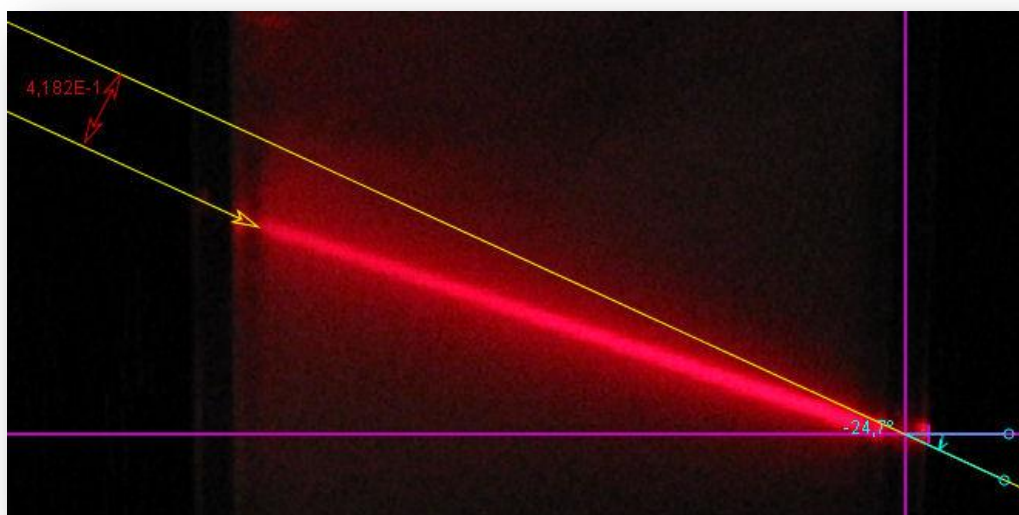
Στο κάτω δεξιό τμήμα της φωτογραφίας φαίνεται το laser, ενώ πάνω αριστερά φαίνεται το ίχνος της δέσμης στο κατακόρυφο πέτασμα μετά την έξοδό της από το «πλακίδιο» τσίπουρου. Στο Tracker δημιουργήσαμε μια ράβδο βαθμονόμησης μήκους 3,8cm, και τοποθετήσαμε τα άκρα της στα άκρα της πλευρικής επιφάνειας του δοχείου, ώστε να βαθμονομήσουμε την εικόνα. Δημιουργήσαμε επίσης δύο εργαλεία μέτρησης τύπου «χάρακας». Παραλληλίσουμε τον ένα χάρακα με την προσπίπτουσα στο δοχείο δέσμη, της οποίας διαθέτουμε στη φωτογραφία δύο ίχνη: το LED του laser και το σημείο

πρόσπτωσής της στη δεξιά πλευρά του δοχείου. Τον άλλο χάρακα τον παραλληλίσουμε με την εξερχόμενη από το δοχείο δέσμη, της οποίας δύο ίχνη είναι: Το σημείο εξόδου της δέσμης από την αριστερή πλευρά του δοχείου και το ίχνος της στο κατακόρυφο πέτασμα αριστερά του δοχείου.



Εικόνα 16. Παράλληλη μετατόπιση δέσμης φωτός.

Εύκολα προκύπτει -από τη γωνία που σχηματίζει κάθε χάρακας με τον άξονα $x'x$, την οποία μέσω του Tracker βρήκαμε ίση με $24,7^\circ$ και ισούται και με τη γωνία πρόσπτωσης της δέσμης στο δοχείο- πως κατά τη διέλευσή της από το νερωμένο τσίπουρο η δέσμη του laser δεν υφίσταται εκτροπή, αλλά παράλληλη μετατόπιση.



Εικόνα 17. Παράλληλης μετατόπισης δέσμης φωτός.

Μετράμε την παράλληλη μετατόπιση της δέσμης δημιουργώντας ακόμη ένα χάρακα και τοποθετώντας τα άκρα του στις διευθύνσεις της προσπίπτουσας και εξερχόμενης δέσμης και κάθετα σε αυτές (Εικόνα 17). Αυτόματα το Tracker προσδιορίζει το μήκος του νέου χάρακα, δηλ. την παράλληλη μετατόπιση της δέσμης του laser ίση με 0,4182cm.

Θεωρητικά η παράλληλη μετατόπιση της δέσμης κατά τη διέλευσή της από πλακίδιο με δείκτη διάθλασης n , υπολογίζεται (Ιωάννου κ.ά., 2007, άσκ. 2.49, σελ. 84) ως:

$$y = d\eta\mu\hat{\pi} \left(1 - \sqrt{\frac{1 - \eta\mu^2\hat{\pi}}{n^2 - \eta\mu^2\hat{\pi}}} \right)$$

όπου d το πάχος του πλακιδίου και π η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης στο πλακίδιο. Με τις τιμές των μεγεθών όπως τις μετρήσαμε στο συγκεκριμένο πείραμα ($d=3,8$ cm, $y=0,4182$ cm και $\pi=24,7^\circ$) ο δείκτης διάθλασης του νερωμένου τσίπουρου προέκυψε: $n=1,3$.

Συμπεράσματα

Φαινόμενα της οπτικής, όπως: ανάκλαση, διάθλαση, ολική εσωτερική ανάκλαση, πόλωση σκέδαση, κ.ά., μπορούν είτε να επιδειχθούν, είτε λεπτομερέστερα να μελετηθούν με τη βοήθεια του νερωμένου τσίπουρου με γλυκάνισο. Επιπλέον μπορούν να επιδειχθούν οι βασικές αρχές μέσω των οποίων εξηγείται το μπλε χρώμα του ουρανού ή οι πορτοκαλοκόκκινες αποχρώσεις του κατά το ηλιοβασίλεμα ή τις πρωινές ώρες.

Αν πάλι προτιμάτε να πίνετε το τσίπουρο με γλυκάνισο, μπορείτε εξίσου καλά να χρησιμοποιήσετε και άλλα συστήματα διασποράς που εμφανίζουν αντίστοιχες ιδιότητες, όπως: νερό στο οποίο έχει προστεθεί μικρή ποσότητα σκόνης γάλακτος ή λίγες σταγόνες αντισηπτικού Detoll, ή μικρή ποσότητα σαπουνιού ή απορρυπαντικού πλυντηρίου, κ.ά.

Βιβλιογραφία

- Bohren, C. F., & Huffman, D. R. (1998). *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. Weinheim: John Wiley & Sons, Inc.
- Carteau, D., Bassani, D., & Pianet, I. (2008, 11). Ouzo Effect: Following the spontaneous emulsification of trans-anethole in water by NMR. *Chimie*, σσ. 493-498.
- Grillo, I. (2003). Small-angle neutron scattering study of a world-wide known emulsion: Le Pastis. *Physicochemical and Engineering Aspects* (225), σσ. 153-160.
- Tyndall, J. (1860). *The Glaciers of the Alps*. London: John Murray.
- Tyndall, J. (1869). *Proceedings of the Royal Society of London* (Τόμ. 17). London: Royal Society of London.
- Tyndall, J. (1875). *Heat a mode of motion*. New York: D. Appleton and Company.
- Vitale, S. A., & Katz, J. L. (2003). Liquid Droplet Dispersions Formed by Homogeneous Liquid-Liquid Nucleation: "The Ouzo Effect". *Langmuir*(19), σσ. 4105-4110.

Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α. και Ράπτης, Σ. (2007). *Φυσική θετικής & τεχνολογικής κατεύθυνσης*. ΟΕΔΒ.

Όλες οι φωτογραφίες, εκτός της Εικόνας 3, είναι του συγγραφέα.



Ο Βασίλης Νούσης έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Απόκτησε μεταπτυχιακό δίπλωμα στις "Νέες τεχνολογίες και έρευνα στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών" από το ίδιο τμήμα. Από το 1996 διδάσκει Φυσικές Επιστήμες (Φ.Ε.) στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, ενώ από το 2011 είμαι υπεύθυνος του ΕΚΦΕ Ηγουμενίτσας. Στα ενδιαφέροντά του είναι η αξιοποίηση στοιχείων από την ιστορία των Φ.Ε. και των νέων τεχνολογιών στην εργαστηριακή διδασκαλία των Φ.Ε.

Ρωτήστε τον Ήλιο!

Αναστάσιος Νέζης

Πολλά φαινόμενα συμβαίνουν στην καθημερινότητά μας, που τα προσπερνάμε χωρίς να τους δίνουμε ιδιαίτερη σημασία: ο ήλιος ανατέλλει, ο ήλιος δύει, λίγο πριν τη δύση οι σκιές μακραίνουν και χάνονται, το ηλιοβασίλεμα δεν γίνεται πάντα στο ίδιο σημείο του ορίζοντα. Πώς μπορούμε να αξιοποιήσουμε διδακτικά τέτοια φαινόμενα που αφορούν τον ήλιο; Πώς μπορούμε να οδηγήσουμε τους μαθητές μας να «κοιτάξουν» τον ήλιο με μια πιο διερευνητική ματιά; Και πώς μπορούμε να συνδυάσουμε τις παρατηρήσεις μας με τη σχολική ύλη και την καθημερινή σχολική ζωή; Ας δούμε μερικές ιδέες.

Μελέτη ευθύγραμμης ομαλής κίνησης με μια σκιά

Η μελέτη της Ευθύγραμμης Ομαλής Κίνησης (Ε.Ο.Κ.) διδάσκεται τόσο στο Γυμνάσιο (εν μέρει) και εκτενώς στο Λύκειο. Αποτελεί το πιο απλό μοντέλο κίνησης. Τη συναντούμε όμως στη φύση; Και αν ναι, πόσο χρόνο έχουμε να την παρατηρήσουμε και να τη μελετήσουμε;

Ένα διαδεδομένο και σχετικά εύκολα πραγματοποιήσιμο πείραμα για την Ε.Ο.Κ. αποτελεί το πείραμα της φυσαλίδας που έχει παρουσιαστεί σε παλαιότερο τεύχος αυτού του περιοδικού (Νέζης, 2014). Εδώ θα προτείνουμε κάτι διαφορετικό.

