

# 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. Παναγιώτη Λάζο το Πάσχα του 2013 στο Βερολίνο. Μια φώκια απολαμβάνει τις βουτιές της στο ενυδρείο και μας παρουσιάζει την κοιλιά της. Ένα παχύ κρύσταλλο μας χωρίζει από το πανέμορφο θηλαστικό. Παρατηρούμε δύο ενδιαφέροντα στοιχεία στη φωτογραφία. Το σώμα της φώκιας (φαίνεται να) έχει κοπεί σε δύο κομμάτια και μάλιστα το κομμάτι εντός του νερού (φαίνεται να) έχει σαφώς μεγαλύτερες διαστάσεις. Υπάρχει, άραγε, κάποιο κοινό στοιχείο πίσω από τα δύο μυστήρια; Πώς θα βοηθούσε «λίγη» οπτική στην επίλυσή τους;

Στείλτε μας την απάντησή σας στην ηλεκτρονική διεύθυνση [physcool@auth.gr](mailto:physcool@auth.gr). Οι καλύτερες απαντήσεις θα δημοσιευτούν στο επόμενο τεύχος.

Δείτε τις καλύτερες απαντήσεις για τη φωτογραφία του 1<sup>ου</sup> τεύχους στις σελίδες 96-97.

<b>Editorial</b>	4-5
<b>Για το περιοδικό</b>	6-7
<b>Διαχρονικά και κλασικά</b>	
Το ουσιαστικό που λείπει: η εννοιολογική κατανόηση της Φυσικής. <i>P. Hewitt</i>	9-25
<b>Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό</b>	
“Τα κάναμε ...σαλάτα!”. Διερευνώντας την έννοια και τις ιδιότητες των μιγμάτων στο Δημοτικό. <i>Χ. Πράμας</i>	27-34
<b>Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο</b>	
Διακοπές στο φεγγάρι: μία εκπαιδευτική μερική γνωστική προσέγγιση της Σελήνης. <i>Σ. Αυγολούπης</i>	35-40
<b>Αστικοί μύθοι και διδακτικοί θρύλοι</b>	
Είναι πιο επώδυνη η μετωπική σύγκρουση αυτοκινήτου σε τοίχο ή με αντίθετα κινούμενο αυτοκίνητο; <i>Π. Κουμαράς</i>	41-48
<b>Μέσα στην τάξη</b>	
Στάσιμα κύματα: μία ολιστική αντιμετώπιση. <i>Π. Πετρίδης</i>	49-56
Φωτοελαστικότητα. Το πολωμένο φως και το ταπεινό σελοτέπ σε μία πολύχρωμη συνεργασία <i>Π. Λάζος</i>	57-65
Ένα ταξίδι τριών βημάτων... <i>Α. Χρονάκης</i>	67-76
<b>Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκορπίσματα</b>	
Η ανώμαλη διαστολή του νερού με χρήση ψυχρού λουτρού. <i>Β. Γαργανουράκης</i>	77-83
Παρουσιάζοντας το μηχανισμό της αναπνοής στη Στ' τάξη του δημοτικού σχολείου. <i>Α. Σιάτρας</i>	85-88
<b>Αντί βιβλίο-παρουσίαση</b>	
Ο Feynman, ο Νεύτων και η Γεωμετρία. <i>Ε. Παλαιολόγου</i>	89-92
<b>Πρόκειται να συμβούν</b>	93-94
<b>Γράψατε για το εξώφυλλο</b>	95-96

## 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. Εύσμου  
**Πολάτογλου Χαρίτων**, Αν. καθηγητής Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.

### Διαχείριση δικτυακού τόπου

**Αρτέμη Σταματία**, Υπ. Διδασκίστρια 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. Εύσμου  
**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  
**Καρούνας 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.  
Εύσμου  
**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.  
**Χαραλάμπος Μάριος**, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Εκπ/κός Π/βάθμιας  
Εκπ/σης Κύπρου

## Editorial – Μάρτιος 2014

Σας καλωσορίζουμε στο δεύτερο τεύχος του **“Φυσικές επιστήμες στην εκπαίδευση”**. Ελπίζουμε να βρείτε ενδιαφέρον και χρήσιμο το υλικό που επιλέξαμε για αυτό το τεύχος.

Στη στήλη «Διαχρονικά και κλασικά» φιλοξενούμε, μετά από σχετική άδεια από το *American Journal of Physics*, άρθρο του Paul Hewitt με τίτλο «*Το ουσιαστικό που λείπει: Η εννοιολογική κατανόηση της Φυσικής*». Το άρθρο αυτό είναι η ομιλία του Hewitt στην τελετή απονομής σε αυτόν του βραβείου Millikan το 1982. Το βραβείο απονέμεται σε αυτούς που έχουν κάνει αξιοσημείωτη και πνευματικά δημιουργική συνεισφορά στη διδασκαλία της φυσικής. Κάτι σαν βραβείο «του δάσκαλου της χρονιάς». Ο Paul Hewitt είναι γνωστός στη χώρα μας από το βιβλίο του «*Οι έννοιες της Φυσικής*» που κυκλοφορεί σε ελληνική μετάφραση από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης. Στο πρώτο τεύχος στην ίδια στήλη είχαμε φιλοξενήσει το άρθρο του John Dewey με τίτλο «*Οι Φυσικές Επιστήμες ως περιεχόμενο και ως μέθοδος*». Είναι η ομιλία του Dewey στο ετήσιο συνέδριο της Αμερικανικής Ένωσης για την Πρόοδο των Φυσικών Επιστημών (AAAS) το 1909.

Η επιλογή και των δυο άρθρων έγινε γιατί και τα δύο, παρά τα χρόνια που έχουν περάσει από τότε (32 για το άρθρο του Hewitt και 105 για το άρθρο του Dewey), θίγουν δυο βασικά προβλήματα της διδασκαλίας της Φυσικής και στη χώρα μας.

Το πρώτο. Ο Hewitt σχολιάζοντας το γεγονός ότι τα παιδιά δεν επιλέγουν μαθήματα Φυσικής αλλά Βιολογίας γράφει: «*Ο λόγος που οι περισσότεροι επιλέγουν τη Βιολογία είναι διότι αποτελεί κοινή γνώση ότι η Βιολογία διδάσκεται ποιοτικά ενώ η Φυσική διδάσκεται ποσοτικά*». Σας θυμίζει αυτό κάτι; Υπερασπίζοντας την ανάγκη να διδαχτεί εννοιολογικά η Φυσική σημειώνει: «*Η Φυσική είναι εύκολο να διδαχτεί μαθηματικά, αλλά από αυτό κάνουμε το λάθος να υποθέτουμε ότι είναι εύκολο και να μαθευτεί μαθηματικά*». Για τον ίδιο «*Ένας που εργάζεται λύνοντας προβλήματα Φυσικής ενώ στερείται εννοιολογικής αντίληψης της Φυσικής είναι παρόμοιος με έναν κουφό που γράφει μουσική ή με έναν τυφλό που ζωγραφίζει*». Νομίζω πως η μελέτη της ομιλίας του μπορεί να επιβεβαιώσει δικούς σας προβληματισμούς, να σας πείσει για την ανάγκη και να σας δώσει ιδέες για τη διδασκαλία μιας εννοιολογικής Φυσικής. Με τον όρο εννοιολογική Φυσική ο Hewitt εννοεί «*μια ποιοτική μελέτη των κεντρικών εννοιών της Φυσικής με έμφαση πάνω σε νοητικές εικόνες με τη βοήθεια των οποίων οι έννοιες της Φυσικής σχετίζονται με πράγματα και συμβάντα οικεία στο καθημερινό περιβάλλον*».

Το δεύτερο. Ο Dewey γράφει «*Η καθοριστική αιτία [της αποτυχίας της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών] για μένα είναι ότι οι Φυσικές Επιστήμες διδάσκονται σε μεγάλο βαθμό ως μια συσσώρευση έτοιμου υλικού με το οποίο οι μαθητές πρέπει να εξοικειωθούν και όχι ως μια μέθοδος σκέψης και στάσης, που ως πρότυπο καθορίζει και μετατρέπει τη*

διανοητική πρακτική». Για τον ίδιο «εάν υπάρχει οποιαδήποτε γνώση που να αξίζει να τη γνωρίζουμε είναι η γνώση για τους τρόπους που οτιδήποτε καταλήγει να αποκαλείται γνώση και όχι να είναι μια απλή γνώμη, μια υπόθεση ή ένα δόγμα. Αυτού του είδους η γνώση δεν μπορεί να αποκτηθεί από μόνη της. Δεν είναι ένα σώμα πληροφοριών, αλλά ένας τρόπος διανοητικής πρακτικής, μια συνήθης τάση του μυαλού». Αφού βεβαίως υποστηρίζει ότι οι Φυσικές Επιστήμες είναι τόσο εννοιολογικό περιεχόμενο όσο και μεθοδολογία, υποστηρίζει «... αλλά με βάση το χρόνο και τη σημασία των Φυσικών Επιστημών, οι Φυσικές Επιστήμες ως μέθοδος προηγούνται των Φυσικών Επιστημών ως περιεχόμενο». Στη χώρα μας και σήμερα ακόμη γνώση Φυσικής σημαίνει γνώση ορισμών, τύπων, νόμων. Δεν σημαίνει γνώση μεθοδολογίας και διαμόρφωση στάσης. Διεθνώς σήμερα η Φυσική θεωρείται μάθημα που πέρα από τις γνώσεις μπορεί να καλλιεργήσει κομβικές *Ικανότητες* στα παιδιά. Στην καλλιέργεια αυτών των Ικανοτήτων η μεθοδολογία της Φυσικής παίζει πρωτεύοντα ρόλο.

Προφανώς τα δυο παραπάνω είναι προβλήματα των προγραμμάτων σπουδών και κατά συνέπεια των βιβλίων και κάτι που στις τελευταίες τάξεις του Λυκείου έχει επιβληθεί από το είδος των θεμάτων στις πανελλήνιες εξετάσεις. Θεωρώ όμως ότι ακόμη και με αυτά τα προγράμματα και βιβλία κάτι μπορούμε να κάνουμε. Ελπίζουμε ότι άρθρα στα επόμενα τεύχη θα επικεντρωθούν στα δυο παραπάνω θέματα και θα παρουσιαστούν προσπάθειες που συνάδελφοι έχουν παρουσιάσει στις

τάξεις τους σε σχέση με τα δυο παραπάνω θέματα.

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 η 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 2.500 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 2.500 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](mailto:physcool@auth.gr).

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή



Μέσα από την στήλη “Διαχρονικά και κλασικά” θα δημοσιεύονται μεταφρασμένα κλασικά άρθρα με απόψεις για τις Φυσικές Επιστήμες και τη διδασκαλία τους. Φιλοδοξία είναι η στήλη να αποτελέσει μια από τις μόνιμες στήλες του περιοδικού. 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.

### **Το ουσιαστικό που λείπει: η εννοιολογική κατανόηση της Φυσικής**

**Paul G. Hewitt**

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΚΟΥΜΑΡΑΣ, ΘΟΔΩΡΗΣ ΠΙΕΡΡΑΤΟΣ

*Reproduced with permission from American Journal of Physics. Copyright 1983, American Association of Physics Teachers. Am. J. Phys. 51, 305 (1983); <http://dx.doi.org/10.1119/1.13258>*

Ευχαριστώ όλους εσάς που κάνατε αυτή την βράβευση πραγματικότητα για μένα. Σας είμαι ευγνώμων. Μου φαίνεται ειρωνικό ότι βραβεύομαι γιατί απλά έκανα εκείνο που αγαπώ περισσότερο από κάθε τι να κάνω: να βοηθώ τους άλλους να ανακαλύπτουν τη χαρά της μάθησης και της διδασκαλίας της Φυσικής.

Είναι συνηθισμένο αυτά τα χρόνια να έχουμε ακροατήριο με μεγάλη κατανομή ηλικιών. Ο πιο αγαπητός μου σπουδαστής αυτό το εξάμηνο είναι 72 ετών και ενδιαφέρεται για την “ψυχαγωγική εκπαίδευση”. Όταν εγώ άρχισα την κολεγιακή μου εκπαίδευση ήμουν 27 ετών, ό μεγαλύτερος φοιτητής στην τάξη μου. Πριν ζωγράφιζα διαφημιστικές πινακίδες στο Μαϊάμι όπου είχα καταφύγει για να ξεφύγω από τους κρύους

χειμώνες της Βοστώνης. Στο Μαϊάμι συνάντησα τον Dr. Jacque Fresco, έναν ψυχολόγο ο οποίος ήταν ένα είδος “Mr. Science”. Αυτός φούντωσε τη φαντασία μου και τη δίψα μου για μάθηση. Παράτησα το σχεδιασμό διαφημιστικών πινακίδων και από εκεί αρχίζει για μένα το σχολείο. Στο Newman Preparatory School στη Βοστώνη άντλησα έμπνευση από τον Mr. Joseph P. McDonald ο οποίος μου δίδαξε τα πρώτα μαθήματα Φυσικής. Μετά πήγα στο Lowell Technological Institute στο Lowell Massachusetts.

Στο Lowell Tech υπήρχε ένας εμπνευσμένος δάσκαλος, ο Dr. Raymond Gold. Αλλά ο Dr. Raymond Gold ήταν απρόσιτος. Ήταν πάνω, στον τρίτο όροφο, και δίδασκε περίπου μια ντουζίνα τελειόφοιτους και μεταπτυχιακούς

φοιτητές. Εμείς οι πρωτοετείς, ήμασταν 600 και στριμωχνόμασταν σε ένα μεγάλο αμφιθέατρο για να παρακολουθήσουμε το μάθημα Φυσικής. Η έμπνευση του Dr. Gold δεν υπήρχε στο δικό μας αμφιθέατρο. Κάποιοι από εμάς παραμείναμε στο μάθημα Φυσικής, αλλά οι περισσότεροι από τους συμφοιτητές μου το παράτησαν και πήραν μάθημα Χημείας ή Μηχανικής. Πάντοτε σκεπτόμουν ότι το σύστημα δεν ήταν σωστό. Ο Dr. Gold θα έπρεπε να είναι με τους 600 πρωτοετείς φοιτητές και οι λιγότερο έμπειροι δάσκαλοι να είναι πάνω στις μικρές αίθουσες του τρίτου ορόφου.

Στο τέλος του πρώτου έτους ήξερα ότι ήθελα να γίνω δάσκαλος. Ήθελα να είμαι ο “Mr. Άνθρωπος που διεγείρει”. Ήθελα να είμαι όπως ο Fresco ή ο Gold και να ξεσηκώνω τα ακροατήρια των πρωτοετών. Οι δάσκαλοί μου στο Lowell Tech, στις μεγάλες τάξεις, είχαν όλοι μεταπτυχιακό δίπλωμα, και αν επρόκειτο να κάνω το ίδιο, χρειαζόμουν και εγώ μεταπτυχιακό δίπλωμα. Έτσι πήγα στο Colorado, την πατρίδα της γυναίκας μου, για να κάνω τις μεταπτυχιακές μου σπουδές. Αλλά το Colorado State University δεν μπορούσε να μου προσφέρει μια έμμισθη θέση βοηθού διδασκαλίας, έτσι δεν είχα χρήματα ενώ είχα γυναίκα και δυο παιδιά. Τελικά ήμουν τυχερός και το γειτονικό Utah State University μου έδωσε υποτροφία. Λέω τυχερός γιατί δέχτηκα την υψηλής ποιότητας διδασκαλία των John Merrill και Farrell Edwards, καθώς και οι δύο ήταν έμπειροι στο να θέτουν εννοιολογικούς στόχους στη μαθηματική τους παρουσίαση.

Αφού πήρα το μεταπτυχιακό μου δίπλωμα κατέκτησα την πρώτη μου θέση ως διδασκων στο Junior College του Σαν Φραντσίσκο, όπου και βρίσκομαι μέχρι σήμερα. Στο City College έχουμε ένα μεγάλο τμήμα Φυσικής, προσανατολισμένο ιδιαίτερα στη διδασκαλία. Αυτό μου αρέσει πολύ. Μετά από 18 χρόνια διδασκαλίας νομίζω ότι ακόμη η τάξη με συναρπάζει. Ο κόσμος με ρωτάει: “Καλά δε βαρέθηκες να διδάσκεις συνέχεια τους νόμους του Newton;” Σε αυτό απαντώ: όχι περισσότερο από ό,τι κουράζεται ο φίλος μου και συνάδελφος, Dave Wall, να κάνει επί χρόνια μαγικά, και να τον βλέπω ακόμη εύθυμα να κρύβει στην παλάμη του νομίσματα και στη συνέχεια να τα βγάζει από τα αυτιά ενός μικρού παιδιού που τον παρακολουθεί. Δεν τον κουράζει αυτό, γιατί κάθε φορά κάνει το κόλπο με άλλο παιδί. Δεν διδάσκω τους νόμους του Newton. Διδάσκω ανθρώπους, νέους ανθρώπους κάθε εξάμηνο, οι οποίοι δεν γνωρίζουν ότι οι νόμοι του Newton δίνουν ενδιαφέροντες και διορατικούς τρόπους να βλέπει κάποιος τα καθημερινά πράγματα.

Το να διδάσκεις είναι κάτι περισσότερο από μια δουλειά, περισσότερο από ένα επάγγελμα, είναι ολόκληρος τρόπος ζωής ο οποίος κατά την άποψή μου είναι απλά «αχτύπητος». Το να διδάσκεις είναι τόσο πολύ σημαντικό και αξίζει να δώσεις ό,τι καλύτερο έχεις, γιατί από σένα εξαρτάται είτε το να σβήσεις κάθε ενθουσιασμό που τυχόν έχουν οι φοιτητές σου, είτε να τους παρακινήσεις ώστε να φτάσουν στα όρια των δυνατοτήτων τους. Μια σειρά μαθημάτων Φυσικής πρέπει να είναι διασκεδαστική, πιθανά να απαιτεί σκληρή

δουλεία, αλλά οπωσδήποτε πρέπει να είναι διασκεδαστική. Η Φυσική είναι διασκέδαση. Αλλιώς γιατί υπάρχουν τα διασκεδαστικά ονόματα, “quarks”, με ιδιότητες όπως “γοητεία” και “χρώμα”;

Ιδιαίτερα διασκεδαστική είναι η διδασκαλία εισαγωγικών μαθημάτων. Αυτό συμβαίνει γιατί οι φοιτητές μας έρχονται περιμένοντας τα χειρότερα. Η Φυσική έχει τη φήμη ότι είναι ένας συρφετός εξισώσεων και μαθηματικών του χειρίστου είδους. Η Φυσική έχει τη φήμη ότι είναι ακατανόητη. Είναι λοιπόν διασκεδαστικό να παρακινείς τους φοιτητές να ανακαλύψουν ότι το γνωστικό μας αντικείμενο προκαλεί ενδιαφέρον. Οι φοιτητές χαίρονται κυρίως την ανακάλυψη ότι μπορούν να καταλάβουν τις έννοιες της Φυσικής.

Τα καλύτερα μυαλά δεν είναι κατ’ ανάγκη μαθηματικά οργανωμένα. Έχω την εντύπωση ότι υπάρχουν πολλοί περισσότεροι άνθρωποι που ενδιαφέρονται να μάθουν Φυσική από αυτούς που ενδιαφέρονται να μάθουν εφαρμοσμένα μαθηματικά. Έχω από καιρό νοιώσει ότι η μελέτη της Φυσικής είναι τόσο σπουδαία, τόσο συναρπαστική, τόσο όμορφη για να περιοριστεί στους λίγους οι οποίοι έχουν την ικανότητα της μαθηματικής ανάλυσης. Πρέπει δηλαδή ο κόσμος που δεν έχει μαθηματικό ταλέντο να μη μελετά Φυσική;

Γιατί είναι συνηθισμένο για τους φοιτητές να αποφεύγουν τη βασική Φυσική και αντί για αυτήν να επιλέγουν Βιολογία; Η Βιολογία είναι πιο περίπλοκη από τη Φυσική. Η Φυσική είναι πράγματι τόσο απλή ώστε να μπορεί εύκολα να εκφραστεί με μαθηματική μορφή. Αλλά το

ότι αυτή μπορεί να εκφράζεται μαθηματικά αποτελεί το πρόβλημα για τον περισσότερο κόσμο. Για τον περισσότερο κόσμο τα μαθηματικά είναι ξένη γλώσσα. Ο λόγος που οι περισσότεροι φοιτητές επιλέγουν τη Βιολογία είναι διότι αποτελεί κοινή γνώση ότι η Βιολογία διδάσκεται ποιοτικά ενώ η Φυσική διδάσκεται ποσοτικά. Η Φυσική είναι εύκολο να διδαχτεί μαθηματικά, αλλά από αυτό κάνουμε το λάθος να υποθέτουμε ότι είναι εύκολο και να μαθευτεί μαθηματικά.