Μια ηλιόλουστη ημέρα βγάζουμε τους μαθητές μας στο προαύλιο. Τους χωρίζουμε σε ομάδες και κάθε ομάδα διαλέγει μια «καθαρή» σκιά (Εικόνα 1). Λέγοντας καθαρή, εννοούμε σκιά με σαφή όρια (π.χ. η σκιά του ιστού της σημαίας ή της γωνίας του ταμπλό της μπασκέτας κ.ο.κ.). Σημειώνουν τη θέση της σκιάς στο έδαφος με μαρκαδόρο ή κιμωλία κατά τη χρονική στιγμή την οποία ορίζουν αυθαίρετα ως την αρχική χρονική στιγμή “μηδέν”. Κάθε 5 min σημειώνουν μια νέα θέση για τη σκιά, η οποία μετακινείται λόγω της περιστροφής της Γης. Το πείραμα διαρκεί 25’ και έτσι έχουμε 6 –μαζί με το (0,0)– διαφορετικά σημεία. Προτείνεται να εκμεταλλευτούμε το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ των μετρήσεων για να συζητήσουμε με τα παιδιά διάφορα θέματα σχετικά με την πειραματική διαδικασία.

Ενδεικτικά:



Εικόνα 1. Η «καθαρή» σκιά του «Γ» ενός τέρματος.

- Γιατί αλλάζει η θέση της σκιάς; (η περιστροφή της Γης προκαλεί τη φαινομενική αλλαγή της θέσης του Ήλιου στον ουρανό).
- Πώς ορίζουμε το σημείο $(0,0)$ ($t=0$: οποιαδήποτε χρονική στιγμή ξεκινάει το πείραμα, ανεξάρτητα της ώρας που δείχνει το ρολόι εκείνη τη στιγμή. $x=0$: η θέση της πρώτης σκιάς, από την οποία και μετά θα μετρήσουμε τις θέσεις των υπολοίπων σημείων). Μάλιστα η κουβέντα αυτή θα μας χρησιμεύει αρκετές φορές στο μέλλον ως αναφορά: τότε έχουμε $t=0$; τη στιγμή που διαλέγουμε να πατήσουμε το χρονόμετρο. Πού ορίζουμε το $x=0$; στη θέση που ήταν το σώμα τη στιγμή που διαλέξαμε να πατήσουμε το χρονόμετρο.

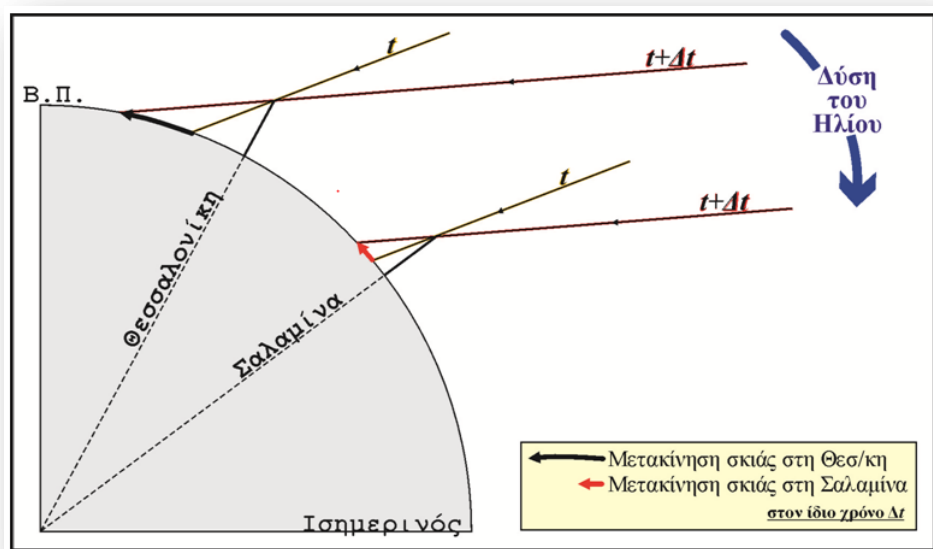
Στη συνέχεια κάνουμε τη γραφική παράσταση θέσης – χρόνου αξιοποιώντας ένα φύλλο εργασίας [1] στο οποίο περιλαμβάνονται οδηγίες για τη χάραξη της βέλτιστης ευθείας (ευθεία ελαχίστων τετραγώνων). Να σημειώσουμε εδώ ότι το πείραμα είναι εξαιρετικά αξιόπιστο και πρακτικά όλα τα σημεία του διαγράμματος $x-t$, που προκύπτουν στη διάρκεια του μισάωρου, είναι πάνω στην ίδια ευθεία.

Στο σημείο αυτό μπορεί να ολοκληρωθεί η διαχείριση του φαινομένου στο Γυμνάσιο, με τον εκπαιδευτικό να κάνει μια ανασκόπηση σε θεωρία και πείραμα και στο πώς αυτά συνδυάζονται με αποτέλεσμα τη γραφική παράσταση. Στο Λύκειο μπορούμε ωστόσο να προχωρήσουμε ένα βήμα παραπέρα: να υπολογίσουμε την κλίση της ευθείας, άρα την ταχύτητα της σκιάς. Ενδιαφέρον παρουσιάζει εδώ η διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων κάθε ομάδας λόγω διαφορετικής επιλογής του αρχικού αντικειμένου που «έριχνε» τη σκιά. Επίσης, αν το πείραμα τρέξει σε διαφορετικές τάξεις μαθητών, άρα σε διαφορετικές ώρες, τα ίδια αντικείμενα θα έχουν σκιές που κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Το ίδιο συμβαίνει και αν το πείραμα γίνει για το ίδιο αντικείμενο, την ίδια ώρα, αλλά μια διαφορετική ημέρα (με τουλάχιστον μια βδομάδα διαφορά από το προηγούμενο). Οι

δυνατότητες είναι πολλές και οι συζητήσεις που μπορούν να ξεκινήσουν στη τάξη ακόμη περισσότερες. Θα δούμε ορισμένες από αυτές στη συνέχεια.

Σκιά σε δύο πόλεις

Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 2 η ταχύτητα της σκιάς ενός αντικειμένου εξαρτάται από το γεωγραφικό σημείο στο οποίο βρίσκεται με τα βορειότερα σημεία να έχουν ταχύτερα μετακινούμενες σκιές.



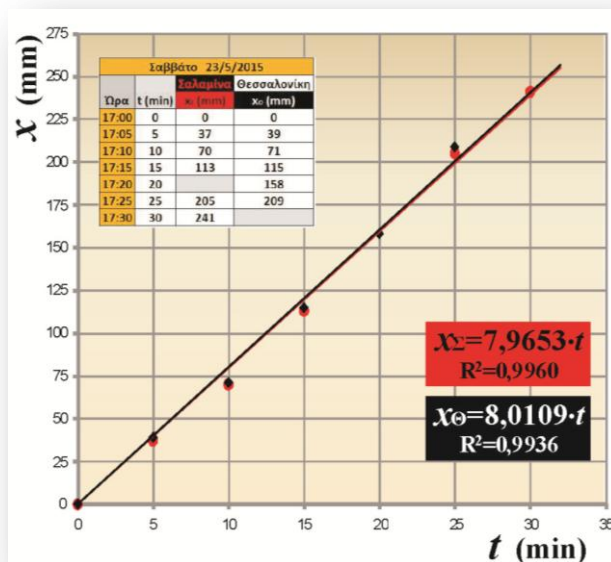
Εικόνα 2. Κίνηση σκιών σε δύο διαφορετικές πόλεις (η απεικόνιση δεν είναι υπό κλίμακα).

Επιχειρήθηκε να ελέγξουμε αν μπορούμε να καταγράψουμε αυτή τη διαφορά μεταξύ δύο πόλεων, της Σαλαμίνας και της Θεσσαλονίκης (Εικόνα 3), οι οποίες δεν απέχουν σημαντικά μεγάλη απόσταση μεταξύ τους. Το πείραμα έγινε με το ίδιο αντικείμενο (μια ράβδο ύψους 83 cm), την ίδια ακριβώς ώρα (23-5-2015, 17:00-17:30). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δίνονται στην Εικόνα 4. Όπως προκύπτει, φαίνεται ότι όντως η σκιά στη Θεσσαλονίκη (μεγαλύτερο γεωγραφικό πλάτος) κινείται πιο γρήγορα από ό,τι η σκιά στη Σαλαμίνα (μικρότερο γεωγραφικό πλάτος). Ωστόσο η διαφορά είναι πολύ μικρή, στο όριο της αβεβαιότητας των μετρήσεων. Υποθέτουμε ότι αν η απόσταση των δύο πόλεων ήταν μεγαλύτερη (ή/και αν η ράβδος ήταν σημαντικά ψηλότερη) τα αποτελέσματα θα ήταν ακόμη πιο ξεκάθαρα.

Να λοιπόν μια ιδέα που μπορεί να φέρει σε επαφή σχολεία από την Κρήτη έως τη Θράκη ή γιατί όχι σχολεία από την Ελλάδα και από άλλες χώρες του βορρά ή του νότου!



Εικόνα 3. Μετρώντας τη μεταβολή του μήκους της σκιάς στη Σαλαμίνα (αριστερά) και ταυτόχρονα στη Θεσσαλονίκη (δεξιά).

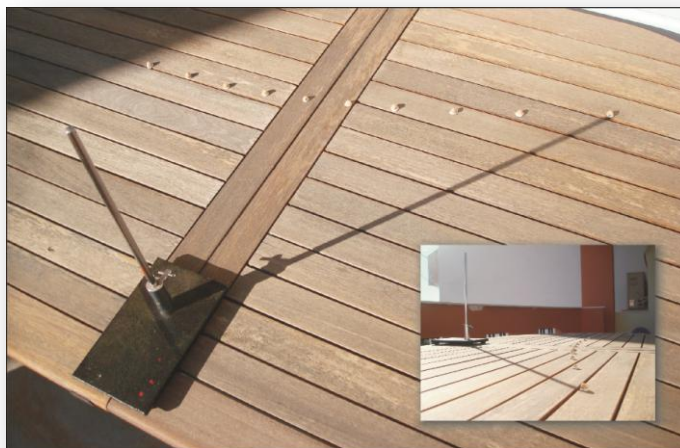


Εικόνα 4. Η ταχύτητα της σκιάς στη Θεσσαλονίκη είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτήν στη Σαλαμίνα.

Μεταβολή της σκιάς σε 5 ώρες

Όπως είδαμε η σκιά σε χρόνο περίπου μισής ώρας κάνει (με πολύ καλή ακρίβεια) ευθύγραμμη ομαλή κίνηση. Τι γίνεται όμως αν παρατηρήσουμε την κίνηση της σκιάς σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα;

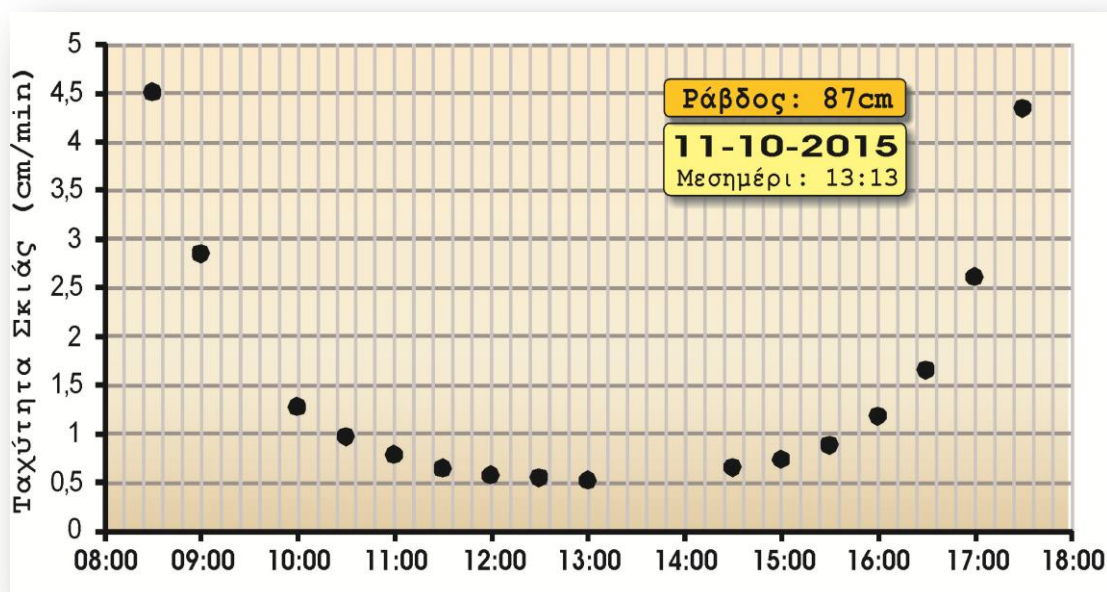
Παρατηρούμε (Εικόνα 5) ότι η κίνηση είναι καμπύλη (μάλιστα, όπως αποδεικνύεται, τμήμα έλλειψης). Μια τέτοια μελέτη μας οδηγεί στο να κατανοήσουμε γιατί οι αριθμοί στα ηλιακά ρολόγια διατάσσονται σε καμπύλες, και φυσικά είναι ευκαιρία να συνδέσουμε όλα τα προηγούμενα με την ιστορία κατασκευής και τη λειτουργία των ηλιακών ρολογιών (ίσως στα πλαίσια ενός project).



Εικόνα 5. Μεταβολή της σκιάς ράβδου ύψους 33 cm σε 5 ώρες (μετρήσεις ανά μισή ώρα)
(18-2-2012, 11:20-16:20)

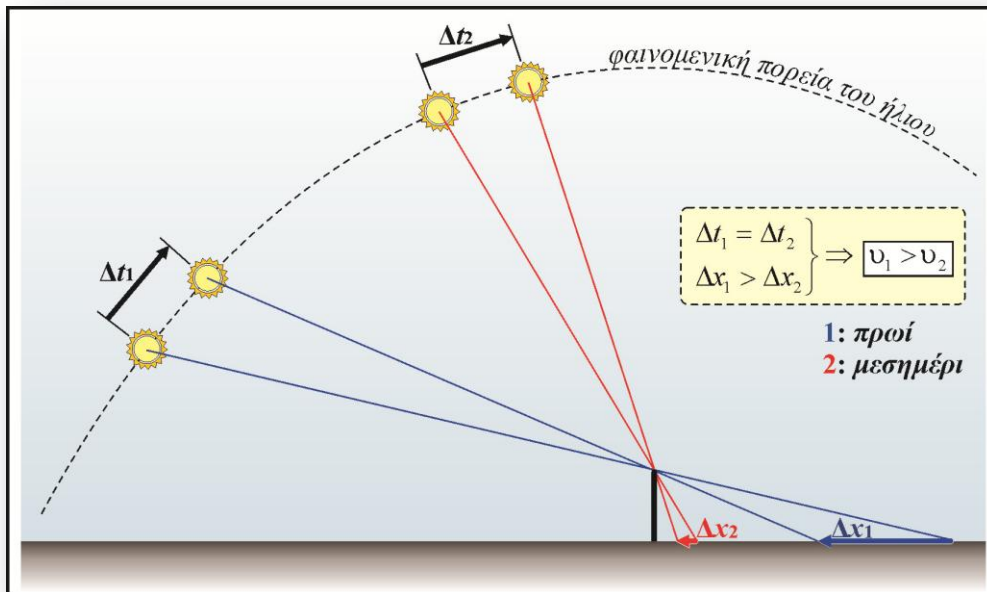
Μέτρηση της ταχύτητα σκιάς στη διάρκεια μίας ημέρας

Τώρα ας περάσουμε σε μερικά πιο δύσκολα εγχειρήματα. Αρχικά θα μελετήσουμε πώς μεταβάλλεται η ταχύτητα της σκιάς στη διάρκεια μιας ολόκληρης μέρας. Ξυπνάμε, λοιπόν, νωρίς το πρωί μιας ηλιόλουστης μέρας. Στήνουμε μια κάθετη ράβδο και εκτελούμε κατά το 1ο και το 2ο μισάωρο κάθε ώρας, το πείραμα μέτρησης της ταχύτητας της σκιάς που περιγράψαμε παραπάνω. Για κάθε πείραμα κάνουμε γραφική παράσταση [2], βρίσκουμε την ταχύτητα από την κλίση, και τέλος φτιάχνουμε έναν πίνακα τιμών ταχύτητας – ώρας της ημέρας, με βάση τον οποίο κάνουμε τη γραφική παράσταση της Εικόνας 6.



Εικόνα 6. Μετρήσεις ταχύτητας σκιάς κατά τη διάρκεια μίας ημέρας.

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε την ελαχιστοποίηση της ταχύτητας, σημείο που σηματοδοτεί το «μεσημέρι» του συγκεκριμένου τόπου και της συγκεκριμένης ημερομηνίας [3]. Η ερμηνεία της ελαχιστοποίησης της ταχύτητας δίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Όταν ο ήλιος είναι χαμηλά στον ορίζοντα οι μεταβολές στη σκιά ενός αντικειμένου είναι μεγαλύτερες από ό,τι όταν είναι ψηλά.

Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η μελέτη του φαινομένου σε διαφορετικές εποχές και η ταυτόχρονη σχεδίαση των καμπυλών στο ίδιο διάγραμμα. Αναμένεται όχι μόνο αλλαγή στις μέγιστες και τις ελάχιστες ταχύτητες αλλά και αλλαγή της χρονικής στιγμής του ελαχίστου, δηλαδή του «μεσημεριού».

Μέτρηση της ταχύτητα σκιάς κατά τη διάρκεια ενός έτους

Έχοντας κάνει το πείραμα της “σκιάς” σε διαφορετικές εποχές, διαπιστώνουμε ότι οι σκιές «τρέχουν» με διαφορετικές ταχύτητες ανάλογα με την εποχή. Να λοιπόν μια καλή ευκαιρία για μια πιο συστηματική μελέτη του φαινομένου.

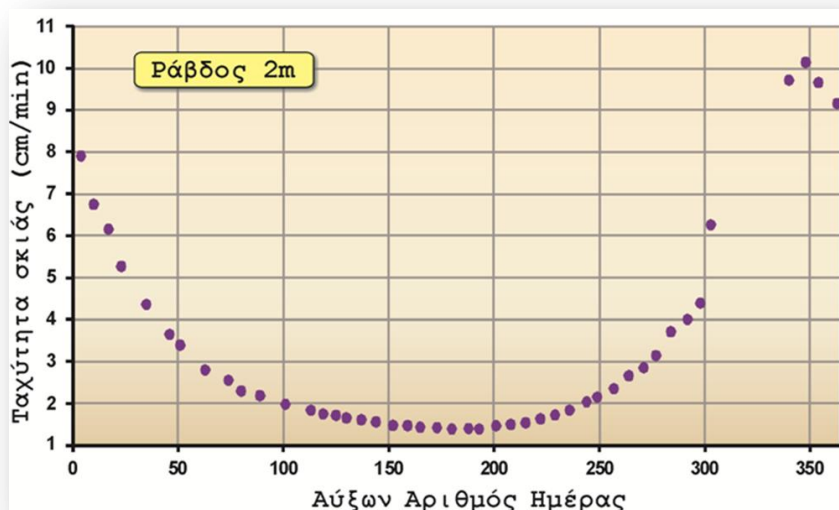
Μεταξύ 15:30 – 16:00 (χειμερινή ώρα) και 16:30 – 17:00 (θερινή ώρα), μια φορά τη βδομάδα, μετρήθηκε η θέση της σκιάς που ρίχνει μια ράβδος (Εικόνα 8) ανά 5-λεπτο. Για κάθε μέτρηση έγινε η γραφική παράσταση θέσης – χρόνου [4] και υπολογίστηκε από την κλίση η ταχύτητα της σκιάς. Το πείραμα διήρκεσε έναν ολόκληρο χρόνο (Ιούνιος 2014 έως Ιούνιος 2015). Οι δυσκολίες και εδώ ήταν

μεγάλες: παρατεταμένες περίοδοι με συννεφιά, πολύ μακριές (άρα ασαφείς) σκιές το χειμώνα και φυσικά εμπόδια που προέκυψαν αναπάντεχα από τη φαινόμενη κίνηση του ήλιου στον ορίζοντα.