Μας στενοχωρεί πολύ η έλλειψη καλών δασκάλων Φυσικής, ειδικά στα γυμνάσια. Ας αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα αρχίζοντας από τα ακροατήριά μας. Ας αρχίσουμε κάνοντας τη Φυσική προσιτή. Ας διδάξουμε το γνωστικό μας αντικείμενο ποιοτικά. Ας νομιμοποιήσουμε τη Φυσική. Εγώ το κάνω διδάσκοντας εννοιολογική Φυσική.

Με τον όρο εννοιολογική Φυσική εννοώ μια ποιοτική μελέτη των κεντρικών εννοιών της Φυσικής με έμφαση πάνω σε νοητικές εικόνες με τη βοήθεια των οποίων οι έννοιες της Φυσικής σχετίζονται με πράγματα και συμβάντα οικεία στο καθημερινό περιβάλλον.

Έχω διδάξει τις περισσότερες από τις σειρές μαθημάτων Φυσικής που διδάσκονται στο City College, και η αγαπημένη μου σειρά ήταν, και είναι ακόμη, η σειρά μαθημάτων Φυσικής για φοιτητές που δεν παρακολουθούν τμήματα Φυσικών Επιστημών. Θυμάμαι ότι οι διδάσκοντες συνήθιζαν να λένε ότι το μόνο πράγμα που μπορείς να διδάξεις σε τέτοιους πληθυσμούς είναι Ιστορία της Φυσικής ή μάθημα του τύπου Επιστήμη και Κοινωνία. Υποστήριζαν αυτές τις απόψεις διότι

θεωρούσαν ότι οι φοιτητές μη Φυσικών Επιστημών δεν μπορούν να κάνουν μαθηματικά και έτσι δεν μπορούν να κάνουν “πραγματική Φυσική”. Πάντα διαφωνούσα κάθετα με αυτή την άποψη. Ένοιωθα ότι το θέμα με τους φοιτητές που δεν ακολουθούν Φυσικές Επιστήμες δεν είναι να αποφύγουμε τη Φυσική. Δεν υπάρχει λόγος να αποφύγουμε μια κατά μέτωπο αντιμετώπιση βασικής σειράς μαθημάτων Φυσικής. Το θέμα είναι μάλλον οι φοιτητές να διδαχθούν την ουσία της Φυσικής, το σκληρό πυρήνα. Αυτό σημαίνει, να διδαχθούν τις θεμελιώδεις αρχές της Φυσικής, όχι όμως με την παραδοσιακή μαθηματική μορφή αλλά με τη γλώσσα που οι περισσότεροι από αυτούς καταλαβαίνουν: τα Αγγλικά.

Έτσι ο βασικός στόχος των μαθημάτων μου είναι να διδάξω το σκληρό πυρήνα της Φυσικής με έμφαση στο καθημερινό περιβάλλον. Ο καθημερινός κόσμος είναι πλούσιος σε Φυσική. Είναι λάθος να βλέπεις τη Φυσική σαν κάτι που υπάρχει μόνο σε κάποια εργαστήρια ή σε κάποια εγχειρίδια. Η Φυσική είναι παντού, και έργο μου ως δάσκαλου Φυσικής είναι να φέρω αυτή τη Φυσική ζωντανή στα μυαλά των φοιτητών μου. Ένας άνθρωπος με εννοιολογική αντίληψη της Φυσικής είναι ενήμερος για το περιβάλλον του, ακριβώς όπως ένας βοτανολόγος που κάνει τη βόλτα του σε ένα δασώδες πάρκο είναι πιο ενημερωμένος από τους περισσότερους από εμάς για τα δέντρα, τα φυτά και την πανίδα. Πλούτος στη ζωή δεν είναι να βλέπεις μόνο τον κόσμο με ορθάνοιχτα μάτια αλλά και να γνωρίζεις τι ψάχνεις.

Ας πάρουμε την έννοια της δύναμης. Γνωρίζουμε ότι οι δυνάμεις απαντώνται μόνο σε ζεύγη, αλλά πόσοι από τους φοιτητές μας το γνωρίζουν; Μπορούμε να τους καταστήσουμε ικανούς να δουν ότι κάθε δύναμη είναι στην πραγματικότητα μια αλληλεπίδραση μεταξύ τουλάχιστον δυο σωμάτων. Εάν η μία από τις δυνάμεις που αποτελούν το ζεύγος είναι φανερή, η άλλη που συμπληρώνει το ζεύγος, πιθανά έχει διαφύγει της προσοχής τους. Αλλά αυτή είναι εκεί και μπορούμε να τους διδάξουμε να ψάχνουν για αυτήν. Ας θεωρήσουμε ένα αυτοκίνητο κινούμενο κατά μήκος ενός δρόμου. Οι φοιτητές αντιλαμβάνονται ότι υπάρχει μια δύναμη που διατηρεί την κίνηση του αυτοκινήτου παρά την τριβή ή άλλες παρόμοιες δυνάμεις. Ποιά όμως είναι η δύναμη η οποία κινεί το αυτοκίνητο κατά μήκος του δρόμου; Τα λάστιχα σπρώχνουν το δρόμο προς τα πίσω όπως φαίνεται από τα μικρά σκουπιδάκια τα οποία αυτά μερικές φορές πετάνε προς τα πίσω. Και τι σπρώχνει τα λάστιχα; Ο δρόμος! Έτσι, είναι ο δρόμος που κινεί το αυτοκίνητο κατά μήκος του δρόμου! Είναι διασκεδαστικό να καθιερώνεται αυτή η άποψη μεταξύ των φοιτητών σου.

Στηρίζομαι πάνω στον τοίχο και ρωτώ τι συμβαίνει. Λέω ότι κάποιοι φίλοι που δεν ξέρουν Φυσική θα αναγνωρίσουν ότι σπρώχνω τον τοίχο. Αλλά κάποιος με γνώσεις Φυσικής θα δει ότι και κάτι άλλο επίσης συμβαίνει: και ο τοίχος σπρώχνει εμένα. Ή για να το θέσουμε διαφορετικά, ας υποθέσουμε ότι είσαι θυμωμένος και χτυπάς τον τοίχο με τη γροθιά σου. Μπαμ! και το χέρι σου τραυματίζεται. Επιδένεις το χέρι σου και κάποιος φίλος

ρωτάει τι σου συνέβη. Τι θα του πεις; Θα του πεις ότι ο τοίχος χτύπησε το χέρι σου. Είναι αληθινό. Κρατάς ψηλά ένα φύλλο χαρτί και ισχυρίζεσαι ότι ούτε ο παγκόσμιος πρωταθλητής βαρέων βαρών στην πυγμαχία δεν μπορεί να χτυπήσει το χαρτί με δύναμη 50 rounds. Όταν χτυπήσεις το χαρτί με όλη σου τη δύναμη μόνο ένα ελαφρό χτύπημα αισθάνεσαι. Το φύλλο του χαρτιού δεν είναι ικανό να “ανταποδώσει” το χτύπημα με 50 rounds, έτσι ούτε εσύ μπορείς να το χτυπήσεις με 50 rounds. Δεν μπορείς να χτυπήσεις σκληρότερα από όσο θα χτυπηθείς. Μπορείς να δώσεις μόνο ό,τι θα πάρεις. Δεν μπορείς να αγγίξεις δίχως να αγγιχτείς.

Υπάρχουν τόσα πολλά που μπορούμε να διδάξουμε ώστε πρέπει να είμαστε προσεχτικοί στα όρια επιλογής των θεμάτων μας. Πρέπει να έχουμε στο νου μας την αρχή της ελάχιστης γνώσης<sup>1</sup> του Holden: “Μαθαίνουμε ό,τι είναι ανάγκη να μάθουμε για να επιβιώσουμε και ξεχνάμε τα υπόλοιπα”. Είναι παρόμοιο με την κατάσταση όπου ένα παιδί κριτικάρει το βιβλίο του δηλώνοντας: “Αυτό το βιβλίο μου λέει για τους πιγκουίνους περισσότερα από όσα θέλω να μάθω”. Έτσι συχνά αφιερώνω μια ολόκληρη διάλεξη σε μια ή δυο ιδέες και στηρίζω αυτές με παραδείγματα και παραδείγματα και παραδείγματα.<sup>2</sup>

Χρησιμοποιώ πολλά σχέδια στον πίνακα. Αυτό είναι εύκολο για μένα γιατί έχω υπόβαθρο ως σχεδιαστής κινούμενου σχεδίου. Αλλά νομίζω ότι όλοι οι δάσκαλοι πρέπει να μάθουν να ζωγραφίζουν, τουλάχιστον τα απλά πράγματα, όπως έναν κύβο, ή μια έλλειψη με

την εστία όπου βρίσκεται ένας πλανήτης στη σωστή θέση. Οι δάσκαλοι Φυσικής έχουν κακή φήμη ως καλλιτέχνες. Οι περισσότεροι κατηγορηματικά θα παραδεχτούν ότι δεν μπορούν να ζωγραφίσουν. Αλλά αυτό είναι μια δικαιολογία. Οι περισσότεροι δεν έχουν ποτέ καταβάλει καμία σοβαρή προσπάθεια να μάθουν. Αναπτύσσοντας κάποιες απλές σχεδιαστικές δεξιότητες θα μπορούν να κάνουν πολλά για να βελτιώσουν τη διάλεξή τους. Τι σκέπτονται οι φοιτητές όταν κάθονται παθητικά ενώ ο δάσκαλος αγωνίζεται στον πίνακα προσπαθώντας να ζωγραφίσει έναν απλό κύβο; «Αυτός μου βάζει το Σαββατοκύριακο 15 ώρες δουλειάς στο σπίτι και δεν διαθέτει 15 λεπτά από το χρόνο του για να μάθει πώς να ζωγραφίζει έναν απλό κύβο».

Εγώ, όπως και οι περισσότεροι από εσάς, έμαθα την περισσότερη από τη Φυσική που ξέρω όταν άρχισα να τη διδάσκω. Είναι καλώς γνωστό ότι ο διδάσκων μαθαίνει περισσότερα από τον διδασκόμενο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι έννοιες γύρω από τις οποίες μόνο σκεπτόμαστε τείνουν να ξεχαστούν. Αλλά θυμόμαστε τις έννοιες τις οποίες συζητάμε. Για αυτό το λόγο προωθώ πολλές συζητήσεις στην τάξη μου, ακόμη και μεγάλης έκτασης. Υποθέτω, για παράδειγμα, ότι διαπραγματεύομαι τις έννοιες της βαρύτητας και του βάρους. Θα δηλώσω στην τάξη: “Αν κατάλαβατε όσα έχουμε συζητήσει, αν πραγματικά τα καταλάβατε, τότε μπορείτε να απαντήσετε στην ερώτηση: Θεωρήστε ότι συγκρίνετε το βάρος σας το οποίο μετρήσατε έξω στο δρόμο με το βάρος σας το οποίο μετρήσατε στην ταράτσα ενός πανύψηλου ουρανοξύστη.

Έπειτα, μιλώντας με αυστηρή ακρίβεια, το βάρος σας στην ταράτσα του ουρανοξύστη θα είναι α) ελαφρώς μεγαλύτερο, β) ελαφρώς μικρότερο και γ) δε θα υπάρξει διαφορά.” Ζητώ από τους φοιτητές να γράψουν τις απαντήσεις τους στα τετράδιά τους. Έπειτα ζητώ από αυτούς να κοιτάξουν τα χαρτιά των διπλανών τους και να συζητήσουν σύντομα μεταξύ τους τις απαντήσεις τους. Μετά από λίγο συνεχίζω ζητώντας από αυτούς να συζητήσουν μεταξύ τους γιατί διάλεξαν την απάντησή τους και γιατί οι άλλες απαντήσεις ήταν λάθος. Στην αρχή του εξαμήνου όταν για πρώτη φορά τα έκανα αυτά, πρότεινα ότι αν οι διπλανοί τους δεν ήταν συνεργάσιμοι την επόμενη φορά να αλλάξουν θέση. Η πίεση από τους συμφοιτητές είναι συχνά χρήσιμη.

Η συζήτηση μέσα στην τάξη είναι μόνο ένα μέρος του σεναρίου. Γνωρίζουμε ότι έχουμε βρει ανταπόκριση αν οι φοιτητές μας κουβεντιάζουν τις έννοιες της Φυσικής έξω από την αίθουσα διδασκαλίας, στην καφετερία, στο λεωφορείο, στο σπίτι. Οι φοιτητές θα έχουν μεγαλύτερη διάθεση να κουβεντιάζουν αν έχουν καθοδηγηθεί πώς να το κάνουν. Για αυτό το λόγο παρουσιάζω πολλές έννοιες με τη μορφή διαλόγου (δεν ήταν αποτελεσματικός ο Γαλιλαίος στο να περνάει πολλές έννοιες με αυτό τον τρόπο;). Ζητώ από τους φοιτητές μου να προσποιηθούν ότι μετέχουν στην κουβέντα για τη διευκρίνιση μιας έννοιας και τους προπονώ πάνω στις πιθανές αιτιάσεις που μπορεί να προκύψουν κατά τη διευκρίνιση της έννοιας σε άλλους. Παρακινώ τους φοιτητές μου να κουβεντιάσουν μέσα στην τάξη και, ελπίζω, έξω από

την τάξη, εκείνες τις έννοιες της Φυσικής που είναι αρκετά σημαντικές να μαθευτούν

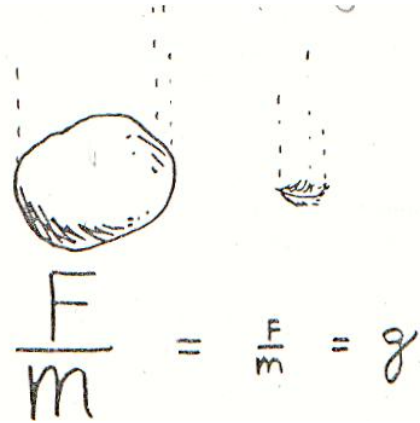
Ο δεύτερος στόχος της σειράς μαθημάτων μου είναι να καλλιεργήσω την κριτική σκέψη. Πώς γνωρίζουμε ότι αυτό κι εκείνο είναι έγκυρα; Τι μαρτυρίες έχουμε για να πιστεύουμε έτσι; Αν κάνουμε λάθος πώς μπορούμε να το γνωρίζουμε; Τραβάω στα άκρα την άποψη του Feynman ότι το να ονομάζουμε τα πράγματα δεν σημαίνει ότι κατανοούμε τα πράγματα. Πολλές φορές στη διάρκεια των μαθημάτων μου θυμίζω στους μαθητές μου ότι καταλαβαίνουμε πολλά πράγματα και έχουμε ονόματα και ταμπέλες για αυτά τα πράγματα. Υπάρχουν βεβαίως και πολλά πράγματα τα οποία δεν καταλαβαίνουμε, έχουμε όμως και για αυτά ονόματα και ταμπέλες. Η εκπαίδευση δεν είναι θέμα απόκτησης νέων ονομάτων και ταμπελών, αλλά διάκρισης μεταξύ ποιών ονομάτων καταλαβαίνουμε και ποιών όχι. Λέμε ότι ένα σώμα κινείται χωρίς μεταβολή της ταχύτητάς του λόγω της αδράνειας. Αυτό είναι σωστό; Αυστηρά μιλώντας, η απάντηση είναι όχι. Δεν γνωρίζουμε γιατί τα σώματα συμπεριφέρονται με αυτόν τον τρόπο. Απλά ονομάζουμε την τάση τους να συμπεριφέρονται έτσι *αδράνεια*. Σώματα που πέφτουν ελεύθερα δεν αυξάνουν την ταχύτητά τους επειδή επιταχύνονται. Επιτάχυνση είναι το όνομα που δίνεται σε αυτή την συμπεριφορά όχι ο λόγος για αυτήν. Και άλλα παρόμοια.

Χρησιμοποιώ τύπους με τους φοιτητές που δε σπουδάζουν Φυσικές Επιστήμες; Μα φυσικά! Οι τύποι είναι κάτι πολύ περισσότερο από συνταγές στις οποίες τοποθετούμαι

αριθμητικά δεδομένα. Οι τύποι καθοδηγούν τη σκέψη. Ας θεωρήσουμε για παράδειγμα τον τύπο για την βαρυτική δύναμη  $F \propto mM/d^2$ . Η βαρυτική δύναμη είναι υπεύθυνη για το βάρος μας. Είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ της μάζας μας  $m$  και της μάζας της Γης  $M$ . Είναι εύκολο να δούμε ότι αν η μάζα μας αυξηθεί τότε το βάρος μας θα είναι μεγαλύτερο. Η δύναμη εξαρτάται επίσης από το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης μεταξύ του κέντρου μάζας του σώματός μας και του κέντρου μάζας της Γης. Τι συμβαίνει στο βάρος μας αν σκαρφαλώσουμε σε μια ψηλή σκάλα; Βλέπουμε ότι το  $d$  αυξάνει και άρα η βαρυτική δύναμη ελαττώνεται. Ρωτώ τους φοιτητές μου αν αλλάζει η δύναμη της βαρύτητας που ενεργεί πάνω σε ένα δορυφόρο της Γης, αν η ταχύτητα του δορυφόρου αλλάξει; Τους ρωτώ αν ξέρουν αρκετή Φυσική ώστε να είναι ικανοί να απαντήσουν σε μια τέτοια ερώτηση. Και μετά τους τονίζω ότι η απάντηση είναι ΝΑΙ και μπορούν να φτάσουν σε αυτή αν αφήσουν τον τύπο να καθοδηγήσει τη σκέψη τους. Μπορεί αντίστοιχα μια αλλαγή στη θερμοκρασία να επηρεάσει τη δύναμη; Μπορεί το χρώμα του δορυφόρου να επηρεάσει τη δύναμη; Κανένα από αυτά δεν επηρεάζει τη δύναμη, διότι ο τύπος μάς λέει όχι μόνο ποιά πράγματα επηρεάζουν τη βαρυτική δύναμη αλλά, εκ παραλείψεως, και ποιά πράγματα δεν την επηρεάζουν. Δεν υπάρχει σύμβολο για τη θερμοκρασία στον τύπο έτσι η θερμοκρασία δεν έχει σημασία. Και δεν υπάρχει σύμβολο για την ταχύτητα στον τύπο έτσι αν η ταχύτητα του δορυφόρου δεν συνοδεύεται από αλλαγές στη μάζα ή την απόσταση τότε ή δύναμη είναι

ανεξάρτητη της ταχύτητας του δορυφόρου. Ο τύπος οδηγεί σε αυτή την σκέψη.

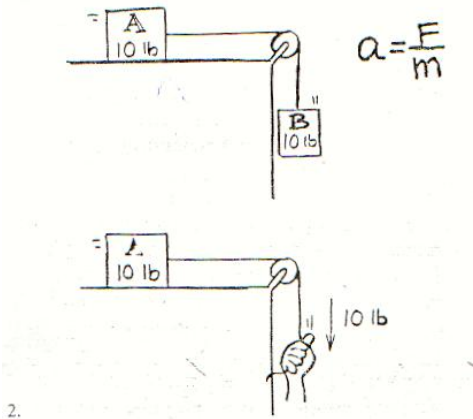
Οι περισσότεροι άνθρωποι είναι αρκετά καλοί να σκέπτονται με μια έννοια κάθε στιγμή, ο τύπος όμως μας διδάσκει να σκεπτόμαστε με περισσότερες από μια έννοιες την ίδια στιγμή. Ας μελετήσουμε την Εικόνα 1 και το δεύτερο νόμο του Newton,  $a=F/m$ .



Εικόνα 1

Για να καταλάβουμε γιατί ένα φτερό και ένας ογκόλιθος πέφτουν συγχρόνως όταν δεν υπάρχει η αντίσταση του αέρα (αυτό είναι ένα πείραμα το οποίο επιδεικνύεται στην τάξη με ένα πούπουλο και ένα νόμισμα μέσα σε σωλήνα που δεν έχει αέρα) βλέπουμε ότι αν και η βαρυτική δύναμη είναι μεγαλύτερη πάνω στον ογκόλιθο ωστόσο και η μάζα του είναι αντίστοιχα μεγαλύτερη. Ο λόγος  $F/m$  για το καθένα είναι ο ίδιος. Τα σύμβολα για τα διαφορετικά μεγέθη είναι αποτελεσματικά για να παγιώσουν τη σημασία των διαφορετικών μεγεθών που εμπλέκονται.

Ας μελετήσουμε την Εικόνα 2. Δυνάμεις μέτρου 10 pound τραβάνε το σώμα Α πάνω σε ένα τραπέζι χωρίς τριβή. Σε ποια από τις δυο περιπτώσεις η επιτάχυνση είναι μεγαλύτερη;

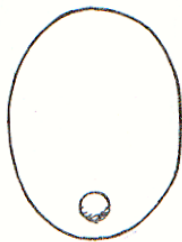


Εικόνα 2

Αν λάβουμε υπόψη μόνο τις δυνάμεις που φαίνεται να δρουν στο σώμα Α στις δύο περιπτώσεις, μπορεί να πούμε ότι οι επιταχύνσεις είναι ίσες. Αλλά ο τύπος μάς λέει επίσης να λάβουμε υπόψη και τις μάζες που εμπλέκονται. Στην πάνω περίπτωση η μάζα που επιταχύνεται είναι διπλάσια, άρα η επιτάχυνση είναι μισή σε σχέση με την κάτω περίπτωση. Τώρα υπάρχει και κάτι περισσότερο σε αυτό το πρόβλημα, μπορούμε να περάσουμε στην ιδέα ότι η τάση του νήματος στο πάνω σύστημα είναι μικρότερη από 10 pounds. Και αυτό μπορούμε επίσης να το συζητήσουμε. Παρεμπιπτόντως, αν τα 10 pounds είναι άβολα για εσάς, λάβετε υπόψη ότι αντιστοιχούν σε περίπου 44,5 N.

Ας μελετήσουμε το παρακάτω, κάπως δυσκολότερο, πρόβλημα (Εικόνα 3).

ΕΝΑΣ ΠΥΡΑΥΛΟΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΕΛΛΕΙΠΤΙΚΗ ΤΡΟΧΙΑ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ. ΣΕ ΠΟΙΟ ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΠΥΡΟΔΟΤΗΣΕΙ ΤΙΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΤΟΥ ΓΙΑ ΝΑ ΑΠΟΚΤΗΣΕΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΦΥΓΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΗ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΔΥΝΑΤΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ; ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ:  $F \cdot S = \Delta K$



Εικόνα 3

Ένας πύραυλος βρίσκεται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τη Γη. Σε ποιο σημείο της τροχιάς του πρέπει να ανάψει τις μηχανές του ώστε να αποκτήσει ταχύτητα διαφυγής χρησιμοποιώντας την ελάχιστη δυνατή ποσότητα καυσίμων; Ας υποθέσουμε για παράδειγμα ότι οι μηχανές μπορούν να παράσχουν μια ώθηση σταθερής ισχύος και διάρκειας 30 δευτερολέπτων. Σε ποια θέση αυτή η ώθηση θα προκαλέσει τη μεγαλύτερη αλλαγή στην κινητική ενέργεια του πυραύλου; Ας αφήσουμε τον τύπο  $F \cdot s = \Delta K$  να οδηγήσει τη σκέψη μας. Επειδή η ώθηση είναι σταθερή, βλέπουμε ότι για να πετύχουμε την μέγιστη αλλαγή στην κινητική ενέργεια ο τύπος μάς οδηγεί στο να μελετήσουμε την απόσταση  $s$ . Μπορείτε να δείτε ότι ο πύραυλος θα διανύσει μεγαλύτερη απόσταση κατά την διάρκεια της σύντομης πυροδότησης όταν αυτός θα ταξιδεύει ταχύτερα; Αυτό συμβαίνει όταν ο πύραυλος είναι στο περίγειο. Τώρα μπορούμε να στηρίξουμε αυτό το συμπέρασμα με επιπλέον μελέτη των κινητικών ενεργειών που δίδονται στα διαφεύγοντα αέρια στις διάφορες θέσεις. Στο απόγειο όπου ο πύραυλος ταξιδεύει με μικρότερη ταχύτητα, η περισσότερη κινητική ενέργεια του συστήματος δίδεται στα αέρια, ενώ στο περίγειο η περισσότερη κινητική ενέργεια συνδέεται με τον πύραυλο. Το σημαντικό εδώ είναι ότι ο τύπος του θεωρήματος Έργου - Ενέργειας παρακάμπτει αυτές τις θεωρήσεις και μας οδηγεί απλά και έξυπνα στη σωστή απάντηση.

Η διαμόρφωση κριτικής σκέψης στους φοιτητές μας είναι πολύτιμη υπηρεσία. Σε πάρα - πάρα πολλές σειρές μαθημάτων οι



φοιτητές διδάσκονται να απομνημονεύουν και να αναμασούν πληροφορίες. Η κριτική σκέψη που μπορεί να καλλιεργηθεί στους φοιτητές από εμάς έχει αξία η οποία εκτείνεται πέραν από την εμπειρία της τάξης. Σχετίζεται με το πώς ένα άτομο βλέπει και αντιμετωπίζει τον κόσμο.

Ο τρίτος στόχος της σειράς μαθημάτων μου είναι να συσχετίσω το ρόλο της Φυσικής και της Τεχνολογίας με ένα θετικό μέλλον. Είναι της μόδας να κατηγορούνται τα ευρήματα της επιστήμης και της τεχνολογίας και να εκτιμάται ότι ο κόσμος πήρε τον κατήφορο. Παντού υπάρχουν προφήτες της κατάθλιψης και του θανάτου οι οποίοι υποδεικνύουν την αναπτυσσόμενη τεχνολογία ως αιτία για όλα τα κακά του κόσμου. Αναμφίβολα υπάρχουν μερικοί πολύ πραγματικοί κίνδυνοι συνδεδεμένοι με την αναπτυσσόμενη τεχνολογία και αυτοί πρέπει να επισημάνονται. Αλλά πολύ συχνά αυτοί υπερτονίζονται χωρίς να αναφέρονται ποιες είναι οι θετικές δυνατότητες που υπάρχουν. Αυτό αποθαρρύνει του νέους ανθρώπους οι οποίοι φοβούνται για τη θέση τους στο μέλλον. Τα παρατάνε. Με στενοχωρεί να βλέπω γραμμένο με σπρέι πάνω σε κάποιες οικοδομές στο Σαν Φραντσίσκο: “Δεν υπάρχει μέλλον”. Λυπόμαστε όταν ο κόσμος παύει να ελπίζει σε έναν καλύτερο κόσμο. Εμείς οι δάσκαλοι Φυσικής έχουμε όχι μόνο την ευκαιρία αλλά νομίζω και την ευθύνη να επισημάνουμε τα θετικά πράγματα τα οποία προκαλεί η τεχνολογία. Είμαστε σε θέση να ισορροπήσουμε τις αρνητικές ενοράσεις του μέλλοντος, οι οποίες πολύ συχνά βασίζονται σε

παραπλανητικά δεδομένα, με περισσότερο ακριβείς προγνώσεις, οι οποίες βασίζονται στις καλύτερες δυνατόν πληροφορίες και υπενθυμίζουν στους φοιτητές τις θετικές μας δυνατότητες.

Άκουσα μία ιστορία σε μια διάλεξη του Buckminster Fuller η οποία μου αρέσει πολύ. Ας θεωρήσουμε ένα νεογέννητο αυγό που περιέχει ένα έμβρυο στο εσωτερικό του. Το έμβρυο αρχικά βρίσκει τον εαυτό του να περιβάλλεται από επαρκείς πόρους για να επιζήσει και να μεγαλώσει. Αλλά καθώς το έμβρυο αναπτύσσεται δαπανούνται οι πόροι στο εσωτερικό περιβάλλον του αυγού. Με τον καιρό το έμβρυο βρίσκει ότι έχει καταναλώσει όλους αυτούς τους πόρους και πιθανά πιστεύει ότι έφτασε η ώρα για το τέλος του. Δεν υπάρχει μέλλον. Απελπισμένα ραμφίζει το περιοριστικό του όριο κι εμπλέκεται σε ένα εκ βάθρων νέο παιχνίδι. Εκείνο που φαινόταν ως το τέλος του κατέληξε να είναι η αρχή του.

Κι εμείς ζούμε στο λίκνο του ανθρώπινου είδους, στον πλανήτη Γη. Υπάρχει ένα πράγμα χαρακτηριστικό των λίκνων: στο στάδιο της ζωής που ζούμε σε αυτά, αναπτυσσόμαστε και τελικά τα υπερκαλύπτουμε. Μετακινούμαστε σε νέα περιβάλλοντα. Και δεν έχουμε αίσθηση της έναρξης αυτού του σταδίου όταν παρακολουθούμε στις τηλεοράσεις μας τις απογειώσεις και προσγειώσεις του διαστημικού λεωφορείου Columbia; Που οδηγεί αυτό; Μάρτυρες των πρώτων πτήσεων στο Kitty Hawk πρέπει να είχαν αναρωτηθεί το ίδιο πράγμα.

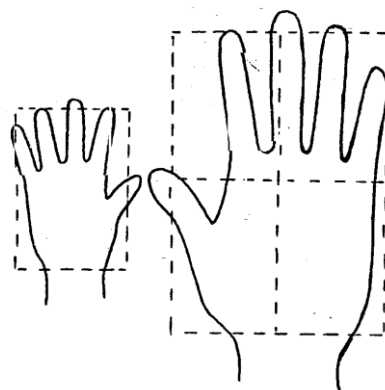
Διαστημικές συσκευές περιφερόμενες σε τροχιά στο Ηλιακό σύστημα μας εφοδιάζουν με

κάτι παραπάνω από ενδιαφέρουσες εφαρμογές της Φυσικής - δυναμική της περιστροφής και παρόμοια θέματα. Αυτά αναζωπυρώνουν το πνεύμα των φοιτητών μας. Αυτές οι ιδέες επίσης ευαισθητοποιούν τους φοιτητές σχετικά με την αξία των εθνικών προγραμμάτων που χρηματοδοτούνται μέσω της NASA και άλλων εταιρειών. Έχουμε την ευθύνη να δούμε ότι οι φοιτητές μας είναι επιστημονικά πληροφορημένοι ψηφοφόροι.

Σε κάθε έναν από τους τρεις στόχους της σειράς μαθημάτων μου, που είναι η διδασκαλία της ουσίας της Φυσικής, η διαμόρφωση κριτικής σκέψης και η μετάδοση θετικών αξιών, το τελικό αποτέλεσμα είναι η συνολική γνώση την οποία ο φοιτητής αποκτά παρακολουθώντας τα μαθήματα. Παραφράζοντας τον Erick Rogers: "Εκπαίδευση τελικά είναι οι γνώσεις που μένουν όταν όλα τα γεγονότα, οι τύποι και τα διαγράμματα έχουν ξεχαστεί". Θέλω οι φοιτητές μου να δουν ότι η σπουδή της Φυσικής είναι συναρπαστική και κατανοήσιμη, ότι όλα αυτά τα ποικίλα φαινόμενα γύρω μας είναι όμορφα δεμένα μεταξύ τους με εκπληκτικά λίγες σχέσεις, τους νόμους της Φύσης. Θέλω να μεταδώσω τον πλούτο της γνώσης όλης της Φυσικής η οποία καθημερινά περιβάλλει τους φοιτητές μας.

Η άριστη γνώση κατακτάται κάνοντας Φυσική. Είχα τη μεγάλη τιμή να ξεκινήσω μια τάξη στο Exploratorium στο Σαν Φραντσίσκο το περασμένο εξάμηνο. Αυτό το επιστημονικό μουσείο είναι ο ιδανικός τόπος να διδάξουμε Φυσική, με αλληλεπιδρώντα εκθέματα παντού. Με τη βοήθεια των Frank Oppenheimer, Rob Semper και Bod Miller εκεί δεν μιλούσαμε μόνο

και σκεπτόμασταν Φυσική αλλά κάναμε Φυσική, όλη η τάξη έκανε Φυσική. Εκεί, πριν ξεκινήσω με την τάξη μου, ο Frank Oppenheimer μου έδωσε έναν οδηγό των εκθεμάτων και το ένα από αυτά που θυμάμαι περισσότερο, μπορεί να υλοποιηθεί οπουδήποτε. Πρόκειται για μια οπτική απάτη την οποία και θα ήθελα να δούμε μαζί αμέσως τώρα. Τεντώστε τελείως το αριστερό σας χέρι λοξά προς τα πάνω και μισο-τεντώστε το δεξί σας χέρι με τρόπο ώστε να βρίσκεται μεταξύ του αριστερού σας χεριού και των ματιών σας. Εκτιμήστε το σχετικό μέγεθος των χεριών σας. Δεν έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος; Τι συμβαίνει τότε με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου; Η εικόνα του χεριού που βρίσκεται πιο κοντά στα μάτια καλύπτει στον αμφιβληστροειδή περιοχή τέσσερις φορές μεγαλύτερη (Εικόνα 4), αλλά η πίστη σας ότι τα χέρια σας έχουν το ίδιο μέγεθος είναι τόσο ισχυρή ώστε το μυαλό σας αντιλαμβάνεται ότι τα χέρια σας έχουν ίσο μέγεθος (παρά το διαφορετικό οπτικό ερέθισμα).



Εικόνα 4

Μπορείτε να το ελέγξετε αν κοιτάξετε με το ένα μάτι και συγκρίνετε τα σχετικά μεγέθη των χεριών σας με κάτι που βρίσκεται στο

βάθος του οπτικού σας πεδίου. Έμεινα έκπληκτος όταν ο Frank μου πρωτόδειξε αυτή την αυταπάτη και επίσης όταν με ρώτησε ποιές άλλες αυταπάτες έχουμε και δεν είναι τόσο εύκολο να τις ελέγξουμε.

Φυσικά έχουμε πολλές αυταπάτες για πολλά πράγματα. Θα ήθελα να δώσω έμφαση στη σημερινή μου ομιλία σε μια αυταπάτη την οποία νομίζω συμμερίζονται πολλοί δάσκαλοι Φυσικής. Αυτή έχει να κάνει με τον τρόπο που διδάσκουμε Φυσική στους φοιτητές Φυσικών Επιστημών και στους φοιτητές Πολυτεχνείου, αυτούς που σπουδάζουν “πραγματική” Φυσική. Επιτρέψτε μου καταρχάς να πω ότι νομίζω πως υπάρχει γενική συμφωνία ότι με τη διδασκαλία εννοιολογικής Φυσικής αποφεύγουμε αποτελεσματικά τα μαθηματικά. Γι’ αυτό είναι πολύτιμη για τους φοιτητές που είναι αδύνατοι στα μαθηματικά, δηλαδή στους φοιτητές μη Φυσικών Επιστημών. Να τώρα η αυταπάτη: επειδή η αποφυγή των μαθηματικών δεν είναι αναγκαία για τους φοιτητές Φυσικών Επιστημών και Πολυτεχνείου, θεωρούμε ότι και η εννοιολογική αντιμετώπιση της Φυσικής δεν είναι επίσης αναγκαία. Νομίζω ότι η αποφυγή των μαθηματικών για αυτούς τους φοιτητές μπορεί να μην είναι αναγκαία αλλά αυτό δεν συνεπάγεται ότι η εννοιολογική διαπραγμάτευση της Φυσικής είναι αχρείαστη. Το να αποφεύγουμε τη διδασκαλία εννοιολογικής Φυσικής με τους φοιτητές Φυσικών Επιστημών και Πολυτεχνείου είναι ένα σοβαρό λάθος. Κάνουμε λάθος όταν υποθέτουμε ότι επειδή οι φοιτητές μπορούν να λύνουν

προβλήματα αυτό συνεπάγεται ότι καταλαβαίνουν τις έννοιες.

Δεν είναι αλήθεια ότι οι ώριμοι φυσικοί έχουν ένα εννοιολογικό υπόβαθρο της Φυσικής πάνω στο οποίο έχει αναπτυχθεί η επιδεξιότητά τους στη μαθηματική ανάλυση; Και δεν είναι αλήθεια ότι η εννοιολογική αντίληψη είναι ένα πλαίσιο αναφοράς μέσω του οποίου οι ίδιες οι ιδέες, οι έννοιες και τα προβλήματα της Φυσικής γίνονται αντιληπτά; Και δεν είναι αλήθεια ότι η εννοιολογική προσέγγιση είναι ουσιαστική για την πραγματική κατανόηση της Φυσικής; Αλλά δε νομίζετε ότι η καλλιέργεια αυτού του ουσιαστικού λείπει όταν η διδασκαλία μας στοχεύει μόνο στο να αυξήσει το αναλυτικό επίπεδο και περιεχόμενο των εισαγωγικών μας σειρών μαθημάτων;

Όταν δίνεται στη μαθηματική ανάλυση πολύ μεγαλύτερη έμφαση παρά στους εννοιολογικούς συλλογισμούς οι σπουδαστές θεωρούν τη μελέτη της Φυσικής ως μια σειρά μαθημάτων εφαρμοσμένων μαθηματικών. Οι φοιτητές μας δεν έχουν μάθει αρκετή Φυσική για να διακρίνουν μεταξύ των δυο. Λένε ότι η Φυσική είναι εφαρμοσμένα μαθηματικά! Πιθανά και η Βιολογία θα τους φαινόταν ως εφαρμοσμένα μαθηματικά αν η Βιολογία ήταν αρκετά απλή ώστε να είναι εύκολο να εκφραστεί μαθηματικά. Οι φοιτητές μας αισθάνονται ότι ξέρουν τέλεια Φυσική αν κατέχουν την αναλυτική της γλώσσα. Ακριβώς όπως οι συνομήλικοί τους υποψήφιοι ποιητές συγχέουν το να είναι ικανοί να απαγγέλλουν το ποίημα με το να το καταλαβαίνουν.

Ας θεωρήσουμε άλλα γνωστικά αντικείμενα. Ένας υποψήφιος μουσικός ακούει πολλά κονσέρτα και συνθέσεις πριν μάθει τις βασικές γνώσεις για να γράψει τα δικά του. Ένας ζωγράφος έχει παρακολουθήσει πολλές εκθέσεις τέχνης πριν μελετήσει τις τεχνικές της ζωγραφικής. Αλλά οι φοιτητές Φυσικής μπαίνουν στη μαθηματική ανάλυση αμέσως μόλις εισάγονται στη σπουδή της Φυσικής. Έχουμε τη λανθασμένη αντίληψη ότι οι φοιτητές θετικών επιστημών έχουν ήδη εννοιολογική εξοικείωση με βασικές έννοιες της Φυσικής. Αλλά οι περισσότεροι πρωτοετείς φοιτητές δυσκολεύονται να ξεχωρίσουν διαβαθμίσεις τόνων και χρωμάτων σε μια εννοιολογική κατανόηση της Φυσικής.

Επιτρέψτε μου να το πω χρησιμοποιώντας πολύ «βαριές κουβέντες» για να τονίσω την άποψή μου: ένας φοιτητής Φυσικής που εργάζεται λύνοντας προβλήματα Φυσικής ενώ στερείται εννοιολογικής αντίληψης της Φυσικής μοιάζει με έναν κουφό που γράφει μουσική ή με έναν τυφλό που ζωγραφίζει. Οι φοιτητές Φυσικής βασανίζονται με αναλυτικά προβλήματα τα οποία δεν έχουν νόημα για αυτούς.

Κάποτε ο πρωταρχικός σκοπός των εισαγωγικών σειρών μαθημάτων Φυσικής ήταν να διδαχθούν στους φοιτητές και να γίνουν κατανοητές οι θεμελιώδεις αρχές της Φυσικής. Το τεστ που ακολουθούσε για να διαπιστωθεί αν είχε κατανοήσει ο σπουδαστής τις θεμελιώδεις αρχές ήταν να ελεγχθεί αν ήταν ικανός να λύνει προβλήματα. Από τότε μέχρι σήμερα αυτό κάπου έχει βραχυκυκλωθεί. Στις μέρες μας ο σκοπός των περισσότερων

εισαγωγικών μαθημάτων είναι να διδάξουν λύση προβλημάτων. Οι σπουδαστές μας προσπαθούν να απαγγείλουν το ποίημα χωρίς να ξεχνάνε ούτε λέξη. Οι σπουδαστές μαθαίνουν πολύ γρήγορα πώς να παίζουν το παιχνίδι των μαθημάτων Φυσικής. Το όνομα του παιχνιδιού είναι: “λύση προβλημάτων”. Μπορώ να θυμηθώ πώς έπαιζα το παιχνίδι όταν ήμουν σπουδαστής. Όταν μου δινόταν μια εργασία (πάντοτε πρόβλημα για λύση), πήγαινα κατευθείαν στο τέλος του κεφαλαίου και προσπαθούσα να λύσω τα προβλήματα. Κάποια μπορούσα να τα λύσω γιατί ήταν παρόμοια με άλλα που είχα κάνει νωρίτερα. Για να λύσω τα υπόλοιπα γύριζα πάλι πίσω, μέσα στο κεφάλαιο, κι έψαχνα για τους κατάλληλους τύπους. Οι σελίδες που διάβαζα ήταν αυτές που περιείχαν τύπους και αυτές που είχαν παραδείγματα λυμένων προβλημάτων. Κάποιες σελίδες ήταν όλο γραπτό κείμενο, καθαρό πεζογράφημα. Δεν είχα χρόνο για τέτοια πεζογραφήματα, είχα να λύσω προβλήματα. Τα θέματα των εξετάσεων για τη σειρά μαθημάτων της Φυσικής είχαν προφανώς μόνο προβλήματα. Τίποτα άλλο. Δεν υπήρχαν ερωτήσεις που να απαιτούσαν ποιοτικές εξηγήσεις. Μερικά προβλήματα απαιτούσαν μια εννοιολογική αντίληψη κάποιων πραγμάτων από τη Φυσική, αλλά όχι όλα. Αλλά και αυτά είχαν περιορισμένες απαιτήσεις. Ποιά ήταν η αξία μιας ιδέας όπως η διατήρηση της ενέργειας; Η αξία ήταν ότι σε κάποια προβλήματα μπορούσες να εφαρμόσεις τον τύπο  $mgh = 1/2mv^2$ , ή σε κάποια άλλα  $mgh = 1/2mv^2 + F \cdot s$ , και στο μέρος  $F \cdot s$  έπρεπε να θυμάσαι να βάλεις τα ημίτονα και τα συνημίτονα σωστά. Τα

ουσιώδη της Φυσικής δεν είχαν αξία εκτός αν άμεσα βοηθούσαν στη λύση προβλημάτων.