Εικόνα 8. Μέτρηση της σκιάς ράβδου κατά τη διάρκεια ενός έτους.

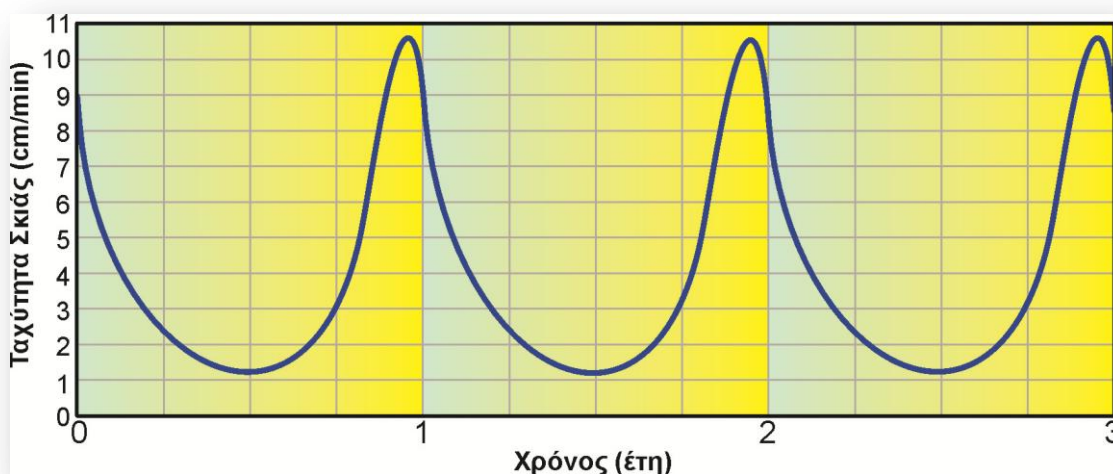
Τελικά, με οριζόντιο άξονα τον αύξοντα αριθμό της ημέρας διεξαγωγής του πειράματος (από 0 έως 365) και κατακόρυφο την εκάστοτε ταχύτητα προέκυψε το διάγραμμα της Εικόνας 9.



Εικόνα 9. Μετρήσεις ταχύτητας σκιάς κατά τη διάρκεια ενός έτους.

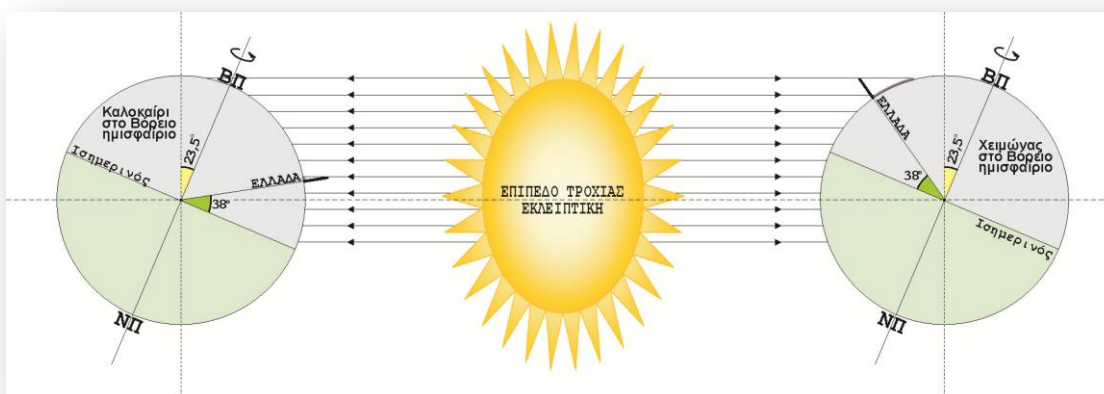
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η ελαχιστοποίηση των ταχυτήτων το καλοκαίρι (ελάχιστο στο θερινό ηλιοστάσιο) και η μεγιστοποίησή τους τον χειμώνα (χειμερινό ηλιοστάσιο). Ακόμη μεγαλύτερο ενδιαφέρον όμως, παρουσιάζει η ασυμμετρία του διαγράμματος. Αν, μάλιστα, στηριζόμενοι στο

πραγματικό διάγραμμα της Εικόνας 9, κάνουμε με συναγωγή ένα τριετές ποιοτικό διάγραμμα, προκύπτει η μη κανονική περιοδικότητα στην αλλαγή της ταχύτητας της σκιάς (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Συναγωγή της μεταβολής της ταχύτητας της σκιάς σε μία τριετία.

Γιατί όμως οι σκιές αλλάζουν μήκος από καλοκαίρι σε χειμώνα; Γιατί αλλάζουν ταχύτητα; Και κυρίως γιατί η ταχύτητα αλλάζει με μη συμμετρικό τρόπο; Τρία ερωτήματα που προέκυψαν από τα πειραματικά δεδομένα ενός ολόκληρου χρόνου και μπορούν να πυροδοτήσουν συζητήσεις μέσα στην τάξη και να δώσουν θέματα προς επεξεργασία σε projects. Ας δούμε μερικές ενδεικτικές απαντήσεις.



Εικόνα 11. Σχηματισμός σκιών το καλοκαίρι (αριστερά) και το χειμώνα (δεξιά) στην Ελλάδα.

Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 11, η Γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα Βόρειος – Νότιος Πόλος ενώ εκτελεί την ετήσια πορεία της γύρω από τον Ήλιο σε ένα επίπεδο (την εκλειπτική) που σχηματίζει γωνία με τον Ισημερινό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το βόρειο ημισφαίριο να δέχεται τις ηλιακές ακτίνες “κάθετα” ή “πλάγια” ανάλογα με τη θέση της Γης στην τροχιά της. Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η εμφάνιση εποχών, με το καλοκαίρι στην περίπτωση των “κάθετων” ακτινών (μεγαλύτερη πυκνότητα ακτινών, περισσότερη θέρμανση, μεγαλύτερες θερμοκρασίες) και

τον χειμώνα αντίθετα. Τα αντίστροφα συμβαίνουν στο νότιο ημισφαίριο. Βλέπουμε, λοιπόν, στο σχήμα τη σκιά που ρίχνει μια ράβδος (η γκρι καμπύλη πάνω στην επιφάνεια της Γης). Λόγω της “κάθετης” ή της “πλάγιας” πρόσπτωσης των ακτινών η σκιά είναι μεγάλη τον χειμώνα και μικρή το καλοκαίρι. Και μεγαλύτερες σκιές στον ίδιο χρόνο περιστροφής της Γης (μιας και το 24ωρο δεν αλλάζει καθ’ όλη τη διάρκεια του έτους) σημαίνουν και μεγαλύτερη ταχύτητα στην κίνησή τους. Έτσι, λοιπόν, το χειμώνα όχι μόνο οι σκιές είναι μεγαλύτερες αλλά κινούνται και γρηγορότερα. Φυσικά, το καλοκαίρι γίνεται το αντίθετο: μικρές και «αργές» σκιές.

Σύμφωνα με τον 2ο νόμο του Kepler, η επιβατική ακτίνα της Γης διαγράφει ίσα εμβαδά σε ίσους χρόνους. Αυτό μας δείχνει ότι κοντά στον Ήλιο (την εποχή του χειμώνα) η Γη κινείται γρηγορότερα. Έτσι, εξηγείται η ασυμμετρία του διαγράμματος ταχύτητας – αύξων αριθμός ημέρας. Η μεταβολή της ταχύτητας της σκιάς τους χειμερινούς μήνες πραγματοποιείται με ταχύτερο ρυθμό, γι’ αυτό και το μέγιστο πραγματοποιείται σε λιγότερες μέρες (γύρω από το χειμερινό ηλιοστάσιο) απ’ ό,τι το ελάχιστό της (γύρω από το θερινό ηλιοστάσιο).

Ανάλημμα σκιάς

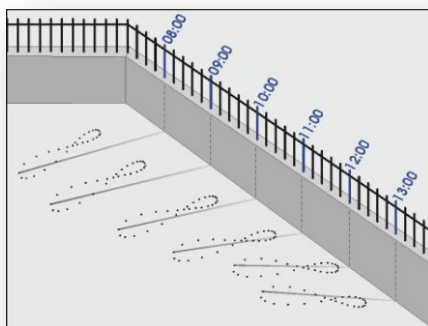
Συμπληρωματικά στην προηγούμενη δραστηριότητα ή και ανεξάρτητα από αυτήν, μπορεί να γίνει και μια ακόμη: στο τέλος κάθε μέτρησης (στις 16:00, χειμερινή ή στις 17:00, θερινή ώρα) σημειώνουμε μια μαύρη τελεία στο άκρο της σκιάς. Αυτό γίνεται έναν ολόκληρο χρόνο και στο τέλος προκύπτει η Εικόνα 12.



Εικόνα 12. Ανάλημμα σκιάς για ένα έτος.

Η εικόνα ονομάζεται «ανάλημμα» και δείχνει τη θέση του Ήλιου στο στερέωμα (ή στην περίπτωση μας της σκιάς που “ρίχνει” ο ήλιος) μια συγκεκριμένη ώρα της ημέρας για έναν ολόκληρο χρόνο. Από πολλούς αναφέρεται και ως η γραφική παράσταση της εξίσωσης του χρόνου [5]. Και εδώ τα

προβλήματα δεν έλειψαν καθώς μία δεξαμενή πετρελαίου (Εικόνα 12), βρέθηκε στο δρόμο του αναλήμματος, αλλά η βασική εικόνα (σχήματος “8”) φαίνεται.