Εικόνα 5

Το σενάριο στην Εικόνα 5 επισημαίνει τον παραλογισμό και την ανοησία της υπερβολικά μεγάλης έμφασης που δίνεται στη λύση προβλημάτων και η οποία αποκλείει μια περισσότερο γενική αντίληψη της Φυσικής στις εισαγωγικές μας σειρές μαθημάτων.

Ας γίνω εδώ περισσότερο σαφής σχετικά με παρανοήσεις που μπορεί να δημιουργηθούν από τα λόγια μου. Δε σκοπεύω να μειώσω τη σπουδαιότητα της μαθηματικής ανάλυσης και της λύσης προβλημάτων στη διδασκαλία της Φυσικής. Πού θα ήμασταν χωρίς αυτά; Είναι απολύτως απαραίτητα για να κάνουμε καλή Φυσική. Όλοι αναγνωρίζουμε πόσο ουσιώδη είναι αυτά και γι' αυτό και δεν υπάρχει έλλειμμα μαθηματικής ανάλυσης στη διδασκαλία της Φυσικής. Επιχειρηματολογώ ωστόσο ότι υπάρχει επίσης ακόμη ένα ουσιαστικό χαρακτηριστικό που πρέπει να το δούμε σοβαρά. Και αυτό το ουσιαστικό λείπει από τη διδασκαλία. Αυτό είναι η εννοιολογική κατανόηση της βασικής Φυσικής - η ικανότητα να δημιουργεί ο φοιτητής νοητική εικόνα της φυσικής αλληλεπίδρασης, διαδικασίας ή έννοιας και να μπορεί να την περιγράφει λεκτικά ή συμβολικά, καθώς και να είναι

ικανός να ξεχωρίζει μια έννοια από άλλες στενά σχετιζόμενες με αυτή.

Βρίσκουμε ότι αυτό το ουσιαστικό λείπει όταν μεγάλος αριθμός σπουδαστών μπορεί με επιτυχία να βγάλει με το κομπιουτεράκι του αριθμητική απάντηση σε προβλήματα Φυσικής αλλά δεν αντιλαμβάνεται αν ή απάντησή του, για παράδειγμα το μήλο έχει βάρος  $10^5$  N, έχει ή όχι νόημα στον κόσμο που μας περιβάλλει. Βρίσκουμε ότι αυτό το ουσιαστικό λείπει όταν άνθρωποι που ρωτήθηκαν στοιχειώδη πράγματα Φυσικής, κουνάνε τα χέρια τους και λένε: "Ω! είναι όλα στα μαθηματικά". Εκείνο για το οποίο αναρωτιόμαστε είναι: ποιά όλα είναι στα μαθηματικά; Βρίσκουμε ότι αυτό το ουσιαστικό λείπει στα μεταπτυχιακά τμήματα όταν οι σπουδαστές τα πηγαίνουν καλά στις γραπτές τους εξετάσεις και σχετικά άσχημα στις προφορικές. Γιατί; Διότι, από παράδοση, οι γραπτές εξετάσεις περιλαμβάνουν λύση προβλημάτων ενώ οι προφορικές απαιτούν εννοιολογική Φυσική. Έτσι βρίσκουμε τους σπουδαστές να αρχίζουν να παίρνουν την εννοιολογική Φυσική στα σοβαρά μετά την αποφοίτησή τους.

Νομίζω ότι τα έχουμε όλα ανάποδα. Θα πρέπει να διδάξουμε τους σπουδαστές μας πρώτα την εννοιολογική κατανόηση και μετά τους ποσοτικούς υπολογισμούς. Πεποίθησή μου είναι όσο μεγαλύτερο είναι το διάστημα μεταξύ αυτών των δύο φάσεων τόσο το καλύτερο. Αν ο σπουδαστής παρακολουθήσει μια σειρά μαθημάτων εννοιολογικής Φυσικής πριν πάρει την παραδοσιακή σειρά δεν αμφισβητεί την αξία της εννοιολογικής λογικής. Και αυτό γιατί την έχει δοκιμάσει. Οι σπουδαστές αποκτούν μια εννοιολογική βάση, με τη βοήθεια της οποίας έχουν μια ευρύτερη θεώρηση της Φυσικής. Με αυτή τη βάση αποκτούν εφελτήριο για μεγαλύτερη εμπλοκή στις σειρές μαθημάτων επίλυσης προβλημάτων που θα ακολουθήσουν.

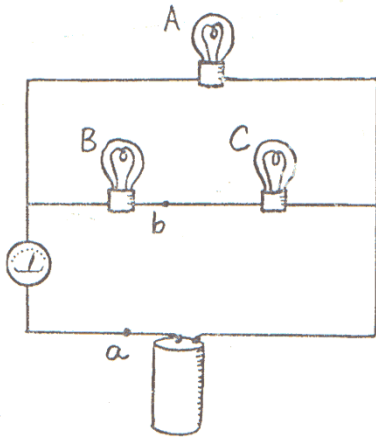
Νομίζω ότι πολλοί δάσκαλοι αισθάνονται ότι μπορούν να διδάξουν ταυτόχρονα και εννοιολογικά και παραδοσιακά. Νομίζω ότι δεν είναι δυνατόν και θα υπερβάλλω για να τονίσω την άποψή μου. Θεωρώ ότι το να διδάσκεις εννοιολογική και παραδοσιακή Φυσική συγχρόνως είναι παρόμοιο με το να διδάσκεις τα παιδιά πώς να χορεύουν τότε που κανονικά αυτά μαθαίνουν να περπατούν. Τα περισσότερα παιδιά θα αποτύχουν σε αυτή την αποστολή και θα βρούμε λίγους χορευτές στον κόσμο μας. Παρόμοια οι περισσότεροι σπουδαστές θα αποφύγουν τη Φυσική ή θα αποτύχουν σε αυτή για τον ίδιο λόγο. Προτού αποκτήσουν αυτοπεποίθηση στην πραγματοποίηση εννοιολογικών συλλογισμών, κατευθύνουν τις προσπάθειές τους στο να λύσουν προβλήματα. Πίσω στους βαδιστές και τους χορευτές. Κάποια παιδιά θα μπορέσουν

να μάθουν χορό στην ηλικία που κανονικά μαθαίνουν να περπατούν και μερικοί από αυτούς θα χορεύουν με μεγάλη κομψότητα. Αλλά όχι πολλοί. Και αν αυτοί γίνουν οι δάσκαλοι της επόμενης γενιάς πιθανά θα περιμένουν το ίδιο από τους φοιτητές τους. Είναι μια παγίδα στην οποία εύκολα πέφτουμε. Ισχυρίζομαι ότι οι δάσκαλοι αποτελούν μια κατασκευασμένη ομάδα. Είμαστε ικανοί να χορεύουμε στο στάδιο του περπατήματος και περιμένουμε από τους σπουδαστές μας να κάνουν το ίδιο. Βρίσκουμε κάποιους οι οποίοι μπορούν και ενθαρρυνόμαστε. Σχεδιάζουμε στρατηγικές για τους πιο αργούς φοιτητές οι οποίοι σκοντάφτουν στις σειρές των μαθημάτων μας, στρατηγικές σχεδιασμένες να τους βοηθήσουν να χορεύουν εφόσον παίρνουμε ως δεδομένο ότι μπορούν να περπατούν. Ας το αναστρέψουμε. Ας βοηθήσουμε καταρχάς τους φοιτητές μας να αποκτήσουν σταθερό περπάτημα πριν τους εισάγουμε στις δυσκολίες του χορού. Ας τους δώσουμε εισαγωγικές σειρές μαθημάτων όπου πρωταρχικός στόχος είναι η εννοιολογική κατανόηση, πριν αντιμετωπίσουν τις παραδοσιακές.

Ο χρόνος που απομένει θα μου επιτρέψει να δώσω λίγα μόνο παραδείγματα για να διευκρινίσω τον ισχυρισμό μου ότι η εννοιολογική κατανόηση πρέπει να προηγείται των υπολογισμών. Ας θεωρήσουμε το απλό ηλεκτρικό κύκλωμα της Εικόνας 6.

Αυτό περιλαμβάνει μια ηλεκτρική πηγή σταθερής ΗΕΔ, ένα αμπερόμετρο και τρεις εντελώς όμοιες λάμπες. Ο σπουδαστής, πριν κάνει κάποιους υπολογισμούς, δεν θα πρέπει

να είναι ικανός να απαντά σε βασικές ερωτήσεις όπως οι ακόλουθες;



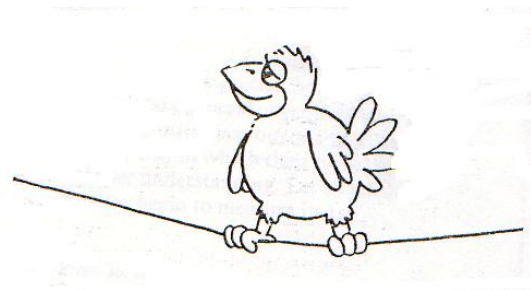
Εικόνα 6

- (1) Η λάμπα A λάμπει λιγότερο, περισσότερο ή το ίδιο με τη λάμπα B; Η λάμπα B λάμπει λιγότερο, περισσότερο ή το ίδιο με την λάμπα C;
- (2) Πώς επηρεάζεται η λάμψη των λαμπών που απομένουν αν ξεβιδώσουμε και απομακρύνουμε την λάμπα A; Πώς αν ξεβιδώσουμε και απομακρύνουμε την λάμπα B;
- (3) Πώς θα μεταβληθεί η ένδειξη του αμπερομέτρου σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις; Θα μεγαλώσει, θα μικρύνει ή θα παραμείνει ή ίδια; Δικαιολόγησε την απάντησή σου.
- (4) Ποιο θα είναι το αποτέλεσμα στη σχετική λάμψη των λαμπών και στην ένδειξη του αμπερομέτρου αν συνδέσω με ένα καλώδιο τα σημεία a και b μεταξύ τους;

Αυτές είναι εννοιολογικές ερωτήσεις οι οποίες έχουν ποιοτικές απαντήσεις και είναι εμπνευσμένες από παρόμοιες ερωτήσεις που θέτει ο Arnold Arons στους σπουδαστές του στο Πανεπιστήμιο Washington και οι οποίες παρατίθενται στο τεύχος του Ιανουαρίου του

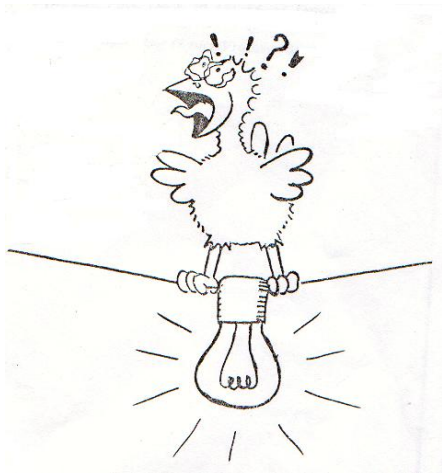
1982 αυτού του περιοδικού<sup>3</sup>. Ο Arons βρήκε ότι μόνο το 30% των σπουδαστών της τάξης μπορούσε να απαντήσει αυτές τις ερωτήσεις σωστά ενώ το 65% μπορούσε να χρησιμοποιήσει τους νόμους του Kirchoff για να λύσει πιο πολύπλοκα κυκλώματα. Παρακαλώ διαβάστε αυτό το άρθρο και άλλα παρόμοια τα οποία έχουν δημοσιευτεί από την ομάδα ερευνητών του Πανεπιστημίου Washington<sup>4</sup>. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ξανά και ξανά ότι οι σπουδαστές, ακόμη και καλοί σπουδαστές, στερούνται εννοιολογικής κατανόησης της Φυσικής, παρόλο που φαίνεται να την εφαρμόζουν για την επιτυχή επίλυση των κλασικών προβλημάτων Φυσικής. Δεν έχουμε όλοι την αίσθηση ότι αυτό συνέβαινε ανέκαθεν;

Ας δούμε ένα απλούστερο παράδειγμα. Δεν θα έπρεπε οι σπουδαστές μας να γνωρίζουν γιατί ένα πουλί μπορεί να κάθεται χωρίς να παθαίνει τίποτα πάνω σε ένα γυμνό σύρμα υψηλής τάσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 7,



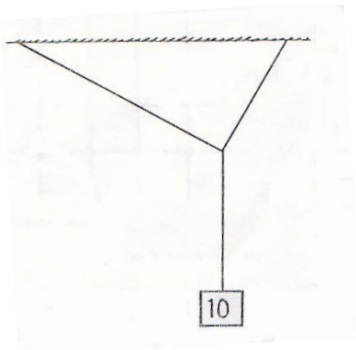
Εικόνα 7

και γιατί το πουλί θα έχει προβλήματα αν σταθεί με τα πόδια ανοιχτά πάνω από μια ηλεκτρική λάμπα όπως φαίνεται στην Εικόνα 8;



Εικόνα 8

Οι σπουδαστές σας πρέπει να είναι ικανοί να εκτιμούν τις σχετικές τάσεις στα σχοινιά που φαίνονται στο απλό πρόβλημα ισορροπίας της Εικόνας 9.



Εικόνα 9

Διάφορες μέθοδοι τέτοιων εκτιμήσεων πρέπει να συζητιούνται στο μάθημα. Δεν πρέπει να απαιτείται να κάνουν αυτές τις εκτιμήσεις πριν αρχίσουν να κάνουν κάποιους μαθηματικούς υπολογισμούς; Αυτό είναι σύμφωνο με τον Πρώτο Νόμο του John Wheeler: Ποτέ μην κάνεις ένα μαθηματικό υπολογισμό πριν να έχεις αντιληφθεί την απάντηση. Η εννοιολογική προσέγγιση πρέπει να προηγείται των μαθηματικών υπολογισμών.

Έχω να κάνω δυο προτάσεις. Η πρώτη είναι να παρέχουμε στους σπουδαστές μια εισαγωγική σειρά μαθημάτων Φυσικής η οποία να είναι τελείως εννοιολογική. Η σειρά αυτή είναι δυνατόν να είναι η ίδια για όλους τους σπουδαστές ανεξάρτητα αν πρόκειται να σπουδάσουν ή όχι Φυσικές Επιστήμες. Η λογική της θέση είναι στο επίπεδο του Λυκείου. Πολλά όμως Λύκεια αυτή την εποχή δεν περιλαμβάνουν στα μαθήματά τους Φυσική. Σε τέτοιες περιπτώσεις η σειρά μαθημάτων εννοιολογικής Φυσικής θα πρέπει να προσφέρεται στο επίπεδο του Junior College ή στα κολλέγια όπου τέτοιες σειρές μαθημάτων προαπαιτούνται ή συνιστάται θερμά η παρακολούθησή τους από φοιτητές Φυσικών Επιστημών και μέλλοντες μηχανικούς. Αν η εννοιολογική Φυσική θεωρηθεί ως ένα διδακτικό στολίδι, τότε κάτι ο χρόνος, κάτι οι άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τα αναλυτικά προγράμματα θα το αντιμετωπίσουν σαν μια ακόμη ιδέα η οποία θα αποτύχει με το πέρασμα του χρόνου. Αν από την άλλη μεριά η εννοιολογική σειρά μαθημάτων θεωρηθεί ως ουσιαστικό μέρος της εκπαίδευσης στη Φυσική τότε μια τέτοια σειρά είναι πολύ πιθανό να συμπεριληφθεί στο αναλυτικό πρόγραμμα.

Η δεύτερη πρότασή μου απευθύνεται σε εκείνους από εσάς, που τώρα διδάσκουν μια μη εισαγωγική σειρά μαθημάτων. Αν εκτιμάτε την αξία της καλλιέργειας της εννοιολογικής κατανόησης στους σπουδαστές σας, τότε σας συστήνω να απαιτείτε εννοιολογικούς συλλογισμούς ως μέρος των εξετάσεών σας και μάλιστα οι εννοιολογικοί συλλογισμοί να



δίνουν μεγάλο ποσοστό του βαθμού που θα πάρει ο φοιτητής από την παρακολούθηση της σειράς. Οι σπουδαστές δεν θα εκτιμήσουν την εννοιολογική ερμηνεία εκτός αν αντιληφθούν ότι στις εξετάσεις θα τους ζητηθεί να εξηγήσουν πολύ βασικές έννοιες της Φυσικής με ποιοτικούς όρους ή σε κάποιες περιπτώσεις να διακρίνουν μεταξύ παρεμφερών ή σχετικών εννοιών και ακόμη, σε κάποιες περιπτώσεις, να κληθούν να συζητήσουν τη σημασία και τις γενικές συνέπειες διάφορων νόμων της Φυσικής. Διδάσκουμε εννοιολογική κατανόηση της Φυσικής με ικανοποιητικές διαδοχικές διαβαθμίσεις στην εννοιολογική κατανόηση.

Ας είναι ο πρώτος στόχος της διδασκαλίας της Φυσικής η εννοιολογική κατανόησή της και μια γενική θεώρηση του πεδίου της. Μετά την επιτυχία αυτού του βήματος ας εισάγουμε τους σπουδαστές μας στον όμορφο

μαθηματικό τρόπο με τον οποίο η αρχική κατανόηση οδηγεί σε βαθύτερη κατανόηση. Ας δούμε ολόκληρο τον ελέφαντα πριν αρχίσουμε να μετράμε την ουρά του.

### Βιβλιογραφία

<sup>1</sup>Alain Holden, *Am. J. Phys.*, 36,1082 (1968)

<sup>2</sup>Paul G. Hewit, *Phys. Teach.* 10, 515 (December 1972)

<sup>3</sup>Arnold Arons, *Am. J. Phys.* 50, 13, (1983)

<sup>4</sup>D.E. Trowbridge and L.C. McDermott, *Am. J. Phys.* 48, 1020 (1980); 49, 242 (1981); Herbert Lim, *Phys. Teach.* 20, 151 (March 1982); P. C. Peters, *Am. J. Phys.* 50, 501 (1982).

<sup>5</sup>E. F. Taylor and J. Wheeler, *Spacetime Physics* (Freeman, San Francisco, 1966) p. 61

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

### ***“Τα κάναμε ...σαλάτα!”. Διερευνώντας την έννοια και τις ιδιότητες των μιγμάτων στο Δημοτικό.***

**Χρήστος Πράμας**

#### **Εισαγωγή**

Η ανάλυση προγραμμάτων σπουδών Φυσικών Επιστημών (Φ.Ε.) της υποχρεωτικής εκπαίδευσης διάφορων χωρών (Φινλανδία, Αγγλία, Γαλλία, Γερμανία, Καναδάς, Αυστραλία κ.α.), δείχνει ότι αυτά εστιάζονται στην καλλιέργεια όχι μόνο γνώσεων αλλά και κομβικών ικανοτήτων για τη ζωή (Πράμας & Κουμαράς 2008; Πράμας, 2009; Κουμαράς κ.ά., 2010). Η ανάπτυξη κομβικών ικανοτήτων (ικανότητες – κλειδιά) στα προγράμματα σπουδών αυτών των χωρών φαίνεται να έρχεται να καλύψει την ανάγκη που γεννά η γρήγορη εξέλιξη της κοινωνίας, αφού τα τελευταία χρόνια η κοινωνία εξελίσσεται τέσσερις φορές πιο γρήγορα από τα σχολεία (Χαραλάμπους, 2010).

Οι κομβικές ικανότητες, οι οποίες καλλιεργούνται μέσα από τη διδασκαλία των Φ.Ε., είναι οι εξής:

- α. Επικοινωνία,
- β. Συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών (δεδομένων),
- γ. Συνεργασία και Συλλογικότητα,
- δ. Επίλυση προβλημάτων,
- ε. Κριτική σκέψη και αναστοχασμός,
- στ. Δημιουργικότητα.

Για κάθε μια από αυτές τις κομβικές ικανότητες (ικανότητες – κλειδιά) προτείνονται συγκεκριμένες συνιστώσες ώστε αφενός να προσδιορίζονται τι είναι, για παράδειγμα, κριτική σκέψη και αναστοχασμός και αφετέρου να είναι δυνατόν να ελεγχθεί, επίσης με ακρίβεια, αν έχει κατακτηθεί. Οι προτεινόμενες συνιστώσες για κάθε μια από τις παραπάνω κομβικές ικανότητες δίνονται σε άλλες μας εργασίες (Κουμαράς, Πράμας και Σταμπούλη 2010; Κουμαράς, Πράμας και Χαραλάμπους 2012).

Οι παραπάνω γνώσεις και ικανότητες εστιάζονται στην ανάπτυξη της *ικανότητας του πολίτη*, στην οποία πάνω χτίστηκε το πρόγραμμα σπουδών της Κύπρου. Συγκεκριμένα, προτάθηκε και εφαρμόζεται στην Κύπρο ένα διερευνητικό μοντέλο διδασκαλίας προσαρμοσμένο στην καλλιέργεια των κομβικών ικανοτήτων ("ικανοτήτων- κλειδιών"). Το μοντέλο αυτό εικονίζεται στο Σχήμα 1. Τα

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό

διπλής κατεύθυνσης βέλη δείχνουν ότι δεν υπάρχει γραμμική εξέλιξη του μοντέλου, δηλαδή η διδακτική διαδικασία δεν αρχίζει σταθερά από κάπου και συνεχίζει με ένα σταθερό τρόπο. Για παράδειγμα, ακόμη και στη φάση της ανάλυσης μπορεί η ομάδα των μαθητών να επιστρέψει στη φάση της εκτέλεσης και καταγραφής των αποτελεσμάτων αν διαπιστωθεί ότι λείπουν απαραίτητα δεδομένα. Η έναρξη της έρευνας γίνεται με ένα θέμα από την καθημερινή ζωή και η έρευνα τελειώνει ζητώντας από τα παιδιά να εφαρμόσουν τα συμπεράσματά τους σε οικείες και μη οικείες καταστάσεις (Κουμαράς κ.α., 2010).



Σχήμα 1. Μοντέλο για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών στην υποχρεωτική εκπαίδευση

Αυτό το μοντέλο διδασκαλίας αξιοποιήθηκε από τους 14 εκπαιδευτικούς της 2ης εκπαιδευτικής περιφέρειας Σερρών, με τη συνεργασία των οποίων οργανώθηκαν διδακτικές παρεμβάσεις στην ευρύτερη θεματική ενότητα της «Θερμότητας» στο μάθημα «Φυσικά Δημοτικού, Ερευνώ και Ανακαλύπτω» της Ε' τάξης (Πράμας κ.α., 2013). Στην εργασία αυτή εξειδικεύουμε το παραπάνω μοντέλο με την ανάπτυξη πρότασης διδασκαλίας στο κεφάλαιο «Αναμειγνύουμε υλικά», το οποίο αποτελεί επιμέρους κεφάλαιο της ευρύτερης θεματικής ενότητας «Μελετάμε το Φυσικό Κόσμο» του γνωστικού αντικείμενου «Μελέτη Περιβάλλοντος» της Δ' τάξης (Κόκοτας κ.α., 2008).

### **Οι διδασκαλίες**

Στα έντεκα σχολεία της 2ης Εκπαιδευτικής Περιφέρειας Σερρών, το δίμηνο Ιανουάριος - Φεβρουάριος 2014, οργανώσαμε διδασκαλίες στο μάθημα «Μελέτη Περιβάλλοντος» του ισχύοντος προγράμματος σπουδών για τη Δ' τάξη και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο «Αναμειγνύουμε υλικά», (Κόκοτας κ.α. 2008, σελ. 114-116). Αν και στη Χημεία ορίζεται ως διάλυμα το ομογενές μίγμα δύο ή περισσότερων

ουσιών , ακόμη και στερεού σε στερεό, στο συγκεκριμένο μάθημα ορίζεται ως διάλυμα, σελίδα 116, η ανάμιξη ενός υλικού με ένα υγρό που έχει όμως ως αποτέλεσμα το προϊόν να φαίνεται σαν ένα υλικό. Τον ορισμό αυτό του διαλύματος χρησιμοποιήσαμε στις διδασκαλίες μας, οι οποίες κινούνται στην κατεύθυνση της καλλιέργειας γνώσεων και των κομβικών ικανοτήτων που αναφέραμε παραπάνω.

Οι στόχοι μας είναι οι μαθητές:

- να επιλέξουν ποια υλικά θα χρησιμοποιήσουν για να παρασκευάσουν μίγματα ή ειδικότερα διαλύματα
- να σχεδιάζουν ομαδικά και να υλοποιούν πειράματα παρασκευής μιγμάτων ή ειδικότερα διαλυμάτων.
- να καταγράφουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους και να τα ανακοινώνουν στην τάξη.
- να χρησιμοποιούν με επιτυχία τους όρους μίγμα και διάλυμα.
- να αναφέρουν γνωστές τους τροφές που είναι μίγματα ή διαλύματα.

Κάθε διδασκαλία πραγματοποιήθηκε σε 2 διδακτικές ώρες.

### **Εξέλιξη της διδασκαλίας**

Ακολουθεί ο σχεδιασμός και η εξέλιξη της διδασκαλίας σε συμφωνία με το μοντέλο που φαίνεται στο Σχήμα 1. Για κάθε ενέργεια που γίνεται από το διδάσκοντα ή που έχει σχεδιαστεί να γίνει από τους μαθητές αναφέρονται αναλυτικά οι συνιστώσες των κομβικών ικανοτήτων που επιδιώκεται να καλλιεργηθούν.

*Φάση 1. Θέμα από την καθημερινή ζωή: Προσδιορισμός του ερευνητικού ερωτήματος στο πλαίσιο της καθημερινής ζωής.*

Συζητάμε με τα παιδιά για το αν και πόσο τους αρέσουν οι σαλάτες. Ζητάμε να αναφέρουν τα υλικά από τα οποία αποτελούνται και τον τρόπο που τις φτιάχνουν στο σπίτι τους. Με τον τρόπο αυτό εισάγονται στην έννοια του μίγματος. Στη συνέχεια της συζήτησης τα παιδιά ωθούνται να διατυπώσουν ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν από αυτή, όπως:

- Μπορούμε να φτιάξουμε μίγματα στην τάξη μας;
- Ποια υλικά θα χρειαστούμε;
- Πώς θα τα παρασκευάσουμε;
- Διακρίνονται τα υλικά του μίγματος που θα φτιάξουμε;

Επιδίωξη των ενεργειών αυτών είναι να καλλιεργηθεί η συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «κριτική σκέψη και αναστοχασμός», δηλαδή να θέτουν ακριβή και λογικά ερωτήματα σχετικά με μια παρατήρηση ή με μια εμπειρία, που να μπορούν να διερευνηθούν από τις Φ.Ε. και να διατυπώνουν τις αρχικές τους απόψεις.

*Φάση 2: Έναρξη και σχεδιασμός της έρευνας*

Μοιράζεται στις ομάδες των παιδιών το φύλλο εργασίας που είναι διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο <http://physcool.web.auth.gr/> ως υποστηρικτικό υλικό. Σύμφωνα με αυτό ζητείται από τα παιδιά να

επιλέξουν τα υλικά που θα χρειαστούν και να σχεδιάσουν τις ενέργειες που πρέπει να κάνουν για να συλλέξουν τα απαιτούμενα στοιχεία, με ασφάλεια για τον εαυτό τους και το περιβάλλον.

Τα παιδιά (1<sup>η</sup> ερώτηση του φύλλο εργασίας) προτείνουν υλικά (π.χ. διαφανή πλαστικά ποτήρια, νερό, λάδι, οινόπνευμα, ξύδι, αλεύρι, ζάχαρη, αλάτι, ρύζι, σιμιγδάλι, κ.α.) που θα χρειαστούν για την παρασκευή μίγματος. Συζητούν στις ομάδες τους για τον ασφαλή (δεν βάζουμε τίποτα στο στόμα, δεν τρίβουμε τα μάτια μας με τα χέρια μας, θα πλύνουμε τα χέρια μας όταν τελειώσουμε) τρόπο εργασίας.

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται:

- να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «*συνεργασία και συλλογικότητα*», δηλαδή να σχεδιάζουν ομαδικά απλά πειράματα και να διαπραγματεύονται δημιουργικά τις διαφωνίες στη διαδικασία λήψης των συνεργατικών αποφάσεων.
- να καλλιεργηθεί η συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «*συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών (δεδομένων)*», δηλαδή να αποφασίζουν ποιο είδος στοιχείων να συλλέξουν και τι εξοπλισμό και υλικά θα χρησιμοποιήσουν για να κάνουν, με ασφάλεια, συστηματικές παρατηρήσεις, μετρήσεις, συγκρίσεις.
- να καλλιεργηθεί η συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «*επικοινωνία*», δηλαδή να ακούνε προσεκτικά τους άλλους και να αποδέχονται τις απόψεις τους όταν είναι τεκμηριωμένες.

*Φάση 3. Εκτέλεση της έρευνας και καταγραφή των αποτελεσμάτων*

I. Εκτέλεση της έρευνας

Τα παιδιά επιλέγουν από τα υλικά που έφερε ο/η εκπαιδευτικός στην τάξη αυτά που παραπάνω πρότειναν (διαφανή πλαστικά ποτήρια, νερό, λάδι, οινόπνευμα, ξύδι, αλεύρι, ζάχαρη, αλάτι, ρύζι, σιμιγδάλι, φακές), τα ανακατεύουν καλά (2<sup>η</sup> ερώτηση του φύλλου εργασίας) και παρασκευάζουν τα μίγματά τους.

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «*δημιουργικότητα*», δηλαδή να ακολουθούν με συνέπεια τις οδηγίες που τους δίνονται [1], με συγκεκριμένα Φύλλα Εργασίας, για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας, και να χρησιμοποιούν με ακρίβεια και ασφάλεια τα κατάλληλα εργαλεία και όργανα για παρατηρήσεις και μετρήσεις.

II. Παρατήρηση -Καταγραφή

Παρατηρούν (3<sup>η</sup> ερώτηση του φύλλου εργασίας) και καταγράφουν, εάν φαίνονται, τα επιμέρους υλικά των μιγμάτων τους (στις διδασκαλίες που πραγματοποιήσαμε σε όλα τα σχολεία, η επιλογή των υλικών από τα παιδιά ήταν τέτοια, που τους οδηγούσε πάντα στη δημιουργία μιγμάτων, που διακρίνονται εμφανώς τα συστατικά τους, ενώ έχουν την τάση να ανακατεύουν όσο πιο πολλά υλικά γίνεται και μάλιστα σε μεγάλες ποσότητες).

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «*συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών (δεδομένων)*», δηλαδή να παρατηρούν, να συλλέγουν και να καταγράφουν πληροφορίες, καθώς και να συλλέγουν αποδείξεις για την επίλυση του προβλήματος (δεδομένα από συστηματική παρατήρηση, από πείραμα).

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό

*Φάση 4. Ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων – εξαγωγή και αξιολόγηση συμπερασμάτων*

I. Ανάλυση των δεδομένων. Έλεγχος της επάρκειάς τους.

Τα παιδιά συζητούν τις παρατηρήσεις στις ομάδες τους και ελέγχουν την επάρκεια των δεδομένων που συνέλλεξαν (Τι παρατηρούμε; Μπορούμε να διακρίνουμε τα υλικά από τα οποία αποτελείται το μίγμα μας; Αρκούν τα δεδομένα που καταγράψαμε για να απαντήσουμε στην ερώτηση που διερευνούμε;).

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται:

- να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «κριτική σκέψη και αναστοχασμός», δηλαδή να αξιολογούν πληροφορίες και δεδομένα, να κάνουν συγκρίσεις (αντικειμένων φαινομένων κ.τ.λ.), να ταξινομούν, να αντιστοιχούν.
- να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών (δεδομένων)», δηλαδή να εξετάζουν τις πηγές πληροφοριών που χρησιμοποιούν (επάρκεια, αξιοπιστία, σχετικότητα) και να αναλύουν και να ερμηνεύουν τα δεδομένα που έχουν συλλέξει για τη συναγωγή συμπερασμάτων: επεξεργασία, εύρεση κανονικοτήτων, συσχετισμός μεταξύ των μεταβλητών, ερμηνεία των σχέσεων που προ-κύπτουν, έλεγχος της σχέσης των δεδομένων με τις υποθέσεις/προβλέψεις τους.

II. Εξαγωγή συμπερασμάτων

Τα παιδιά συζητούν στις ομάδες τους και συνάγουν το συμπέρασμα (4<sup>η</sup> ερώτηση του φύλλου εργασίας) ότι στο μίγμα που φτιάξανε μπορούν να διακρίνουν τα υλικά από τα οποία αποτελείται.

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται:

- να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «επίλυση προβλημάτων», δηλαδή να συνάγουν συμπεράσματα από τα δεδομένα που συλλέγουν και να εξετάζουν τη συμβατότητα των συμπερασμάτων τους με τα στοιχεία και τα δεδομένα από τα οποία συνάγονται.
- να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «συνεργασία και συλλογικότητα», δηλαδή να κατανοούν τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι άλλοι στη διατύπωση ερωτημάτων ή εξηγήσεων, στη συλλογή αποδείξεων και στη συναγωγή συμπερασμάτων, να εκδηλώνουν προθυμία για συνεισφορά και αλληλοβοήθεια.

III. Μεταγνωστικός έλεγχος

Αναστοχάζονται τις ενέργειες που έκαναν, προκειμένου να οδηγηθούν στη συναγωγή των συμπερασμάτων τους.

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται να καλλιεργηθεί η συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «κριτική σκέψη και αναστοχασμός», δηλαδή να κάνουν ανασκόπηση της εργασίας τους και να καταγράψουν τη σημασία των περιορισμών ή των λαθών της προσπάθειάς τους.

*Φάση 5. Επικοινωνία – Ανακοίνωση των αποτελεσμάτων*

I. Επικοινωνούν με σαφήνεια τα συμπεράσματά τους, χρησιμοποιώντας την κατάλληλη ορολογία.

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται να καλλιεργηθεί η συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «επικοινωνία», δηλαδή να ανακοινώνουν συμπεράσματα με τρόπο κατανοητό και σαφή για το δεδομένο ακροατήριο.

II. Παρακολουθούν και κατανοούν την ανακοίνωση των άλλων. Τεκμηριώνουν αν συμφωνούν ή διαφωνούν.

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται να καλλιεργηθούν οι συνιστώσες της κομβικής ικανότητας «επικοινωνία», δηλαδή να παρακολουθούν και να ελέγχουν την ανακοίνωση συμπερασμάτων, να ακούνε προσεκτικά και να αποδέχονται τις απόψεις των άλλων, όταν είναι τεκμηριωμένες.

*Φάση 6. Επέκταση της διδασκαλίας - Εφαρμογή της νέας γνώσης σε οικείες ή μη οικείες καταστάσεις*

I. Επεκτείνεται η διδασκαλία με τον εντοπισμό και την αλλαγή των μεταβλητών του αρχικού πειράματος. Τα παιδιά απαντούν στο ερώτημα, (5<sup>η</sup> ερώτηση του φύλλου εργασίας): «Τι μπορούμε να αλλάξουμε στο πείραμά μας, ώστε να παρασκευάσουμε μείγμα στο οποίο να μη διακρίνονται τα υλικά από τα οποία αποτελείται» [2];

Ενδεικτικές υποθέσεις των παιδιών είναι οι εξής:

- να αναμείξουμε ζάχαρη, αλάτι και νερό.
- να αναμείξουμε ξύδι με λάδι.
- να αναμείξουμε νερό με οινόπνευμα.
- να αναμείξουμε λάδι, ξύδι και οινόπνευμα.

Τα παιδιά επανασχεδιάζουν το αρχικό πείραμα, αλλάζοντας τα υλικά του αρχικού πειράματος. Στο σημείο αυτό εισάγεται η έννοια του διαλύματος σε συμφωνία με όσα γράφει το βιβλίο τους στη σελίδα 116, και ολοκληρώνεται το φύλλο εργασίας.

Με τις ενέργειες αυτές επιδιώκεται:

- να καλλιεργηθεί η συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «κριτική σκέψη και αναστοχασμός», δηλαδή να ελέγχουν τις μεταβλητές που (υποθέτουν ότι) παίζουν ρόλο σε μια πειραματική διαδικασία.
- να καλλιεργηθεί η συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «συλλογή και επεξεργασία πληροφοριών (δεδομένων)», δηλαδή να επανασχεδιάζουν το αρχικό πείραμα.

II. Ανακεφαλαίωση

Στη συνέχεια γίνεται συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης. Τα παιδιά χρησιμοποιούν τους όρους μίγμα - διάλυμα, αναφέροντας παραδείγματα τροφών από την καθημερινή ζωή τους.

### **Συμπεράσματα**

Μετά το τέλος των διδακτικών παρεμβάσεων οργανώθηκαν συναντήσεις με τους εκπαιδευτικούς προκειμένου να συζητηθούν οι δυσκολίες (αλλά και τα θετικά στοιχεία) που αναδεικνύονται στην πράξη, από την υλοποίηση ενός σχεδίου μαθήματος που κινείται στην κατεύθυνση "γνώσεις και ικανότητες για τη ζωή".



## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό

Τα μηνύματα που εισπράξαμε από τις δειγματικές διδασκαλίες είναι πολύ ενθαρρυντικά, δεδομένου ότι οι εκπαιδευτικοί εκφράστηκαν θετικά και έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για να αξιοποιήσουν το μοντέλο που προτείνουμε. Ωστόσο, τέθηκε εμφατικά το ζήτημα του διδακτικού χρόνου (απαιτείται τουλάχιστον ένα διδακτικό δίωρο), δεδομένου ότι για την ανάπτυξη των ικανοτήτων όλων των μαθητών και μαθητριών, χρειάζεται να δώσουμε τον απαραίτητο χρόνο για να δραστηριοποιηθούν όλοι οι μαθητές/τριες και να εκφραστούν δημιουργικά μέσα στην τάξη.

Παρατηρώντας τις επιλογές των παιδιών στα ερωτήματα του φύλλου εργασίας, διαπιστώσαμε ότι για τη δημιουργία των μιγμάτων τους επέλεξαν να αναμειξουν σχεδόν όλα τα υλικά που είχαν στο θρανίο τους, καθιστώντας έτσι δύσκολη την ανάμειξή τους. Ακόμα και στο τελευταίο ερώτημα για τη δημιουργία διαλύματος, πρότειναν αρχικά την ανάμειξη πολλών υλικών. Ύστερα από προτροπή δική μας, ότι μπορούν να αναμειξουν ακόμα και δύο μόνο υλικά, άλλαξαν τις επιλογές τους. Ίσως έπρεπε αυτό να τονίζεται από την αρχή στο φύλλο εργασίας.

Στη διατύπωση του συμπεράσματος για το "τι είναι το μίγμα;" τα παιδιά δυσκολεύτηκαν εμφανώς να το διατυπώσουν. Χρειάστηκε συζήτηση και βοήθεια δική μας (*Το μίγμα που φτιάξατε τι είναι; Ένα καινούριο πράγμα; Ένα νέο υλικό; Τα υλικά από τα οποία δημιουργήθηκε διακρίνονται ή όχι; Αξιοποιήστε τις παρατηρήσεις σας για να καταλήξετε σε συμπέρασμα*) για να συνδέσουν τις παρατηρήσεις τους με τη διατύπωση του συμπεράσματος. Χαρακτηριστική είναι η δυσκολία των παιδιών να αναφέρουν ότι το μίγμα που παρασκεύασαν είναι ένα υλικό με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (για παράδειγμα, διάκριση ή όχι των επιμέρους υλικών του).

Τέλος, ύστερα από επισημάνσεις των εκπαιδευτικών της τάξης, σημαντική ήταν η ενεργοποίηση, το αυξημένο ενδιαφέρον και η συμμετοχή των παιδιών με χαμηλή επίδοση, καθώς επίσης και των αλλοδαπών και παλιννοστούντων μαθητών.

Στο δικτυακό τόπο του παρόντος περιοδικού (<http://physcool.web.auth.gr/>) είναι διαθέσιμο το φύλλο εργασίας που δόθηκε στα παιδιά. Απαντήσεις ομάδων σε αυτό και φωτογραφίες από την τάξη παρατίθενται επίσης ως υποστηρικτικό υλικό.