Εικόνα 13. Αναμενόμενη εικόνα στην αυλή του σχολείου.

Να σημειώσουμε εδώ πως οι κανονικές φωτογραφίες αναλήμματος [6], απαιτούν εξοπλισμό που ίσως είναι δύσκολο να διαθέτουν οι μαθητές. Όμως σκιές μπορούν να σημειώσουν! Να λοιπόν μια πραγματική πρόκληση: πολλά σχολεία έχουν φράχτες με μεγάλες σειρές από κάγκελα. Ανά πέντε κάγκελα σημειώνουμε ένα για κάθε ώρα της ημέρας (08:00, 09:00, 10:00, ... , 18:00). Ξεκινάμε μια συγκεκριμένη ημερομηνία και σημειώνουμε στο προαύλιο του σχολείου με μαύρο σπρέι μια τελεία στο άκρο της σκιάς του κάθε κάγκελου την αντίστοιχη ώρα. Μέχρι την επόμενη χρονιά θα πρέπει να έχουμε σχηματισμένα στο προαύλιο 9 με 10 «8-άρια», ένα για κάθε ώρα της ημέρας. Μοιράζοντας ρόλους σε ομάδες παιδιών, θα έχουμε μια εικόνα (Εικόνα 13), η οποία θα είναι (μάλλον) πρωτότυπη στο είδος της παγκοσμίως!

Καταγράφοντας τη δύση του ήλιου για έναν ολόκληρο χρόνο

Αφήσαμε για το τέλος ένα, επίσης, δύσκολο εγχείρημα: τη φωτογράφιση του ηλιοβασιλέματος επί έναν ολόκληρο χρόνο, το 2011 (Εικόνα 14). Από το ίδιο σημείο κάθε φορά φωτογραφίζουμε τον ήλιο ακριβώς τη στιγμή που δύει, δηλαδή τη στιγμή που «ακουμπάει» στον ορίζοντα (Σιμόπουλος, 2001). Η φωτογράφιση γίνεται περίπου κάθε 15 μέρες (ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες) και σε διαφορετική κάθε φορά ώρα ανάλογα με την εποχή [7]. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 14 ο ορίζοντας δεν είναι ...οριζόντιος και οι συνθήκες δεν μας επέτρεψαν να έχουμε μια φωτογραφία ακριβώς κάθε 15 μέρες αλλά εδώ ίσως βρίσκεται και η καλλιτεχνική αξία της δραστηριότητάς μας. Υπήρξαν φωτογραφίες που τραβήχτηκαν υπό ιδανικές συνθήκες (κυρίως το καλοκαίρι) αλλά και άλλες που η τύχη βοήθησε αρκετά, αφήνοντας ένα πολύ μικρό “παράθυρο” εμφάνισης του ήλιου μέσα από τα πυκνά χειμερινά σύννεφα, ακριβώς τη στιγμή της δύσης του. Σε κάποιες τα χρώματα του δειλινού ήταν απλά και σε άλλες τόσα πολλά, που σε συνδυασμό με τα σύννεφα, έδιναν ένα απίστευτο αισθητικά αποτέλεσμα.

Ας έρθουμε στην ανάλυση της εικόνας που προέκυψε.



Εικόνα 14.

Τι είναι τα ηλιοστάσια; Ετυμολογικά είναι τα σημεία στα οποία «στέκεται» ο ήλιος. Τι βλέπουμε λοιπόν στην εικόνα; Καθώς ο ήλιος «κινείται» προς τα άκρα της “ταλάντωσής” του, κάνει ό,τι ακριβώς και ένα σώμα που εκτελεί μια απλή αρμονική ταλάντωση: επιβραδύνεται! Μην ξεχνάμε ότι κάθε φωτογραφία απέχει χρονικά από την επόμενη ή την προηγούμενή της περίπου ίδιο χρονικό διάστημα (15 μέρες). Ακριβώς τα άκρα της ταλάντωσης είναι τα σημεία που ο ήλιος «στέκεται», δηλαδή τα σημεία που ο ήλιος δύνει δύο συνεχόμενες ημέρες χωρίς ν’ αλλάξει ουσιαστικά θέση. Συγκεκριμένα, λοιπόν, το δεξιό ηλιοστάσιο είναι το θερινό (20-21/6), όπου ο ήλιος δύνει βορειότερα (κοιτώντας τη Δύση), και το αριστερό ηλιοστάσιο είναι το χειμερινό (21-22/12), όπου αντίστοιχα ο ήλιος δύνει νοτιότερα. Φυσικά καταλαβαίνουμε ότι τα κέντρα της ταλάντωσης είναι οι ισημερίες με το ανώτερο και το κατώτερο να είναι η φθινοπωρινή ισημερία (22-23/9) και το κεντρικό να είναι η εαρινή (21-22/3). Βλέπουμε ότι σε αυτές τις ημερομηνίες ο ήλιος «κινείται» με μεγαλύτερη ταχύτητα. Μια επιπλέον πληροφορία είναι ότι η γεωγραφική Δύση είναι το σημείο δύσης του ηλίου κατά τις ισημερίες.

Έχουμε, λοιπόν, μια σειρά φωτογραφιών που λειτουργεί σαν γραφική παράσταση των εποχών και των ημερομηνιών αλλαγής από τη μια εποχή στην άλλη.

Περαιτέρω μελέτη της σειράς των φωτογραφιών μπορεί να ανατεθεί σε ομάδες μαθητών με ερωτήματα όπως: η κατασκευή διαγράμματος θέσης – χρόνου, ο υπολογισμός της ταχύτητας και της επιτάχυνσης της φαινόμενης κίνησης της «δύσης» και η κατασκευή του αντίστοιχου διαγράμματος, και πολλά άλλα.

Συμπερασματικά

Υποθέτουμε και ελπίζουμε ότι διαβάζοντας αυτό το άρθρο αρκετοί ήδη έχετε σκεφτεί κάποιες παραλλαγές των παραπάνω δραστηριοτήτων ή – ακόμα καλύτερα – κάποιες επιπλέον νέες δραστηριότητες στο πλαίσιο παρατηρήσεων που επιχειρήθηκε να τεθεί.

Αυτό είναι το ζητούμενο. Να προσπαθήσουμε, ως εκπαιδευτικοί φυσικών επιστημών, να εμφυσήσουμε στους μαθητές μας την ιδέα της παρατήρησης. Να τους δείξουμε “δρόμους”, που μπορεί να είναι δίπλα τους, αλλά χάνονται μέσα στην πολυδαίδαλη καθημερινότητα. Ας προσπαθήσουμε και εμείς οι ίδιοι να ξεφύγουμε λίγο από τα στενά πλαίσια των όποιων Αναλυτικών Προγραμμάτων

Σπουδών, αξιοποιώντας τον θαυμαστό κόσμο του περιβάλλοντος και των φαινομένων που καθημερινά συμβαίνουν γύρω μας.

Σχόλια

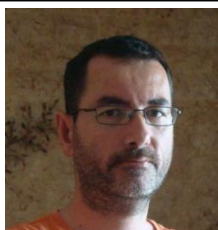
1. Το φύλλο εργασίας είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://issuu.com/tasosne/docs/eok-skia>
 2. το συνολικό αρχείο μετρήσεων για το πείραμα μέτρησης της ταχύτητας της σκιάς σε μια ολόκληρη ημέρα: <http://issuu.com/tasosne/docs/11-10-2015>
 3. Υπολογίστε την ακριβή ώρα του μεσημεριού στον τόπο σας: <http://suncalc.net/>
 4. το συνολικό αρχείο μετρήσεων για το πείραμα μέτρησης της ταχύτητας της σκιάς σε έναν ολόκληρο χρόνο: http://issuu.com/tasosne/docs/analemma_metriseis
 5. Βλέπε σχετικά: https://en.wikipedia.org/wiki/Equation_of_time
 6. Δες σχετικά <http://perseus.gr/Astro-Landscape.htm>
 7. A Year of Sunsets (video): <https://www.youtube.com/watch?v=Ewbn0vtnfss>
- Δείτε επίσης: Optics Picture of the Day: www.atoptics.co.uk/fz883.htm

Βιβλιογραφία

Νέζης, Α. (2014). Παίζοντας με τις φουσαλίδες: εμπάθυνση σε ένα “απλό” πείραμα μελέτης της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης. *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, τ. 3, 59-66.

Σιμόπουλος, Δ. (2001). Στη γειτονιά της Γης. Εκδόσεις Ερευνητές, Αθήνα.

Όλες οι φωτογραφίες είναι του συγγραφέα.



Ο Τάσος Νέζης ζει και εργάζεται ως εκπαιδευτικός της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης στη Σαλαμίνα. Τα ενδιαφέροντά του κινούνται γύρω από την εισαγωγή του πειράματος μικρής διάρκειας στην καθημερινή σχολική πραγματικότητα. Τα τελευταία χρόνια ασχολείται με προπονήσεις μαθητικών ομάδων για τους διαγωνισμούς EUSO. Διατηρεί την ιστοσελίδα nezistasos.wix.com/nezistasos.

Στη στήλη “Σκουπιδομαζέματα – επιστημοσκορπίσματα” παρουσιάζονται απλά πειράματα και κατασκευές που μπορούν να πραγματοποιηθούν με καθημερινά υλικά και μπορούν να ενταχθούν, κατά την κρίση του διδάσκοντα, σε μια διδακτική ενότητα εμπλουτίζοντας έτσι τη διδακτική πρακτική.