### **Παραπομπές**

1. Ο λόγος για τον οποίο ως αρχική (υποδεέστερη) συνιστώσα της κομβικής ικανότητας «δημιουργικότητα», συμπεριλάβαμε το: «να ακολουθούν με συνέπεια τις οδηγίες που τους δίνονται» προέκυψε αφενός από την καταγραφή της δυσκολίας, ακόμη και φοιτητών, να ακολουθήσουν γραπτές οδηγίες για να κάνουν κάτι και αφετέρου από την αναγνώριση της ανάγκης του σύγχρονου ανθρώπου να ακολουθεί γραπτές οδηγίες στην καθημερινή του ζωή, για να συνδέσει ή να θέσει σε λειτουργία μια συσκευή, να "κατεβάσει" ένα πρόγραμμα κτλ. Από αυτή τη συνιστώσα θεωρούμε ότι αρχίζει η προσπάθεια για την καλλιέργεια της ικανότητας «δημιουργικότητα», η οποία προφανώς δεν τελειώνει εδώ, Οι υπόλοιπες πέντε συνιστώσες της «δημιουργικότητας» παρουσιάζονται σε άλλα κείμενά μας, και έχουν υιοθετηθεί από το πρόγραμμα σπουδών της Κύπρου (Κουμαράς, Πράμας και Σταμπουλή, 2010; Κουμαράς, Πράμας και Χαραλάμπους, 2012).
2. Για να διευκολύνουμε τα παιδιά στον εντοπισμό των μεταβλητών του αρχικού πειράματος, η 5η ερώτηση στο Φύλλο Εργασίας διατυπώνεται ως εξής: "Τι μπορούμε να αλλάξουμε στο μείγμα που φτιάξαμε, ώστε να μη φαίνονται, να μη μπορούμε να ξεχωρίσουμε (με το μάτι) τα υλικά του;"

### Βιβλιογραφία

- Κόκοτας, Π. κ.α. (2008). *Μελέτη Περιβάλλοντος Δ' Δημοτικού*. Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων. Αθήνα.
- Κουμαράς, Π., Πράμας, Χ. και Σταμπούλη, Μ. (2010). Προγράμματα Σπουδών Φυσικών Επιστημών στην κατεύθυνση Γνώσεις και Ικανότητες για τη Ζωή. *Τόμος Ι: Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση*, εκδόσεις Επίκεντρο, Θεσσαλονίκη.
- Κουμαράς, Π., Πράμας, Χ. και Χαραλάμπους Μ. (2010). Μοντέλο Διδασκαλίας Φυσικών επιστημών, για την Υποχρεωτική Εκπαίδευση, στην κατεύθυνση της ανάπτυξης Γνώσεων και Ικανοτήτων. *13ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, ΦΥΣΙΚΗ και ΑΝΘΡΩΠΟΣ "Ερευνητικά αποτελέσματα και τεχνολογίες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής"*, 17-21 Μαρτίου, Πάτρα.
- Κουμαράς, Π., Πράμας, Χ., Χαραλάμπους, Μ. (2012). Καλλιέργεια των "Ικανοτήτων κλειδιών" και της ιδιότητας του πολίτη με το νέο πρόγραμμα Φυσικών Επιστημών στην Κύπρο. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, τεύχος 169, σελ. 64-83.
- Πράμας, Χ. (2009). Αναλυτικά Προγράμματα Φυσικών Επιστημών Ε' & Στ' Δημοτικού στην κατεύθυνση του γραμματισμού στις Φυσικές Επιστήμες. *Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή*, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Α.Π.Θ..
- Πράμας, Χ. Γιανογλούδη, Ε., Δασκάλου, Γ., Καϊσέρογλου, Ε., Κρουστάλη, Α., Λατίνης, Α., Μόρφης, Α., Μπάγκος, Ε., Σαμαρτζά, Χ., Σταμπούλης, Σ., Τσαούσης, Π., Τσεμετζή, Σ., Τσιαούση, Σ., Χαβαλές, Δ., Χατζόγλου, Μ., (2013). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στην κατεύθυνση της καλλιέργειας Γνώσεων και Ικανοτήτων για τη ζωή: Διδακτικές παρεμβάσεις στην ενότητα της "Θερμότητας" στην Ε' τάξη*. Στο Πιερράτος, Θ., Αρτέμη, Σ., Πολάτογλου, Χ. & Κουμαράς, Π. (2013). Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου - "Ποια Φυσική έχει νόημα να διδάσκονται τα παιδιά μας σήμερα;", σελ. 149 – 158. [sarth2013.web.auth.gr](http://sarth2013.web.auth.gr), ημερομηνία πρόσβασης 10/12/2013.
- Πράμας, Χ. και Κουμαράς, Π. (2008). Προγράμματα Σπουδών Φυσικών Επιστημών υποχρεωτικής εκπαίδευσης στην κατεύθυνση της ανάπτυξης «Γνώσεων και Ικανοτήτων για τη ζωή», *Πρακτικά 4ου συνεδρίου ΕΔΙΦΕ*, σελ. 58-64, εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη.
- Πράμας, Χ., Σταμπούλη, Μ. και Κουμαράς, Π. (2010). Πρόγραμμα Σπουδών στην κατεύθυνση του «Γραμματισμού στις Φυσικές Επιστήμες» για την Υποχρεωτική Εκπαίδευση. *13ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, ΦΥΣΙΚΗ και ΑΝΘΡΩΠΟΣ "Ερευνητικά αποτελέσματα και τεχνολογίες για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής"*, 17-21 Μαρτίου, Πάτρα.
- Χαραλάμπους, Μ. (2010). Οι ικανότητες κλειδιά και η καλλιέργειά τους μέσω της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών. *Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή*, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Α.Π.Θ..



Ο Χρήστος Πράμας είναι δάσκαλος, Διδάκτορας του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του ΑΠΘ στην κατεύθυνση της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Σήμερα είναι Σχολικός Σύμβουλος στη 2η Περιφέρεια Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης Σερρών.

**Διακοπές στο φεγγάρι: μία εκπαιδευτική μερική γνωστική προσέγγιση της Σελήνης**

**Σταύρος Αυγολούπης**

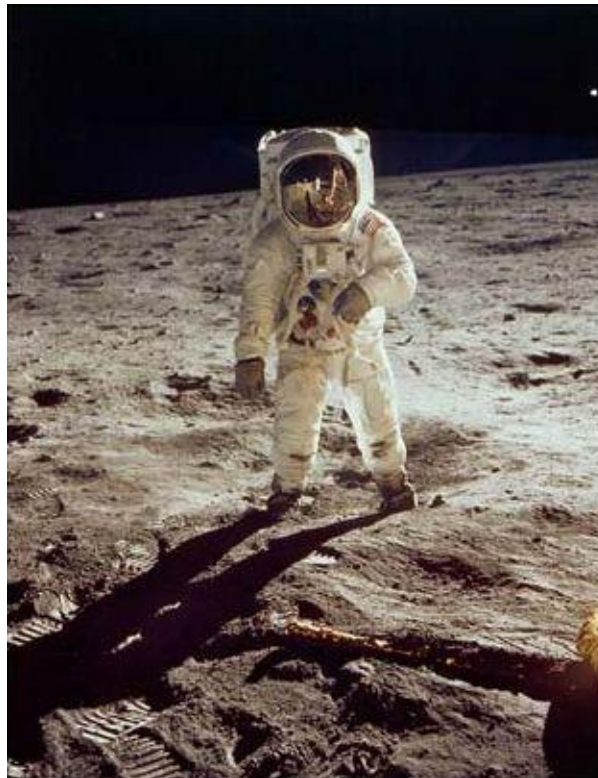
Από τη στιγμή που το ταξίδι στη Σελήνη (Εικόνα 1) έγινε πραγματικότητα (Εικόνα 2) και ο πλανήτης μας έγινε πλέον πολύ μικρός για τους φανατικούς ταξιδευτές, το Διάστημα είναι ο νέος τουριστικός προορισμός. Υποσχέσεις έρχονται πλέον και από ιδιωτικές αμερικάνικες και ιαπωνικές εταιρείες. Ασφαλώς το πρόβλημα δεν είναι μόνο στη μεταφορά των ανθρώπων στο διάστημα, το οποίο πρόβλημα αναμένεται να διευκολυνθεί πάρα πολύ από το Διεθνές Διαστημικό Σταθμό, αλλά στην αντιμετώπιση των εκεί συνθηκών.



Εικόνα 1. Η ορατή από τη Γη πλευρά της Σελήνης με εμφανείς τους χαρακτηριστικούς επιφανειακούς της σχηματισμούς - κρατήρες, θάλασσες, οροσειρές [NASA].

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Ο επισκέπτης της Σελήνης έχει καταρχάς να αντιμετωπίσει το αποπνικτικό αίσθημα μιας τρομακτικής σιγής που θα βασιλεύει παντού, λόγω της έλλειψης ατμόσφαιρας. Θα βλέπει πιθανόν βράχους να κατακρημνίζονται χωρίς να ακούει κανένα θόρυβο. Πρέπει επίσης να αντιμετωπίσει την έλλειψη οξυγόνου και να προφυλαχθεί από τις επιβλαβείς υπεριώδεις ακτινοβολίες, από τη φοβερή ζέστη της ημέρας (+107 °C) και από το τρομερό ψύχος της νύκτας (-153 °C). Τελικά, πρέπει να είναι και τυχερός για να αποφύγει τον κίνδυνο από τους άφθονους μετεωρίτες, που ανεμπόδιστα και με μεγάλες ταχύτητες προσκρούουν στη σεληνιακή επιφάνεια (Kuhn & Koupelis, 2000).



Εικόνα 2. Ο δεύτερος αστροναύτης που πάτησε στο έδαφος της Σελήνης, ο Έντουιν "Μπαζ" Όλντριν. Ο πρώτος, ο Νιλ Άρμστρονγκ, είναι αυτός που τράβηξε τη φωτογραφία [NASA]

Η θέα όμως του έναστρου ουρανού της Σελήνης θα προσφέρει άπειρου κάλλους στιγμές. Ο επισκέπτης θα απολαύσει έναν κατάμαυρο ουρανό γεμάτο με λαμπρούς αστέρες. Οι αστέρες θα είναι ορατοί ακόμη και την ημέρα, διότι στη Σελήνη δεν υπάρχει διάχυτο φως, λόγω της έλλειψης ατμόσφαιρας (αυτό το διάχυτο φως είναι που προσδίδει μεν στον δικό μας ουρανό το όμορφο μπλε χρώμα του, αλλά αποπνίγει το φως των άστρων). Έτσι ο επισκέπτης της Σελήνης θα βλέπει τα άστρα να πλημμυρίζουν τον ουρανό και να λάμπουν θριαμβολογώντας, μια και δεν πληρώνουν φόρο απορρόφησης, καθώς δεν υπάρχει εκεί ατμοσφαιρικός εισπράκτορας διέλευσης (Αυγολούπης, 2008)

Η ανατολή και η δύση του Ήλιου στη Σελήνη μπορεί να μη συνοδεύεται από τη γλυκύτητα του λυκαυγούς και του λυκόφωτος, αλλά παρουσιάζει μοναδική μεγαλοπρέπεια. Ανατέλλει πρώτα αργά-αργά το στέμμα, στη συνέχεια η χρωμόσφαιρα και τέλος η φωτόσφαιρα. Άρα δύο φορές σε κάθε

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

σεληνιακή ημέρα (27,3 γήινες ημέρες), μια στην ανατολή του Ήλιου και μια στη δύση του, και μάλιστα χωρίς τον κίνδυνο των νεφών, ο επισκέπτης της Σελήνης έχει το πλεονέκτημα της παρατήρησης χαρακτηριστικών του Ήλιου που από τη Γη έχει τη δυνατότητα να τα παρακολουθήσει μόνο κατά τη διάρκεια ηλιακών εκλείψεων (Αυγολούπης & Σειραδάκης, 2009).

Εκτός, όμως, από αυτές τις εκλείψεις του Ήλιου, που αναφέραμε προηγουμένως, ο επισκέπτης της Σελήνης θα απολαύσει και τις εκλείψεις του Ήλιου που οφείλονται στην παρεμβολή της Γης ανάμεσα στον Ήλιο και τη Σελήνη καθώς και τις εκλείψεις της Γης, που οφείλονται στη σκιά της Σελήνης.

Όταν εμείς στη Γη βλέπουμε τη Σελήνη σε ολική έκλειψη, τότε στη Σελήνη συμβαίνει ολική έκλειψη του Ήλιου, καθώς ο δίσκος της Γης μπαίνει ανάμεσα στη Σελήνη και τον Ήλιο. Ο Ήλιος αποκρύπτεται τελείως και τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης μας, φωτιζόμενα από τον Ήλιο, φαίνονται στον επί της Σελήνης παρατηρητή σαν πύρινο φωτοστέφανο. Από αυτό ακριβώς το φως προέρχεται το χαλκώδες χρώμα του δίσκου της Σελήνης που απολαμβάνουμε εμείς από τη Γη κατά τη διάρκεια των ολικών εκλείψεων της Σελήνης (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Ολική έκλειψη Σελήνης [NASA].

Όταν, τώρα, σε κάποιους τόπους της Γης συμβαίνει έκλειψη του Ήλιου, αυτοί οι τόποι της Γης, καθώς βρίσκονται μέσα στη σκιά της Σελήνης, φαίνονται από τη Σελήνη σε έκλειψη, δηλαδή τότε από τη Σελήνη παρατηρείται τοπική έκλειψη Γης (Pomrea, 2000)

Συνεχίζοντας τώρα την τουριστική διαφήμιση της επίσκεψης της Σελήνης θα αναφερθεί ένα απρόσμενο παράδοξο φαινόμενο. Ο παρατηρητής από τη Σελήνη, ενώ, λόγω περιστροφής της Σελήνης γύρω από τον άξονά της, βλέπει όλα τα άστρα και τον Ήλιο σιγά-σιγά να ανατέλλουν και να δύουν, μένει κατάπληκτος, όταν αντικρίζει ένα τεράστιο ουράνιο σώμα, με φαινόμενη επιφάνεια

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

δεκατριπλάσια από αυτήν της Σελήνης παρατηρούμενη από τη Γη, να στέκει ακίνητο στο ίδιο πάντα σημείο της ουράνιας σφαίρας (Εικόνα 4). Αυτό το πανέμορφο ουράνιο σώμα είναι η Γη μας.



Εικόνα 4. Αυτήν την εικόνα αντίκρισαν οι αστροναύτες του Apollo 8, μόλις το σκάφος συμπλήρωσε το τόξο της πορείας του πίσω από τη Σελήνη, μετά από μια μανούβρα εισόδου σε περισελήνια τροχιά. Παρατηρούμενη από τη Σελήνη η Γη καταλαμβάνει στον ουρανό επιφάνεια περίπου δεκατρείς φορές μεγαλύτερη σε σχέση με την επιφάνεια που καταλαμβάνει η Σελήνη παρατηρούμενη από τη Γη. Αλλά το πιο παράξενο είναι ότι ένας παρατηρητής στη Σελήνη βλέπει τη Γη ακίνητη πάντα στο ίδιο σημείο του ουρανού, ενώ η φάση της Γης αλλάζει κανονικά. [NASA]

Το παράδοξο αυτό φαινόμενο έχει πολύ απλή εξήγηση. Επειδή η Σελήνη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και περιφέρεται γύρω από τη Γη με την ίδια γωνιακή ταχύτητα, εμείς δε βλέπουμε από τη Γη τη Σελήνη περιστρεφόμενη γύρω από τον άξονά της. Βλέπουμε, δηλαδή, κάθε τόπο της Σελήνης σχεδόν ακίνητο. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο και, από έναν ακίνητο παρατηρητή της Σελήνης, η Γη φαίνεται ακίνητη στον ουρανό. Οι μόνοι επί της Σελήνης παρατηρητές που βλέπουν τη Γη κατά περιόδους να βυθίζεται κάτω από τον ορίζοντα είναι αυτοί που βλέπουν τη Γη πολύ χαμηλά στον ορίζοντά τους. Η Γη σε αυτήν την περίπτωση, δύει και ανατέλλει λόγω του φαινομένου της λίκνησης της Σελήνης (Kuhn & Kourelis, 2000).

Ο επί της Σελήνης παρατηρητής βλέπει μεν τη Γη ακίνητη ως προς τον ορίζοντά του αλλά όχι και σταθερή στη λαμπρότητά της. Όπως η Σελήνη έτσι και η Γη παρουσιάζει φάσεις (Εικόνα 4). Όταν από τη Γη βλέπουμε Νέα Σελήνη, τότε η Γη στρέφει προς τη Σελήνη ολόκληρο το φωτιζόμενο από τον Ήλιο

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

ημισφαίριό της και επομένως ο επί της Σελήνης παρατηρητής απολαμβάνει μια «Πανγή» ή, καλύτερα, μια «πασιαφή Γη», πολύ πιο φωτεινή από τη δικιά μας Πανσέληνο.

Φαίνεται λοιπόν και η Γη από τη Σελήνη σε διάφορες φάσεις, (όπως και η Σελήνη από τη Γη), αλλά με τη σημαντική διαφορά ότι είναι ακίνητη στον σεληνιακό ουρανό και ότι φαίνεται πάντα ολόκληρος ο δίσκος της Γης. Μόνο η διαφορά στο φωτισμό του δίσκου της χαρακτηρίζει και ξεχωρίζει τις φάσεις της.

### **Διδάσκοντας στην τάξη**

Αυτό το θέμα εντυπωσιάζει και παρουσιάζει ενδιαφέρον για τους μαθητές ακόμη και από τον τίτλο του. Υπάρχουν βέβαια κάποιες έννοιες που, στην όλη ανάπτυξη του θέματος, μπορούν να παραληφθούν χωρίς να μειωθεί πολύ ο εκπαιδευτικός στόχος του θέματος, που είναι η πρόκληση, τόσο της παρατήρησης της Σελήνης, όσο και μιας ενδιαφέρουσας συζήτησης με τους μαθητές.

Η πρόκληση για παρατήρηση και καταγραφή των φαινομένων της Σελήνης, στη συγκεκριμένη περίπτωση για τους μαθητές, έχει ως συνέπεια τη μύησή τους στην έρευνα, μια και με την ευρεία εκπαιδευτική έννοια, παρατήρηση σημαίνει έρευνα. Η συζήτηση όμως με τους μαθητές για να πάρει τις ανάλογες προσδοκώμενες διαστάσεις θα πρέπει να συνδυασθεί με δραστηριότητες αναζήτησης ερμηνείας κάποιων φαινομένων που αναφέρονται στο κείμενο. Ενδεικτικά θα μπορούσε να αναφερθούν μερικές από αυτές:

1. Για ποιόν λόγο υπάρχει τέτοια τρομακτική σιγή στη Σελήνη; Γιατί δεν διαδίδεται ο ήχος που παράγεται από την πτώση σωμάτων;
2. Να δικαιολογηθεί γιατί και το ποιο μικρό χαλικάκι πέφτει στην επιφάνεια της Σελήνης ως μετεωρίτης. Υπάρχουν εκεί πεφταστέρια;
3. Γιατί η θερμοκρασία μεταβάλλεται τόσο πολύ πάνω στη Σελήνη ώστε τη νύκτα να φθάνει τους  $-153\text{ }^{\circ}\text{C}$  και την ημέρα, που φωτίζει ο Ήλιος, να φθάνει τους  $+107\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
4. Γιατί αν στη Σελήνη κρύψουμε με ένα αντικείμενο κατάλληλης διαμέτρου την επιφάνεια του ηλιακού δίσκου πετυχαίνουμε ηλιακή έκλειψη και έτσι μπορούμε να δούμε και να μελετήσουμε το στέμμα του Ήλιου, ενώ εδώ στη Γη για να δούμε το ηλιακό στέμμα τρέχουμε από τη μια άκρη της Γης στην άλλη για να προφθάσουμε να το παρατηρήσουμε, και μάλιστα μόνο για το πολύ περίπου 7 πρώτα λεπτά, κατά τη διάρκεια μιας ηλιακής έκλειψης;
5. Ποιος είναι ο λόγος που η Σελήνη περιφέρεται γύρω από τη Γη και περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της σε χρόνους ίσους με 27,3 ημέρες και έτσι βλέπουμε πάντα το ίδιο ημισφαίριό της;
6. Το ημισφαίριο της Σελήνης που δε βλέπουμε είναι απλώς αθέατο ή και σκοτεινό;
7. Η μέση απόσταση της Σελήνης από τη Γη είναι 384000 χιλιόμετρα, δηλαδή περίπου ένα δευτερόλεπτο φωτός. Σε πόσες ώρες μπορούμε να φθάσουμε στη Σελήνη με ένα

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

αυτοκίνητο που τρέχει 100 χιλιόμετρα την ώρα ή με τα πόδια αν βαδίζουμε 5 χιλιόμετρα την ώρα;

8. Από τη Γη ή από τη Σελήνη με γυμνό μάτι βλέπουμε περισσότερα αστέρια; Να δικαιολογηθεί η απάντηση.
9. Με ποιόν τρόπο μπορούμε να δούμε αστέρια στον ουρανό της Σελήνης κατά τη διάρκεια της ημέρας που φωτίζει ο Ήλιος;
10. Να δικαιολογηθεί το παράξενο φαινόμενο της ακίνητης Γης στον ουρανό της Σελήνης για έναν ακίνητο παρατηρητή στην επιφάνεια της Σελήνης.
11. Να απαριθμηθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διακοπών στη Σελήνη.