Κατασκευή ελατηρίου και πηνίου από ντίζα ποδηλάτου

Νίκος Ιωάννου

Σε αυτή την εργασία θα παρουσιάσουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα ελατήριο με ελάχιστο κόστος. Θα χρειαστούμε ατσαλόσυρμα το οποίο μπορούμε να προμηθευτούμε είτε από κατάστημα σιδηρικών είτε από μια παλιά ντίζα ποδηλάτου είτε από κάποιο συρματόσχοινο.

Από το πάχος του ατσαλοσύρματος, το μήκος του και την ελαστικότητά του εξαρτώνται τα βασικά χαρακτηριστικά του ελατηρίου. Άρα, επιλέγοντας διαφορετική «πρώτη ύλη» και αλλάζοντας το μήκος του σύρματος μπορούν να κατασκευαστούν ελατήρια διαφορετικής σταθεράς k .

Τα υλικά που θα χρειαστούμε

1. μια βάση χυτοσιδήρου
2. μια μεταλλική ράβδο μήκους 60 cm περίπου
3. δύο μεταλλικές ράβδους μήκους 30 cm περίπου
4. τρεις απλούς συνδέσμους
5. έναν μικρό σφικτήρα τύπου G
6. έναν σφικτήρα σωλήνα διαμέτρου 1 cm (σε περίπτωση που δεν υπάρχει τρύπα στη ράβδο των 30 cm)
7. ένα μικρό k
8. ηλεκτρικό κατσαβίδι (προαιρετικά)
9. ηλεκτρικό δράπανο (προαιρετικά για το πηνίο)

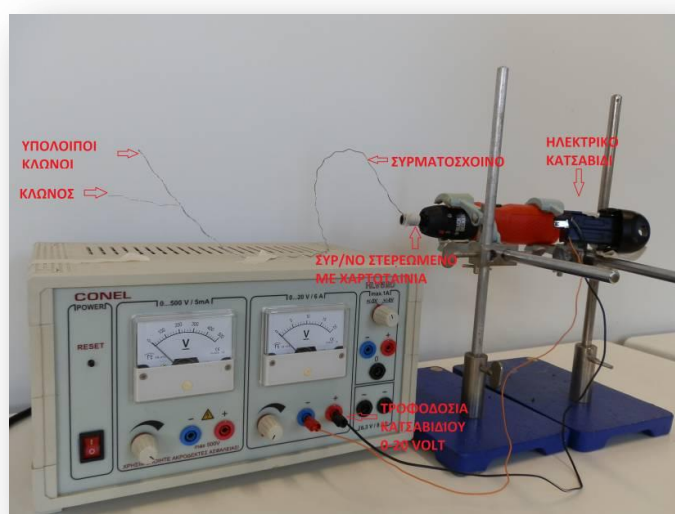
Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

Διαχωρισμός ατσαλοσύρματος (κλώνου) από συρματόσχοινο

Αν έχουμε συρματόσχοινο το πρώτο που έχουμε να κάνουμε είναι να ξεχωρίσουμε έναν κλώνο. Αυτό μπορούμε να το κάνουμε γρηγορότερα με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κατσαβιδιού. Στερεώνουμε το

ηλεκτρικό κατσαβίδι όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Στη συνέχεια κολλάμε την μια άκρη του συρματόσχοινου στη μύτη του κατσαβιδιού με μια χαρτοταινία. Στην ελεύθερη άκρη του συρματόσχοινου ξεχωρίζουμε έναν κλώνο από το συρματόσχοινο και τον κρατάμε με το ένα χέρι. Κρατάμε τους υπόλοιπους κλώνους με το άλλο χέρι. Θέτουμε σε αργή λειτουργία μέσω ενός τροφοδοτικού το ηλεκτρικό κατσαβίδι προσέχοντας τη φορά περιστροφής. Καθώς περιστρέφεται το συρματόσχοινο, προοδευτικά ξεχωρίζει ο ένας κλώνος από τους υπόλοιπους (Εικόνα 1).

Ας σημειωθεί ότι αν και το κατσαβίδι λειτουργεί με μπαταρίες προτείνεται να το λειτουργήσουμε συνδέοντάς το με ένα τροφοδοτικό για να μπορούμε να ελέγξουμε το ρυθμό περιστροφής του μεταβάλλοντας την τάση λειτουργίας. Ωστόσο, η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί και με το κατσαβίδι να τροφοδοτείται από τις μπαταρίες του.



Εικόνα 1. Διάταξη διαχωρισμού ατσαλοσύρματος από συρματόσχοινο.

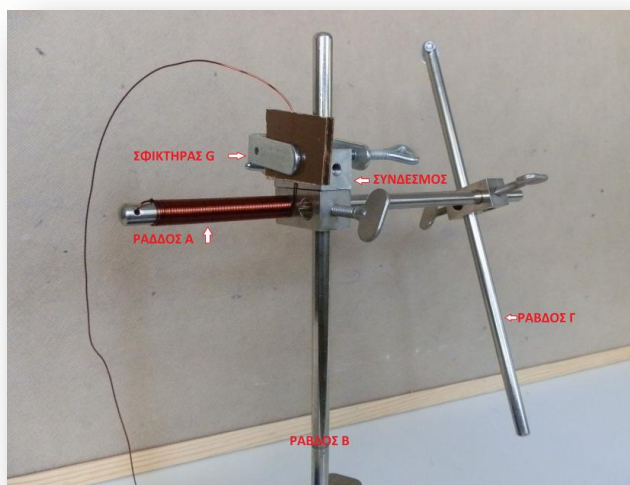
Κατασκευή ελατηρίου

Συναρμολογούμε τη διάταξη της Εικόνας 2.

Στην περίπτωση που υπάρχει τρύπα στη μεταλλική ράβδο Α στερεώνουμε την άκρη του ατσαλοσύρματος σ' αυτήν. Αν δεν υπάρχει τρύπα, στερεώνουμε την άκρη του ατσαλοσύρματος με την βοήθεια του σφικτήρα σωλήνα.

Περνάμε το ατσαλόσυρμα ανάμεσα από το σύνδεσμο και το κομμάτι του κόντρα πλακέ και τα σφίγγουμε με σφικτήρα τύπου G ώστε το σύρμα να μπορεί να κινείται αλλά με δυσκολία. Το πόσο πολύ θα σφίξουμε το σφικτήρα είναι ένα θέμα που θα πρέπει να το βρούμε μέσω δοκιμής και πλάνης. Αρχίζουμε και περιστρέφουμε τη ράβδο Γ ώστε να τυλίγεται πάνω στη ράβδο Α το ατσαλόσυρμα μέχρι το επιθυμητό μήκος ελατηρίου. Αρχικά η ράβδος Α πρέπει να είναι τέρμα δεξιά και να μετακινείται συνεχώς προς τα αριστερά καθώς μεγαλώνει το μήκος του ελατηρίου.

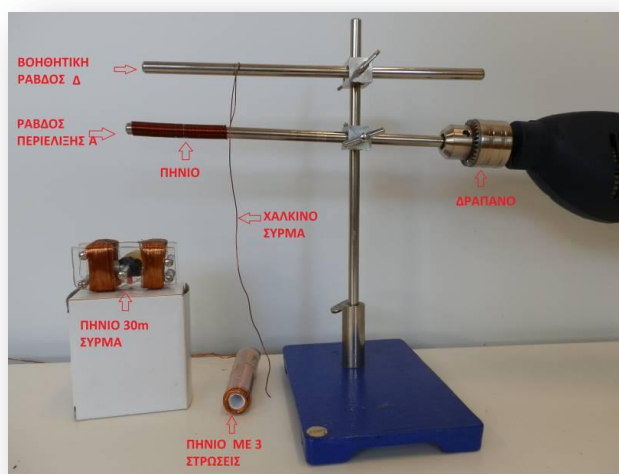
Αφού ολοκληρώσουμε αυτή τη διαδικασία αποσυναρμολογούμε τη διάταξη και αφαιρούμε το ελατήριο. Με μια πένσα κόβουμε τα περιττά κομμάτια σύρματος και διαμορφώνουμε τα άκρα.



Εικόνα 2. Διάταξη κατασκευής ελατηρίου από χάλκινο σύρμα.

Κατασκευή Πηνίου

Η ίδια σχεδόν διάταξη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατασκευάσουμε ένα πηνίο. Αρκεί αντί για ατσάλινοςυρμα να χρησιμοποιήσουμε μονωμένο χάλκινο σύρμα. Στη διάταξη προτείνεται να προσθέτουμε ακόμη μια ράβδο Δ «οδηγό» παράλληλα στη ράβδο Α (Εικόνα 3). Ο οδηγός συντελεί στο να μη χρειάζεται η συνεχής μετακίνηση της ράβδου Α, γιατί απλά μετακινείται η θηλιά στο βοηθητικό σύρμα. Αν θέλουμε το πηνίο να διαθέτει πολύ μεγάλο αριθμό σπειρών μπορούμε εναλλακτικά να χρησιμοποιήσουμε ένα ηλεκτρικό δράπανο. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα να κατασκευάσουμε πηνία με πολλές στρώσεις, αρκεί ανάμεσα σ' αυτές κάθε φορά να βάζουμε μονωτικό υλικό και ίσως κατάλληλη κόλλα.



Εικόνα 3. Φτιάχνοντας ένα πηνίο.

Ο αναγνώστης μπορεί να δει αναλυτικά τα βήματα κατασκευής παρακολουθώντας το σχετικό βίντεο που είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: www.youtube.com/watch?v=Cgh08JCjOJY&feature=em-upload_owner.

Όλες οι φωτογραφίες είναι του συγγραφέα.



Ο Νίκος Ιωάννου έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. Συμμετείχε ενεργά στη ανάπτυξη των νέων εργαστηρίων Λυκείων και στην επιμόρφωση των συναδέλφων πάνω στα πειράματα. Έχει οργανώνει πλήθος εκδηλώσεων σε συνεργασία με διάφορους φορείς και έχει προτείνει αρκετές πειραματικές ιδοκατασκευές. Είναι υπεύθυνος του Ε.Κ.Φ.Ε. Πιερίας, όντας από τους παλαιότερους υπευθύνους Ε.Κ.Φ.Ε. και συντηρεί το δικτυακό τόπο <http://ekfepierias.blogspot.gr/>

Ανοικτή επιστολή προς κάθε αρμόδιο

Φέτος στην εξεταστέα ύλη της Γ' Λυκείου συμπεριελήφθη και το κεφάλαιο 3 «Ρευστά σε κίνηση» (Ιωάννου κ.ά, 2010). Το κεφάλαιο αυτό περιέχει και την εξίσωση (νόμο) του Bernoulli. Με τη βοήθεια αυτού του νόμου ερμηνεύεται στο βιβλίο «Γιατί ένας δυνατός άνεμος παρασέρνει τις στέγες των σπιτιών» (σελίδα 96), «Ποια δύναμη ανυψώνει τα αεροπλάνα;» (σελίδα 97) και ζητείται από τους μαθητές (σελίδες 101-102) να πραγματοποιήσουν και να εξηγήσουν 4 δραστηριότητες [1^η: φυσώντας μεταξύ δυο κατακόρυφα αναρτημένων φύλλων χαρτιού, αυτά συγκλίνουν, 2^η: φυσώντας πάνω από καμπυλωμένο κομμάτι χαρτιού αυτό ανυψώνεται, 3^η: πλησιάζοντας ένα μπαλάκι αναρτημένο από ένα νήμα κοντά στη φλέβα του νερού της βρύσης αυτό μπαίνει μέσα στο ρεύμα του νερού, και 4^η: φυσώντας με ένα οριζόντιο καλαμάκι στην άκρη από ένα άλλο καλαμάκι βυθισμένο κατακόρυφα σε ποτήρι με νερό, προκαλείται ψεκάσμος].

Θεωρώ ότι, αν τεθούν θέματα από αυτή την ενότητα στις Πανελλήνιες εξετάσεις, η πιθανότητα να προκληθεί συζήτηση σε εφημερίδες, τηλεοράσεις, δικτυακούς τόπους κ.λπ. είναι μεγάλη για δύο λόγους.

Α. Στο βιβλίο της Γ' Λυκείου η πτήση των αεροπλάνων εξηγείται με το νόμο του Bernoulli.

Δεν είναι βέβαια το μοναδικό βιβλίο που το κάνει. Οι Weltner και Ingelman – Sundberg (2011b, περιλαμβάνεται στο παρόν τεύχος) αναφέρουν ότι «Ο Niermann ανέλυσε όλα τα εγχειρίδια που δημοσιεύτηκαν στη Γερμανική Γλώσσα κατά τα τελευταία εκατό χρόνια ερευνώντας τις εξηγήσεις της αεροδυναμικής ανύψωσης (άντωσης). Το κύριο αποτέλεσμα του είναι ότι από το 1920 και μετά κυριαρχούν οι εξηγήσεις που στηρίζονται στο νόμο του Bernoulli. Διαπίστωσε ότι το ίδιο ισχύει και για τα σύγχρονα Αμερικανικά και Αγγλικά βιβλία». Την ίδια εξήγηση βρίσκουμε και σε διεθνώς δημοφιλή βιβλία μεταφρασμένα και στη γλώσσα μας (για παράδειγμα, Hewitt, 1997, σελίδα 237; Serway, 1990, σελίδα 394).

Καταφεύγω απλά σε μια αναφορά από ένα εκ των εγκυροτέρων περιοδικών Φυσικής, το American Journal of Physics (υπενθυμίζοντας ότι προφανώς τα όσα γράφονται σε αυτό κρίνονται όχι μόνο για να δημοσιευτούν αλλά και εκ των υστέρων από τους αναγνώστες του με γράμματα στον εκδότη): «... η ερμηνεία που βασίζεται στο νόμο του Bernoulli είναι ελλιπής και έχει ένα βασικό μειονέκτημα: το σκεπτικό στο οποίο βασίζεται είναι λάθος» (Weltner, 1987).

Η ερμηνεία είναι λάθος για τρεις λόγους (Smith, 1972):

- Πρώτον, η πτέρυγα του αεροπλάνου δεν χρειάζεται να έχει μεγαλύτερη καμπυλότητα στο πάνω μέρος της από ό,τι στο κάτω. Μπορούν να πετούν και αεροπλάνα με απόλυτα συμμετρικές πτέρυγες, δηλαδή με πτέρυγες που έχουν την ίδια καμπυλότητα πάνω και κάτω και επιπλέον υπάρχουν αεροπλάνα που μπορούν να πετούν και ανάποδα.
- Δεύτερον, ακόμη και αν χρησιμοποιείται κυρτωμένη πάνω πτέρυγα, ο ισχυρισμός ότι ο αέρας πρέπει να διασχίσει την κυρτή πάνω επιφάνεια στον ίδιο χρόνο με την επίπεδη κάτω επιφάνεια (ή ότι τα αρχικά παρακείμενα μόρια του αέρα πρέπει να συναντηθούν και πάλι) δεν είναι αληθινός. Δεν προβλέπεται από κανένα φυσικό νόμο. Επιπλέον από την μαγνητοσκόπηση πειράματος που έγινε σε αεροδυναμική σήραγγα φαίνεται ότι ο ιχνηθετημένος με καπνό αέρας φτάνει στο πίσω μέρος από την πάνω επιφάνεια της πτέρυγας (χείλος εκφυγής) πολύ νωρίτερα από ό,τι από την κάτω επιφάνεια (Babinsky, 2003; βίντεο στη διεύθυνση: <http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=440194>).
- Τρίτον, και αυτό είναι εννοιολογικά το πιο σοβαρό, η συνηθισμένη εξήγηση των βιβλίων, και τα διαγράμματα που την συνοδεύουν, περιγράφουν μια δύναμη στην πτέρυγα του αεροπλάνου (που οφείλεται στη διαφορά πίεσης μεταξύ της άνω και της κάτω επιφάνειας της πτέρυγας) χωρίς να ασχολούνται με το ζευγάρι της, την αντίδραση σε αυτήν: πού ασκείται και τι προκαλεί. Από τη

στιγμή που ασκείται στην πτέρυγα του αεροπλάνου μια δύναμη από τον αέρα (δράση) πρέπει να ασκείται και από την πτέρυγα στον αέρα (αντίδραση) και να προκαλεί διαταραχή στη ροή του.

Απλά σημειώνω ότι το πρόβλημα δεν είναι μόνο ποσοτικό, ότι δηλαδή η δύναμη που προκύπτει από την (λανθασμένη) εφαρμογή της εξίσωσης του Bernoulli δεν επαρκεί για την ανύψωση του αεροπλάνου (Raskin, 1994) υπάρχουν σοβαρότερα εννοιολογικά προβλήματα Φυσικής. Πέρα από το σημείο 3, που παραπάνω αναφέρεται, οι Weltner and Ingelman – Sundberg υποστηρίζουν ότι: «Η κλασική εξήγηση της αεροδυναμικής άνωσης που στηρίζεται στο νόμο του Bernoulli και τις διαφορές στην ταχύτητα συγχέει αιτία και αποτέλεσμα. Η ταχύτερη ροή στην άνω πλευρά της πτέρυγας είναι η συνέπεια της χαμηλής πίεσης και όχι η αιτία της» (Weltner and Ingelman – Sundberg, 2011b).

Είναι γεγονός ότι η πίεση στο πάνω μέρος της πτέρυγας του αεροπλάνου είναι μικρότερη από ό,τι στο κάτω μέρος της. Το ερώτημα είναι: πώς ακριβώς συμβαίνει αυτό; Πάντως παγκοσμίως η κατάσταση, όσον αφορά την ερμηνεία που δίνεται για το «πώς πετάνε τα αεροπλάνα», έχει αρχίζει να αλλάζει.

B. Το πρόβλημα του 3ου Κεφαλαίου δεν περιορίζεται μόνο στην ερμηνεία της πτήσης του αεροπλάνου, απλώνεται και στην ερμηνεία άλλων φαινομένων.

Ας δούμε τις τέσσερις δραστηριότητες των σελίδων 101-102 που προτείνονται από το βιβλίο και την ερμηνεία που δίνεται από αυτό στο «Γιατί ένας δυνατός άνεμος παρασέρνει τις στέγες των σπιτιών». Σημειώνω ότι και αυτά τα φαινόμενα ερμηνεύονται και στη διεθνή βιβλιογραφία ως εφαρμογές του νόμου του Bernoulli. Από τον Eastwell (2007) αναφέρεται ότι αυτό συναντάται όχι μόνο σε δημοφιλή συγγράμματα, αλλά και σε εξειδικευμένα, επιστημονικά περιοδικά και είναι λάθος.

Στο ίδιο λάθος έχω πέσει και εγώ όταν νεότερος σεβόμουνα «τους πάπες» της Φυσικής (Κουμαράς, 2000, σελίδες 39 – 41; Κουμαράς, 2002, σελίδες 115-118 και μετέπειτα εκδόσεις). Ο Smith (1972) γράφει: «Εκατομμύρια παιδιά στο μάθημα της Φυσικής καλούνται να φουσήξουν πάνω από καμπυλωμένα κομμάτια χαρτιού και να παρατηρήσουν το γεγονός ότι το χαρτί «ανεβαίνει», ή καλούνται να φουσήξουν μεταξύ δύο αιωρούμενων μήλων και να πιστεύουν ότι ο νόμος του Bernoulli εξηγεί το πλησίασμά τους. Επίσης, λέγεται ότι ο νόμος του Bernoulli είναι υπεύθυνος για την άντωση στο φτερό του αεροπλάνου και για τη δύναμη που κάνει ένα περιστρεφόμενο μπαλάκι του μπέιζμπολ να ταξιδεύει σε καμπύλη τροχιά». Απλά στα παραπάνω θα πρόσθετα και την αρπαγή της στέγης και τον ψεκασμό με τα δυο καλαμάκια, που περιλαμβάνονται στο σχολικό βιβλίο της Γ' Λυκείου, καθώς και το μπαλάκι του πινγκ πονγκ που αιωρείται στο ρεύμα αέρα που δημιουργείται από πιστολάκι στεγνώματος μαλλιών (Weltner and Ingelman – Sundberg, 2011a; Lopez-Arias et al. 2011).