### **Βιβλιογραφία**

Kuhn, K.F., Koupelis, T. (2000). *In quest of the Universe*. Jones and Bartlett Publishers, USA.

Pompea, S.M. (2000): *Great Ideas for Teaching Astronomy*. Brooks/Cole, Canada.

Αυγολούπης, Σ. (2008). *Το Εγγύς Διαστημικό Περιβάλλον της Γης- Ιστορία, Τεχνολογία και Επιστήμη της Αστρονομίας*. Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης.

Αυγολούπης, Σ., Σειραδάκης, Ι. (2009). *Παρατηρησιακή Αστρονομία*, Εκδόσεις Πλανητάριο Θεσσαλονίκης.



Ο Σταύρος Αυγολούπης είναι καθηγητής αστρονομίας στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Έχει αναπτύξει πολλές ερευνητικές συνεργασίες στον τομέα της Παρατηρησιακής Αστρονομίας με διάφορα κέντρα δορυφορικών τηλεσκοπίων καθώς και με διάφορα πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα του εξωτερικού. Υπηρετεί με ζήλο τη διάδοση της αστρονομικής γνώσης, τόσο με διαλέξεις όσο και με βιβλία που απευθύνονται όχι μόνο σε φοιτητές αλλά και στο ευρύ κοινό.



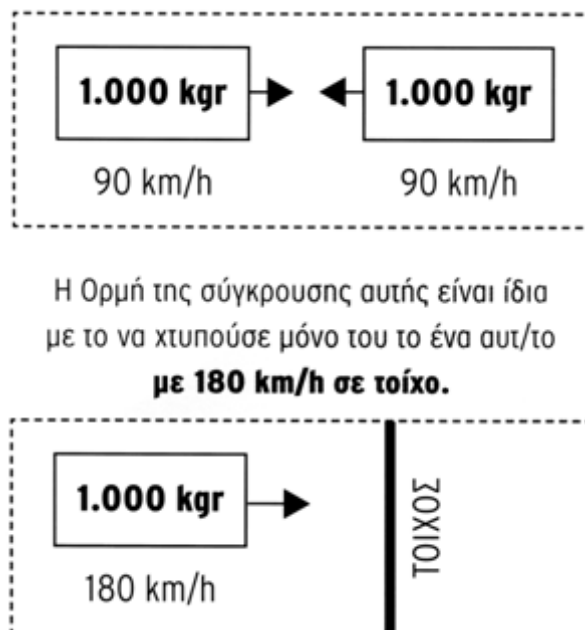
Ο όρος “Αστικός μύθος” ή “Αστικός θρύλος” χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει κάτι ευρύτατα διαδεδομένο το οποίο όμως δεν στηρίζεται σε γεγονότα, ούτε στη βιβλιογραφία. Στη στήλη “Αστικοί μύθοι και διδακτικοί θρύλοι” θα δημοσιεύονται απόψεις ευρύτατα διαδεδομένες και μάλλον αποδεκτές από πολλούς οι οποίες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

### **Είναι πιο επώδυνη η μετωπική σύγκρουση αυτοκινήτου σε τοίχο ή με αντίθετα κινούμενο αυτοκίνητο;**

**Παναγιώτης Κουμαράς**

#### **Ο αστικός μύθος**

«Αν κάποιος οδηγεί το αυτοκίνητό του με 50 km/h και συγκρουστεί μετωπικά με ένα ίδιο αλλά αντίθετα κινούμενο αυτοκίνητο που τρέχει επίσης με 50 km/h, είναι σαν να πέφτει, μετωπικά, σε ένα σταθερό εμπόδιο με 100 km/h». Η άποψη αυτή φαίνεται να είναι πολύ διαδεδομένη, θεωρείται ως κάτι το «προφανές», ακόμη και στον ειδικό τύπο που ασχολείται με το αυτοκίνητο. Για παράδειγμα σε ένα πολύ χρήσιμο εγχειρίδιο, για κάθε οδηγό, που έχει κυκλοφορήσει από τον Ιαβέρη (Ιαβέρης Σχολή Ασφαλούς Οδήγησης, χ.η. πρώτο μέρος σ. 46) η παραπάνω άποψη αποδίδεται με το Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Σχηματική απόδοση του αστικού μύθου.

Η ανθεκτικότητα και το εύρος αποδοχής της άποψης φαίνεται και από το γεγονός ότι περιλαμβάνεται ακόμη και σε εργασίες ειδικών επιστημόνων. Για παράδειγμα διαβάζουμε στα Τεχνικά Χρονικά, έκδοση του Τ.Ε.Ε.: «Έτσι, μετωπική σύγκρουση δυο οχημάτων, που κινούνται με 50 km/h ισοδυναμεί με ταχύτητα πρόσκρουσης 100 km/h» (Προφυλλίδης & Μποτζόρης, 2005, σ. 6).

### **Η Φυσική**

Η παραπάνω άποψη, μολονότι διαδεδομένη, είναι λανθασμένη. Ας το δούμε μέσα από ένα «νοητικό πείραμα». Έστω ότι οδηγώ σε ομοιόμορφο οριζόντιο δρόμο και προσκρούω μετωπικά (κτύπα ξύλο!) με ταχύτητα 50 km/h σε κατακόρυφη επίπεδη μεταλλική επιφάνεια η οποία δεν υποχωρεί καθόλου κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης. Πώς θα μπορούσα να εξηγήσω ό,τι συνέβη; Αρχικά θα μπορούσα να υποθέσω ότι συγκρούστηκα με ένα ανένδοτο, σταθερό μεταλλικό εμπόδιο πολύ μεγάλης μάζας. Ωστόσο, θα μπορούσα να το ερμηνεύσω επίσης υποθέτοντας ότι συγκρούστηκα με ένα λεπτό επίπεδο κατακόρυφο μεταλλικό φύλλο, θεωρητικά ακόμη και πάχους ενός χιλιοστού, στο πίσω μέρος του οποίου συγκρούστηκε ταυτόχρονα με το αυτοκίνητό μου, ένα δεύτερο αυτοκίνητο, απολύτως όμοιο με το δικό μου, που κινιόταν με ταχύτητα επίσης 50 km/h αλλά σε αντίθετη κατεύθυνση από τη δική μου. Και στις δυο περιπτώσεις το αυτοκίνητό μου θα έμενε παραμορφωμένο μπροστά σε μια ακίνητη μεταλλική επιφάνεια. Θα μπορούσα να εξακριβώσω αν αυτή η μεταλλική επιφάνεια ανήκει σε ένα τεράστιο όγκο μετάλλου ή αν είναι απλά ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο, μόνο αν μπορούσα να κατεβώ και να δω πίσω από την επιφάνεια. Θυμίζω ότι πρόκειται για ένα «νοητικό πείραμα» που σαν τέτοιο λαμβάνει χώρα σε εξιδανικευμένες συνθήκες. Στη δεύτερη περίπτωση πίσω από το ακίνητο μεταλλικό φύλλο θα υπήρχε ακινητοποιημένο, και όμοια παραμορφωμένο με το δικό μου, ένα πανομοιότυπο αυτοκίνητο.

Ας σκεφτούμε πάνω στο προηγούμενο νοητικό πείραμα. Αρχικά ας θυμηθούμε τον 3ο νόμο του Νεύτωνα. Σύμφωνα με αυτόν η δύναμη που ασκεί το σώμα Α στο σώμα Β είναι ίση κατά μέτρο με τη δύναμη που του ασκεί το Β, αλλά αντίθετης φοράς. Έτσι, ένας παγκόσμιος πρωταθλητής πυγμαχίας δεν μπορεί να ασκήσει σε ένα αιωρούμενο φύλλο χαρτιού δύναμη μεγαλύτερη από ελάχιστα Νιούτον, γιατί όταν στο χαρτί ασκηθεί αυτή η δύναμη θα κινηθεί προς την κατεύθυνσή της, θα «υποχωρήσει». Στη Φυσική φαίνεται να υπάρχει μια ιδιότυπη κοινωνική δικαιοσύνη: «Μπορείς να ασκήσεις σε κάποιον τόση δύναμη, όση και αυτός μπορεί να σου ασκήσει». Ο πυγμάχος μπορεί να ασκήσει τη μέγιστη δύναμη πάνω σε έναν όμοιο του (και υπό τις ίδιες συνθήκες) ή σε κάποιο αντικείμενο που δεν μπορεί να μετακινηθεί. «Το αντικείμενο αυτό λειτουργεί σαν "κάτοπτρο" δύναμης. "Ανακλά" μια δύναμη ίση με αυτήν που δέχεται» (Epstein 1989, Τόμος Α' σ. 43).

Ας επιστρέψουμε στα δυο παραπάνω «σενάρια» της σύγκρουσης. Στην περίπτωση της πρόσκρουσης στο ανένδοτο εμπόδιο, το αυτοκίνητό μου κατά τη διάρκεια της πρόσκρουσης ασκεί στο εμπόδιο μία δύναμη και σύμφωνα με τον 3ο νόμο του Νεύτωνα ασκείται σε αυτό δύναμη ίδιου

μέτρου από το εμπόδιο. Το μέτρο της δύναμης αυτής δίδεται από τη σχέση  $F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , όπου  $m$  η μάζα του αυτοκινήτου,  $\Delta v$  το μέτρο της μεταβολής της ταχύτητάς του και  $\Delta t$  η διάρκεια της σύγκρουσης (ο χρόνος που απαιτήθηκε για να ακινητοποιηθεί το αυτοκίνητό μου). Στην περίπτωση της πρόσκρουσης με το πανομοιότυπο αυτοκίνητο που κινείται με αντίθετη ταχύτητα, το μέτρο της δύναμης που ασκείται στο αυτοκίνητό μου περιγράφεται και πάλι από τη σχέση  $F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ .

Σε αναλογία με αυτό ας θυμηθούμε την κλασική διαφήμιση παντελονιών μπλουτζίν όπου δυο (ίδια) άλογα τραβάνε το παντελόνι προς αντίθετες κατευθύνσεις με στόχο να το σκίσουν (Εικόνα 1) ή τα 16 άλογα στα ημισφαίρια του Μαγδεμβούργου. Άραγε, η τάση στο παντελόνι θα ήταν διαφορετική αν τραβούσε μόνο ένα άλογο και, αντί για το δεύτερο άλογο, το άλλο σκέλος του παντελονιού να ήταν δεμένο στον τοίχο; Προφανώς όχι, αρκεί βέβαια και στη δεύτερη περίπτωση το άλογο να τραβούσε όπως και στην πρώτη περίπτωση (Erstein 1989, τόμος Α' σ. 40; Head-on collision math, χ.η.). Ή αν το προτιμάτε: το αριστερά άλογο, αν δεν έβλεπε, θα μπορούσε να καταλάβει αν υπάρχει άλογο (ίδιο με αυτό, σε ίδιο έδαφος κτλ) που τραβάει προς τα δεξιά ή αν το παντελόνι είναι δεμένο στον τοίχο; Με την ίδια λογική, μήπως το πείραμα στο Μαγδεμβούργο θα μπορούσε να είχε γίνει χρησιμοποιώντας 8 μόνο άλογα και ένα γερό δέντρο;



Εικόνα 1. Το αποτέλεσμα θα ήταν διαφορετικό αν το δεξιό μέρος του παντελονιού, αντί να είναι δεμένο στο άλογο, ήταν δεμένο σε ακλόνητο τοίχο;

Ας μελετήσουμε τα δυο παραπάνω αφηγήματα της σύγκρουσης των αυτοκινήτων από ενεργειακή άποψη: την πρώτη φορά το αυτοκίνητό μου έχει κινητική ενέργεια  $\frac{1}{2}mv^2$  η οποία θα είναι ίση με το έργο για την παραμόρφωση, έστω κατά  $d$ , του αυτοκινήτου μου κατά τη σύγκρουση δηλαδή  $\frac{1}{2}mv^2 = Fd$ . Στην περίπτωση της πρόσκρουσης των δυο αντιθέτως κινούμενων αυτοκινήτων, η συνολική κινητική ενέργεια θα είναι  $2 \cdot \frac{1}{2}mv^2$  αλλά θα παραμορφωθούν, το καθένα κατά  $d$ , και τα δυο αυτοκίνητα. Επομένως θα έχουμε διπλάσια κινητική ενέργεια αλλά και διπλάσιο έργο παραμόρφωσης. Το  $d$  είναι η μετακίνηση του κέντρου μάζας του αυτοκινήτου.

### **και το YouTube στο μάθημα;**

Στο YouTube υπάρχουν διαθέσιμα δυο επεισόδια με τους Mythbusters που σχετίζονται με το θέμα μας. Στο ένα ο Hyndman ισχυρίζεται ότι η σύγκρουση δυο αντίθετα κινούμενων αυτοκινήτων π.χ. με  $50\text{ km/h}$  ισοδυναμεί με σύγκρουση σε σταθερό εμπόδιο αυτοκινήτου που κινείται με  $100\text{ km/h}$ , δηλαδή το άθροισμα των ταχυτήτων. Στο δεύτερο επεισόδιο, που γυρίστηκε μετά από επιστολές τηλεθεατών που εντόπισαν το λάθος (Head-on collision math, χ.η.), αποδεικνύεται πειραματικά ότι η σύγκρουση με το σταθερό εμπόδιο ισοδυναμεί με τη σύγκρουση αυτοκινήτου που κινείται με  $50\text{ km/h}$  και όχι με  $100\text{ km/h}$ . (<http://www.autoblog.com/2010/05/06/video-mythbusters-put-the-science-of-crashing-cars-to-the-test/> και <http://www.youtube.com/watch?v=r8E5dUnLmh4>. Θεωρώ ότι μπορούμε να αξιοποιήσουμε το βίντεο αυτό στο μάθημά μας.

### **Που μπορεί να οφείλεται αυτή η διαδεδομένη παρανόηση;**

Κατά τη γνώμη μου η παρανόηση που συζητάμε μπορεί να οφείλεται σε τρεις λόγους.

1ος. Το πιθανότερο είναι να ξεκινάει διαισθητικά, και πίσω από αυτό να βρίσκεται η ίδια λογική με αυτήν της διαφήμισης του Σχήματος 2, παρόλο που πρόκειται για ακριβώς το αντίθετο φαινόμενο (με την έννοια ότι στη σύγκρουση έχω σύνθλιψη ενώ στο Σχήμα 2 διάταση). Πίσω από αυτήν τη “λογική διαίσθηση” είναι πιθανόν να κρύβεται ο αιτιακός τρόπος με τον οποίο το ανθρώπινο μυαλό φαίνεται να προσεγγίζει καταρχάς κάθε φαινόμενο, αναζητώντας έναν παράγοντα που ενεργεί, συνδεδεμένο με το αίτιο και έναν παράγοντα που δέχεται τη δράση. Όταν το αυτοκίνητο συγκρούεται με τον τοίχο μπορεί να θεωρείται, από την κοινή λογική, ότι δρα ένας ενεργητικός παράγοντας ενώ όταν συγκρούονται μετωπικά μεταξύ τους δύο αυτοκίνητα μπορεί να θεωρείται ότι δρουν δυο ενεργητικοί παράγοντες, τα δύο αυτοκίνητα. Αντίστοιχα μπορεί να δει κανείς και το τράβηγμα του παντελονιού από ένα ή δυο άλογα.

2ος. Πιθανόν να ξεκινάει από τη σύγχυση που μπορεί να προκληθεί όταν επιχειρείται η προσφυγή σε (αδρανειακά) συστήματα αναφοράς που δεν παραμένουν σταθερά καθ’ όλη τη διάρκεια της μελέτης του φαινομένου. Το πιο απλό επιχειρήμα που συνήθως χρησιμοποιείται είναι ότι το αυτοκίνητο χτυπάει στον τοίχο με ταχύτητα  $v$  ενώ η σχετική ταχύτητα των αυτοκινήτων είναι  $v + v = 2v$ . Έτσι, θεωρούν ότι η κινητική ενέργεια όταν το αυτοκίνητο συγκρούεται με τον τοίχο είναι  $\frac{1}{2}mv^2$  και όταν τα αυτοκίνητα συγκρούονται μεταξύ τους, είναι  $\frac{1}{2}m(2v)^2$ . Καταλήγουν έτσι στο συμπέρασμα ότι στη δεύτερη περίπτωση η διαθέσιμη για την παραμορφωση των αυτοκινήτων κινητική ενέργεια είναι τετραπλάσια από τη διαθέσιμη κινητική ενέργεια στην πρώτη περίπτωση. Άρα κάθε ένα από τα δυο αυτοκίνητα απορροφά στη μετωπική σύγκρουση των δύο αυτοκινήτων διπλάσια ενέργεια από ότι το αυτοκίνητο κατά τη μετωπική σύγκρουση με τον τοίχο (βλέπε για παράδειγμα στο <http://mathforum.org/library/drmath/view/60747.html>).

Ας δούμε που είναι το λάθος στον παραπάνω υπολογισμό. Ας πάρουμε ως σύστημα αναφοράς σύστημα προσαρτημένο στο ένα από τα αυτοκίνητα. Έστω, για παράδειγμα, ότι παρατηρητής είναι ο οδηγός του αυτοκινήτου που κινείται προς τα αριστερά. Ως προς το σύστημα αυτό το άθροισμα των κινητικών ενεργειών των αυτοκινήτων πριν από την κρούση είναι:  $\frac{1}{2}m0^2 + \frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2$ , όπως ακριβώς υπολογίζεται παραπάνω. Το θέμα όμως είναι ότι για κινούμενο παρατηρητή μας το συσσωμάτωμα των αυτοκινήτων, μάζας  $2m$ , μετά την κρούση δεν μένει ακίνητο. Από την αρχή διατήρησης της ορμής για τον κινούμενο παρατηρητή μας, έχουμε  $m0 + m(2v) = (2m)v' \Rightarrow v' = v$  και άρα το συσσωμάτωμα των αυτοκινήτων μετά την κρούση έχει κινητική ενέργεια  $\frac{1}{2}(2m)v^2 = mv^2$ . Άρα η ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραμόρφωση των δυο, ακριβώς ίδιων, αυτοκινήτων είναι  $2mv^2 - mv^2 = mv^2$  και άρα για το κάθε ένα ίση με  $\frac{1}{2}mv^2$ . Όση δηλαδή υπολογίζει και ακίνητος παρατηρητής είτε για τη μετωπική σύγκρουση του κινούμενου αυτοκινήτου με τον τοίχο είτε για τη σύγκρουσή του με το αντίθετα κινούμενο αυτοκίνητο.

Το λάθος δηλαδή που γίνεται είναι ότι δέχονται πως για τον κινούμενο παρατηρητή η κινητική ενέργεια του συσσωματώματος των αυτοκινήτων μετά την κρούση είναι μηδέν, δηλαδή αυτό δεν κινείται. Αυτό όμως ισχύει μόνο για ακίνητο παρατηρητή και όχι για τον κινούμενο από τον οποίο ξεκίνησε η μελέτη του φαινομένου. Ουσιαστικά το λάθος προέκυψε από την αλλαγή του συστήματος κατά τη διάρκεια του φαινομένου.

3ος. Τέλος, μπορεί να ξεκινάει από την εμπειρική γνώση για τα αποτελέσματα της μετωπικής σύγκρουσης μεταξύ κινούμενων αυτοκινήτων σε σχέση με τα αποτελέσματα από τη σύγκρουση ενός κινούμενου με ένα σταθευμένο αυτοκίνητο. Το σταθευμένο αυτοκίνητο προφανώς όμως δεν είναι ακίνητο εμπόδιο (Borges, χ.η.), όπως είναι ένας ανένδοτος τοίχος ο οποίος δεν μετακινείται και δεν παραμορφώνεται αισθητά. Το σταθευμένο αυτοκίνητο θα παραμορφωθεί αλλά και θα μετακινηθεί παρασυρόμενο από το κινούμενο.