Βεβαίως σε κάποια από τα παραπάνω φαινόμενα έχουμε σε μια περιοχή, π.χ. στην πλευρά του **καμπυλωμένου** χαρτιού που φυσάμε, μικρότερη πίεση από την άλλη πλευρά του. Γιατί όμως αυτή να οφείλεται στο νόμο του Bernoulli; Υπάρχει διατήρηση ενέργειας (απαιτούμενο για να ισχύει η εξίσωση του Bernoulli) π.χ. πάνω και κάτω από το καμπυλωμένο φύλλο του χαρτιού; Θυμίζω ότι η εξίσωση Bernoulli ισχύει κατά μήκος μιας ρευματικής γραμμής (χωρίς τριβές) και υπό όρους για γειτονικές ρευματικές γραμμές και για όλη τη ροή (Babinsky, 2003). Αν η μικρότερη πίεση δεν οφείλεται στο νόμο του Bernoulli τότε πού οφείλεται;

Και ο Smith (1972) συνεχίζει: «Δυστυχώς, η “δυναμική άνωση” που εμπλέκεται σε καθένα από αυτά τα θέματα δεν εξηγείται σωστά από το νόμο του Bernoulli. Ο νόμος αυτός ποτέ δεν «διεκδίκησε» να ασχοληθεί με τη δυναμική άνωση, αλλά είναι μόνο μια έκφραση για το νόμο της διατήρησης της ενέργειας μέσα σε μια ισεντροπική ροή. Η δυναμική άνωση πρέπει να εξεταστεί ως μια εξωτερική επαφή μεταξύ του αέρα και ενός άλλου αντικειμένου, της πτέρυγας για παράδειγμα. Κατά την εξέταση αυτή, γίνεται αμέσως φανερό ότι ο νόμος που πρέπει να χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτή την αλληλεπίδραση είναι ο τρίτος νόμος του Νεύτωνα που αναφέρεται στη δράση και αντίδραση» (Smith, 1972).

Μπορούμε να δώσουμε στα παιδιά κατανοητή, και μάλιστα σε διάφορα επίπεδα, (και σωστή) ερμηνεία για τα παραπάνω φαινόμενα χωρίς να αναφερθούμε στο νόμο του Bernoulli. Ας αποφύγουν όμως οι αρμόδιοι να βάλουν κάτι από τα παραπάνω ως θέμα στις εξετάσεις. Ίσως θα ήταν καλύτερα να αποφασίσουν και τι ακριβώς θα διδάχτεί. Ας μείνει ο νόμος του Bernoulli για τις περιπτώσεις που έχουμε διατήρηση ενέργειας και πραγματικά ισχύει, όπως π.χ. στο θεώρημα Torricelli και στο ροόμετρο Ventouri που αναφέρονται στο σχολικό βιβλίο (σελίδες 97 και 98 αντίστοιχα).

Βιβλιογραφία

- Babinsky, H. (2003). How do wings work? *Physics Education* 38 (6), p.p 497-503.
- Eastwell, P. (2007). Bernoulli? Perhaps, but What About Viscosity? *The Science Education Review* 6 (1).
- Hewitt P. (1997). *Οι έννοιες της Φυσικής. Τόμος 1*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης. Τρίτη έκδοση. Ηράκλειο
- Lopez-Arias, T.; Gratton, L. M.; Zendri G.; Oss, S. (2011). Forces acting on a ball in an air jet. *Physics Education* 46(2) p.p. 146 – 151.
- Raskin J. (1994). Πετώντας με το φαινόμενο Coanda. *Quantum* 1(4), σελίδες 7-14. Ανακτήθηκε στις 29 Νοεμβρίου 2015 από http://ph403.edu.physics.uoc.gr/Quantum/Quantum_-_Tom1Tef4.No-Dek.1994.pdf
- Serway, R. (1990). *Physics for scientists & engineers with modern physics. Τόμος I: Μηχανική*. Ελληνική Μετάφραση, εκδόσεις Κορυφαία. Αθήνα
- Smith, N.F. (1972). Bernoulli and Newton in Fluid Mechanics. *Physics Teacher* 10, p.p. 451- 455.
- Weltner, K. (1987). A comparison of the explanation of the aerodynamic lifting force. *American Journal of Physics* 55 (1) p.p. 50 – 54.
- Weltner, K. and Ingelman - Sundberg, M. (2011a). *Misinterpretations of Bernoulli's law*. Ανακτήθηκε στις 29 Νοεμβρίου 2015, από <http://user.uni-frankfurt.de/~weltner/Misinterpretations%20of%20Bernoullis%20Law%202011%20internet.pdf>
- Weltner, K., and Ingelman - Sundberg, M. (2011b). *Physics of flight: Revisited*. Ανακτήθηκε στις 29 Νοεμβρίου 2015, από <http://www.angelfire.com/dc/nova/flight/PHYSIC4.html>. (Περιλαμβάνεται μεταφρασμένο στο παρόν τεύχος.)
- Ιωάννου, Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α., Ράπτης Σ. (2010). *Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης. Γ' Τάξη Γενικού Λυκείου*. (1^η Έκδοση). ΟΕΔΒ. Αθήνα
- Κουμαράς, Π. (2000). *Πειράματα Φυσικών Επιστημών με υλικά καθημερινής χρήσης*. ΟΕΔΒ. Αθήνα
- Κουμαράς, Π. (2002). *Οδηγός για την πειραματική διδασκαλία της Φυσικής*. Εκδόσεις Χριστοδουλίδη. Θεσσαλονίκη.
- Επιπλέον βιβλιογραφία είναι διαθέσιμη στο <http://slidegur.com/doc/1876447/document> (Ανακτήθηκε στις 9 Δεκεμβρίου 2015) στις διαφάνειες 44-47.

Παναγιώτης Κουμαράς
Καθηγητής Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.

Στη στήλη «Πρόκειται να συμβούν» θα πληροφορείστε για μελλοντικές εκδηλώσεις, συνέδρια, ημερίδες, διαγωνισμούς που αφορούν τις Φυσικές Επιστήμες και τη διδασκαλία τους, Ενημερώστε τη συντακτική επιτροπή για εκδηλώσεις που θέλατε να προβληθούν από τη στήλη αυτή στέλνοντας ηλεκτρονικό μήνυμα στη διεύθυνση physcool@auth.gr

4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Κεντρικής Μακεδονίας με θέμα «Αξιοποίηση των Τ.Π.Ε. στη διδακτική πράξη»

Στη Θεσσαλονίκη, στις 8 & 9 Απριλίου 2016, θα πραγματοποιηθεί το 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Κεντρικής Μακεδονίας με θέμα: «Αξιοποίηση των Τ.Π.Ε. στη διδακτική πράξη».

Κύριος σκοπός του συνεδρίου είναι να αναδείξει ιδέες και εμπειρίες σχετικές με την αξιοποίηση των Τ.Π.Ε. στη διδακτική πράξη.

Κατά τη διάρκεια του συνεδρίου θα πραγματοποιηθούν κεντρικές ομιλίες, workshops (εργαστήρια), προφορικές ανακοινώσεις, παρουσιάσεις αφίσας και στρογγυλά τραπέζια σχετικά με τη θεματολογία του συνεδρίου, που θα πλαισιώνονται από παράλληλες συνεδρίες ειδικοτήτων.

Δικτυακός τόπος του Συνεδρίου: <http://4synthess2016.ekped.gr> (για κάθε πληροφορία και επικοινωνία) και στο facebook: <https://www.facebook.com/tpe2016>

Πανελλήνιο Συνέδριο με θέμα «Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες»

Στη Θεσσαλονίκη, στις 16 & 17 Απριλίου 2016 θα πραγματοποιηθεί Πανελλήνιο Συνέδριο με θέμα: «Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες». Το Συνέδριο διοργανώνεται από το Π.Τ.Δ.Ε., το Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ. και την Πανελλήνια Ένωση Υπευθύνων Εργαστηριακών Κέντρων Φυσικών Επιστημών (ΠΑΝ.Ε.Κ.Φ.Ε.).

Δικτυακός τόπος του Συνεδρίου: <http://physcool.web.auth.gr/synedrio2016>
<http://panekfe.gr/synedrio2016>

2ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή για το Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες με θέμα «Το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και το εκπαιδευτικό υλικό στις Φυσικές Επιστήμες: μοναχικές πορείες ή αλληλεπιδράσεις;»

Το Εργαστήριο Μαθησιακής Τεχνολογίας και Διδακτικής Μηχανικής του Τ.Ε.Π.Α.Ε.Σ. του Πανεπιστημίου Αιγαίου και το Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών του Π.Τ.Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Αιγαίου, υπό την αιγίδα της Σχολής Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου, ανακοινώνουν τη διοργάνωση του 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή, με τίτλο: «Το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και το εκπαιδευτικό υλικό στις Φυσικές Επιστήμες: μοναχικές πορείες ή αλληλεπιδράσεις;», που θα πραγματοποιηθεί στις 14-16 Οκτωβρίου 2016 στις εγκαταστάσεις της Σχολής Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου στη Ρόδο.

Δικτυακός τόπος του Συνεδρίου: <http://ltee.org/sekpy2014/>.

9ο Πανελλήνιο Συνέδριο με θέμα «Οι Φυσικές Επιστήμες στην Προσχολική Εκπαίδευση. Σύγχρονες τάσεις και προοπτικές».

Το, Π.Τ.Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Κρήτης διοργανώνει το 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο με θέμα «Οι Φυσικές Επιστήμες στην Προσχολική Εκπαίδευση. Σύγχρονες τάσεις και προοπτικές» στο Ρέθυμνο, 27-29 Μαΐου 2016.

Δικτυακός τόπος του Συνεδρίου: <http://sece.gr/9thconference/>