### **Τελικά με τι “με συμφέρει” να τρακάρω;**

Πότε η σύγκρουση ενός κινούμενου αυτοκινήτου με ένα άλλο κινούμενο αυτοκίνητο είναι πιο επώδυνη από τη σύγκρουση με σταθερό εμπόδιο, π.χ. τοίχο, και πότε πιο ανώδυνη; Εξαρτάται αυτό από την ορμή του καθενός από τα δυο αυτοκίνητα που εμπλέκονται στη μετωπική σύγκρουση; Μήπως το αυτοκίνητο με τη μεγαλύτερη ορμή (ας μείνουμε πάντα σε οριζόντιο δρόμο) καθώς παρασύρει το άλλο προς την κατεύθυνση που κινείται, προσφέρει πλεονέκτημα επιβίωσης στον οδηγό του;

Ας δούμε, σε επίπεδο άσκησης Λυκείου, εκτενέστερα τα παραπάνω ερωτήματα. Ας υποθέσουμε ότι ένα αυτοκίνητο μάζας  $1400 \text{ kg}$  κινούμενο με  $50 \text{ km/h}$ , δηλ.  $13,9 \text{ m/s}$ , προσκρούει μετωπικά σε σταθερό εμπόδιο (ή με αντίθετα κινούμενο επίσης με  $50 \text{ km/h}$  όμοιο αυτοκίνητο) και παραμορφώνεται κατά  $d=70 \text{ cm}$  (ένας καλός μέσος όρος από τεστ, Crane 1985), που, όπως είπαμε,

είναι η απόσταση που διανύει το κέντρο μάζας του αυτοκινήτου. Η κινητική ενέργεια του αυτοκινήτου πριν από τη σύγκρουση ισούται με το έργο της μέσης δύναμης που ακινητοποιεί τελικά το αυτοκίνητο. Μπορούμε επομένως να υπολογίσουμε τη μέση επιτάχυνση του αυτοκινήτου:

$$\frac{1}{2}mv^2 = F_{\text{μέση}}d \Rightarrow F_{\text{μέση}} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{d} \xrightarrow{F_{\text{μέση}}=ma_{\mu}} a_{\mu} = \frac{v^2}{2d} = 138 \frac{m}{s^2} = 14,1g$$

Ο υπολογισμός αυτός αφορά τη μέση επιτάχυνση, γεγονός που σημαίνει ότι οι στιγμιαίες τιμές επιτάχυνσης θα είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες ανάλογα με τα μέρη του αυτοκινήτου που συνθλίβονται κάθε στιγμή. Η διάρκεια της σύγκρουσης είναι ίση με το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να ακινητοποιηθεί το αυτοκίνητο ενώ κινιόταν με αρχική ταχύτητα  $v$ . Άρα:

$$\Delta t = \frac{v}{a_{\mu}} = \frac{13,9}{138} \approx 0,1007 \approx 101 \text{ ms}$$

Μιλάμε για ένα δέκατο του δευτερολέπτου! Οι αριθμητικές τιμές που προκύπτουν από τους παραπάνω υπολογισμούς αντιστοιχούν ικανοποιητικά με τις τιμές που καταγράφονται από τα ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης σε πραγματικό πείραμα σύγκρουσης αυτοκινήτου σε σταθερό εμπόδιο (Ball et al, 1974). Με το παραπάνω παράδειγμα ξεκινώντας από στοιχεία που μπορούν να μετρηθούν εύκολα και χωρίς ειδικά επιταχυνσιόμετρα καταλήγουμε σε ικανοποιητικές τιμές για τη διάρκεια μιας σύγκρουσης.

Έστω ότι ο οδηγός φοράει ζώνη που δεν επιμηκύνεται (τεντώνεται) καθόλου κατά τη σύγκρουση. Η ζώνη θα τον κρατήσει δεμένο με το αυτοκίνητο. Άρα ο οδηγός στη διάρκεια της σύγκρουσης θα κινηθεί με την επιτάχυνση του αυτοκινήτου δηλαδή  $a=14,1 \text{ g}$  και θα σταματήσει μαζί με το αυτοκίνητο σε  $101 \text{ ms}$ . Ο άνθρωπος μπορεί να ανεχθεί και πολύ μεγαλύτερες επιταχύνσεις αλλά για ένα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Υπάρχει ένας δείκτης (Severity Index, S.I.) που αποσκοπεί στο να δώσει μια εκτίμηση για την πιθανότητα επιβίωσης που έχει ένας επιβάτης σε μια σύγκρουση. Ο S.I. δίδεται από τη σχέση  $S.I. = a^{5/2}t$ , όπου  $a$  είναι η επιτάχυνση, μετρούμενη σε  $g$ , που βιώνει ο επιβάτης και  $t$  είναι ο χρόνος έκθεσης σε δευτερόλεπτα. Για το ανθρώπινο κεφάλι προτείνεται για το δείκτη S.I. τιμή μικρότερη του 1000, δηλ.  $a^{5/2}t \leq 1000$  (Versace, 1971). Για τα δεδομένα του προβλήματός μας παίρνει την τιμή  $S.I. \approx 75$ .

Από τη σχέση  $a_{\mu} = \frac{v^2}{2d}$  η οποία δίνει τη μέση επιτάχυνση που δέχεται το αυτοκίνητο, άρα και ο οδηγός του όταν φοράει τη ζώνη του, προκύπτει ότι αυτή θα είναι τόσο μικρότερη όσο περισσότερο αυξηθεί το διάστημα το οποίο διανύει το αυτοκίνητό του μέχρι να ακινητοποιηθεί. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, αν κατά τη σύγκρουση το δικό του αυτοκίνητο παρασύρει το άλλο. Στην περίπτωση αυτή το  $d$  θα ισούται με το άθροισμα της παραμόρφωσης συν το διάστημα που παρασύρει το αυτοκίνητο του το άλλο αυτοκίνητο. Αντίστοιχα, ο χρόνος που διαρκεί η σύγκρουση είναι  $\Delta t = \frac{2d}{v}$  και ο δείκτης S.I., εκφρασμένος συναρτήσει της αρχικής ταχύτητας του αυτοκινήτου και του διαστήματος που διανύει μέχρι να σταματήσει, γίνεται:

$$S.I. = a^{5/2}t = \frac{v^4}{g^{5/2}(2d)^{5/2}}$$

που σημαίνει ότι, για σταθερή ταχύτητα, μεγαλώνοντας η απόσταση  $d$  ο S.I. λαμβάνει, όπως αναμενόταν, μικρότερη τιμή.

Είδαμε ότι ο οδηγός του αυτοκινήτου που παρασύρει το άλλο βιώνει σχετικά μικρότερη επιτάχυνση (από ό,τι αν συγκρουόταν με ανένδοτο εμπόδιο), διότι η ταχύτητά του μεταβάλλεται από την αρχική τιμή της σε μηδέν σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Τι συμβαίνει όμως με την επιτάχυνση που θα βιώσει ο οδηγός του δεύτερου αυτοκινήτου που παρασύρεται από το πρώτο (ανακρούεται); Σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα η ταχύτητά του γίνεται αντίθετης κατεύθυνσης σε σχέση με αυτήν που είχε πριν ανακρουστεί. Αυτό έχει ως συνέπεια την εμφάνιση τεράστιας επιτάχυνσης και τελικά μεγάλη τιμή για τον δείκτη ο S.I., γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα θανατηφόρου αποτελέσματος (Versace 1971, Fig.1 p. 773).

Σημειώνεται ότι μετά τη σύγκρουση του αυτοκινήτου σε σταθερό ή όχι εμπόδιο ακολουθεί η σύγκρουση του ανθρώπου, που δεν φοράει ζώνη, με το τιμόνι, το ταμπλό, το παρμπρίζ ακόμη και με το δρόμο, η οποία ονομάζεται δεύτερη σύγκρουση. Ακολουθεί και η τρίτη σύγκρουση που είναι των διάφορων εσωτερικών οργάνων με άλλα όργανα, με οστά ή με το κρανίο. Υπάρχει περίπτωση χωρίς τον παραμικρό εξωτερικό τραυματισμό να έχουμε θάνατο από βλάβες στον εγκέφαλο, το συκώτι, την καρδιά, το σπλήνα.

### **Πρόταση για διδακτική αξιοποίηση**

Ζητήστε από τους μαθητές σας να προβλέψουν αν το ελατήριο στη διάταξη που φαίνεται στην Εικόνα 2α επιμηκυνθεί περισσότερο, λιγότερο ή το ίδιο με το ελατήριο που φαίνεται στην Εικόνα 2β. Μετά τη συζήτηση πραγματοποιείστε το πείραμα. Τα σώματα που είναι αναρτημένα έχουν σε όλες τις περιπτώσεις την ίδια μάζα (περίπου 0,5 kg).



Εικόνα 2α (αριστερά). Ένα ελατήριο επιμηκύνεται εξαιτίας των δυνάμεων που ασκούν δύο όμοια αντικείμενα. Εικόνα 2β (δεξιά). Το δεύτερο αντικείμενο έχει απομακρυνθεί και το αντίστοιχο άκρο του νήματος έχει στερεωθεί σε ακλόνητο τοίχο. Η επιμήκυνση του ελατηρίου είναι ίδια και στις δύο περιπτώσεις (φωτογραφία του συγγραφέα).

Μετά από αυτό μπορεί να τεθεί στους μαθητές σας το ερώτημα: Ένα ελατήριο σταθεράς  $k$  κινούμενο με ταχύτητα  $v$  προσκρούει κάθετα σε σταθερό μη παραμορφώσιμο εμπόδιο π.χ. ένα μεταλλικό αντικείμενο μεγάλης μάζας. Να ευρεθεί κατά πόσο συσπειρώνεται. Έστω τώρα ότι το ελατήριο αυτό, αντί να συγκρουστεί μετωπικά με το μεταλλικό αντικείμενο, συγκρούεται μετωπικά με λεπτό μεταλλικό φύλλο, αμελητέας μάζας, που είναι προσαρμοσμένο κατακόρυφα σε ένα όμοιο ελατήριο κινούμενο με αντίθετη ταχύτητα. Σε αυτή την περίπτωση θα παραμορφωθεί λιγότερο περισσότερο ή όσο και πριν; Γιατί;

### Βιβλιογραφία

- Ball, P., Doolen, G., Fry, E., Wedin, M. (1974). Car-Crash experiment for the undergraduate laboratory. *Am.J.Phys.* 42, p.645.
- Borges D. (χ.η.) The Physics in Car Collisions. Ανακτήθηκε στις 01/03/2014 από: [http://outreach.phas.ubc.ca/phys420/p420\\_96/danny/danweb.htm](http://outreach.phas.ubc.ca/phys420/p420_96/danny/danweb.htm)
- Crane, R. (1985). The air bag: An exercise in Newton's laws. *Phys. Teach.*, 23, pp. 576-578.
- Epstein, L. (1989). *Στις γειτονίες της φυσικής*. Εκδόσεις Κάτοπτρο. Αθήνα
- Head-on collision math. (χ.η.). In \*What grinds my gears\*. Ανακτήθηκε στις 01/03/2014 από: <http://warp.povusers.org/grrr/collisionmath.html>
- Versace, J. (1971). A review of the severity index. Proceedings 15<sup>th</sup> Stapp Car Crash Conference, SAE paper 710881, p.p. 771-796.
- Ιαβέρης Σχολή Ασφαλούς Οδήγησης (χ.η.). *Εθνικό θέμα: Συν-οδηγός ασφαλείας*. Ανακτήθηκε στις 01/03/2014 από: [https://docs.google.com/file/d/0B-ZmGQ4fHa7LNzM2NGM1ZjgtMGUyMC00YzU3LWFKMjQtMzYzZGY3MTU0NmVi/edit?usp=drive\\_web&hl=en&pli=1](https://docs.google.com/file/d/0B-ZmGQ4fHa7LNzM2NGM1ZjgtMGUyMC00YzU3LWFKMjQtMzYzZGY3MTU0NmVi/edit?usp=drive_web&hl=en&pli=1)
- Προφυλλίδης, Β., Μποτζώρης Γ., 2005. Παραμετρική αιτιοκρατική ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων. *Τεχνικά Χρονικά*, Νοέμβριος - Δεκέμβριος 2005. Ανακτήθηκε στις 01/03/2014 από: [http://library.tee.gr/digital/techr/2005/techr\\_2005\\_6\\_profillidis.pdf](http://library.tee.gr/digital/techr/2005/techr_2005_6_profillidis.pdf)



Ο Παναγιώτης Κουμαράς είναι Φυσικός. Έχει εργαστεί τέσσερα χρόνια στο Τμήμα Φυσικής, δέκα χρόνια στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση και από το 1990 εργάζεται στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Α.Π.Θ.. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα αφορούν τα προγράμματα σπουδών Φυσικών Επιστημών, πειράματα με υλικά καθημερινής χρήσης, την Ιστορία της Φυσικής και τις εναλλακτικές απόψεις μαθητών.



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.

### Στάσιμα κύματα: μία ολιστική αντιμετώπιση

Παναγιώτης Πετρίδης

Η πρόταση διδασκαλίας που ακολουθεί, αναφέρεται στην ύλη του μαθήματος της Φυσικής Γ' Λυκείου Θετικής και Τεχνολογικής κατεύθυνσης. Στόχοι της πρότασης είναι η θεωρητική μελέτη ενός στάσιμου κύματος σε χορδή το ένα άκρο της οποίας είναι πακτωμένο και η πειραματική διαχείρισή του μέσα από τη μέτρηση της ταχύτητας εγκάρσιου κυματικού παλμού κατά μήκος ελατηρίου και τη δημιουργία στάσιμου κύματος, όπως αυτό εμφανίζεται στο σχολικό εγχειρίδιο (Ιωάννου κ.α., 2012, σ. 53 σχήμα 2.16).

Για την επίτευξη των πειραματικών στόχων χρησιμοποιούνται:

- Ένα κινητό τηλέφωνο (smartphone) που διαθέτει χρονόμετρο, σύνδεση στο διαδίκτυο και δυνατότητα καταγραφής βίντεο σε αρχείο mp4.
- Δύο υπολογιστές με σύνδεση στο διαδίκτυο και τα κατάλληλα λογισμικά (Tracker, Ipython, Canopy).
- Ένα ελατήριο κυματισμών Slinky.
- Μία μετροταινία.

### Η διαδικασία

Για να δημιουργήσουμε το κατάλληλο συναισθηματικό κλίμα μεταξύ των μαθητών αλλά και να οργανωθεί κατάλληλα η πειραματική διαδικασία, οι μαθητές εντάσσονται σε τέσσερις ομάδες: την ομάδα Sir Isaac Newton, η οποία είναι η ομάδα των φυσικών, την ομάδα Gottfried Wilhelm von Leibniz, η οποία είναι η ομάδα των μαθηματικών, την ομάδα του CERN, η οποία είναι η ομάδα των ερευνητών και την ομάδα Alan Matheson Turing, που είναι η ομάδα των πληροφορικών. Όπως είναι εμφανές από τα ονόματά τους, κάθε ομάδα μαθητών έχει διαφορετικές αρμοδιότητες και κατά την διάρκεια της διδακτικής πορείας εκτελεί διαφορετικά πράγματα. Όλες οι ομάδες μελετούν το φαινόμενο “στάσιμο κύμα” αλλά η κάθε μια έχει τη δική της οπτική γωνία.

### Ομάδα "Sir Isaac Newton"

Η μελέτη του στάσιμου κύματος ξεκινά από τη μελέτη της εξαναγκασμένης ταλάντωσης. Η ομάδα της Φυσικής προετοιμάζεται από το διδάσκοντα για να παρουσιάσει στους συμμαθητές της την θεωρητική μελέτη του φαινομένου της εξαναγκασμένης ταλάντωσης χωρίς απόσβεση που έχει ήδη μελετηθεί σε προηγούμενη διδακτική ώρα. Οι μαθητές της ομάδας υπενθυμίζουν στους υπόλοιπους μαθητές τους ορισμούς της ελεύθερης ταλάντωσης και της ιδιοσυχνότητας και αναπαριστούν ένα παράδειγμα εξαναγκασμένης ταλάντωσης: ένας μαθητής, ως εξωτερικός διεγέρτης, εξαναγκάζει σε ταλάντωση μία λεκάνη με νερό, το ταλαντούμενο σύστημα, με τυχαία συχνότητα η οποία είναι διαφορετική της ιδιοσυχνότητας του συστήματος και, αν εξαιρέσουμε ένα αρχικό μεταβατικό χρονικό διάστημα, το νερό μέσα στη λεκάνη τελικά ταλαντώνεται με τη συχνότητα του εξωτερικού διεγέρτη. Αντίστοιχα, το ελεύθερο άκρο μίας χορδής το οποίο εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση, είναι η πηγή του κύματος που διαδίδεται στο ελαστικό μέσο με φορά προς το άκρο της χορδής που είναι ακλόνητα στερεωμένο (δεσμός).

Γίνεται συζήτηση για την αρχική φάση αυτού του κύματος και τονίζεται το γεγονός ότι αυτό το κύμα που διαδίδεται προς το άκρο της χορδής που είναι δεσμός περιγράφεται από την εξίσωση:

$$y_1 = A \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

το μέτωπο δηλαδή του κύματος είναι ένα "όρος", με αρχική φάση ίση με μηδέν. Η πηγή που δημιουργεί το δεύτερο κύμα, το οποίο κινείται σε αντίθετη κατεύθυνση από το πρώτο, από το δεσμό της χορδής προς το ελεύθερο άκρο, βρίσκεται στην θέση  $x = \lambda$ . Εδώ γίνεται αρκετή συζήτηση μεταξύ των μαθητών σχετικά με το πώς είναι δυνατόν ένα ακίνητο σημείο, όπως είναι ο δεσμός στο άκρο της χορδής, να αποτελεί την πηγή του δεύτερου κύματος. Θυμίζουμε τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα και το σχήμα 2.15 του σχολικού βιβλίου (Ιωάννου κ.α., 2012, σ. 52) που αναπαριστά έναν κυματικό παλμό να ανακλάται σε σταθερό εμπόδιο και να διαδίδεται αντίθετα. Η αρχική φάση αυτού του δεύτερου κύματος είναι ίση με  $\pi$ , δηλαδή το μέτωπο αυτού του κύματος είναι μία "κοιλιάδα" και η εξίσωση που το περιγράφει είναι η

$$y_2 = A \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{2} \right) \right]$$

Τέλος, η θεωρητική μελέτη του στάσιμου κύματος ολοκληρώνεται με τη διατύπωση της αρχής της επαλληλίας, σύμφωνα με την οποία η απομάκρυνση ενός σημείου της χορδής θα ισούται με το άθροισμα των δύο παραπάνω απομακρύνσεων  $y_1$  και  $y_2$ .

### Ομάδα "Gottfried Wilhelm von Leibniz"

Η ομάδα των μαθηματικών χρησιμοποιεί τον έναν υπολογιστή και συμπληρώνει ηλεκτρονικό φύλλο εργασίας που μπορεί να αναζητηθεί στην διεύθυνση <http://eclass.sch.gr/> (αναζήτηση μαθημάτων με όνομα σχολείου "Γενικό Λύκειο Χαλάστρας", όνομα μαθήματος (Κωδικός) Φυσική Α (EL425104), στην

ενότητα “Αυτοαξιολόγηση”, όνομα άσκησης “Εξαναγκασμένη ταλάντωση και στάσιμα κύματα”). Το φύλλο εργασίας<sup>1</sup> ξεκινάει με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα και τη διαφορική εξίσωση που περιγράφει την κίνηση.

$$\begin{aligned}\Sigma F = ma &\Rightarrow F_{\text{ελατηρίου}} + F_{\text{διεγέρτη}} = ma \\ -kx + F_0 \eta\mu(\omega t) &= m \frac{dx^2}{dt^2}\end{aligned}$$

Οι λύσεις της διαφορικής εξίσωσης είναι μία οικογένεια ημιτονοειδών συναρτήσεων με συχνότητα ίση με τη συχνότητα  $\omega$  του διεγέρτη και όχι την ιδιοσυχνότητα  $\omega_0$  του συστήματος (Τραχανάς, 1989 σ. 128-130). Από την ομάδα Leibniz ζητάμε τον υπολογισμό της πρώτης παραγώγου της πιθανής λύσης, δηλαδή της ταχύτητας, και της δεύτερης παραγώγου που είναι η επιτάχυνση, αφού τους δώσουμε τη γενική λύση. Οι μαθητές αυτής της τάξης (Γ' Λυκείου) έχουν ήδη διδαχθεί στην παρούσα χρονική περίοδο στα μαθηματικά την παραγώγιση σύνθετων συναρτήσεων και έτσι μπορούν να χειριστούν ανάλογα ερωτήματα. Το ηλεκτρονικό φύλλο εργασίας καθοδηγεί τους μαθητές να υπολογίσουν τη σχέση που συνδέει το πλάτος ταλάντωσης  $A$  με την μέγιστη δύναμη  $F_0$ , την μάζα του συστήματος, τη συχνότητα του διεγέρτη  $\omega$  και την ιδιοσυχνότητα του συστήματος  $\omega_0$ , στην εξαναγκασμένη ταλάντωση:

$$A = \frac{F_0}{m\omega^2 - m\omega_0^2}$$

Στη συνέχεια θα πρέπει οι μαθητές να σχεδιάσουν ποιοτικά τη γραφική παράσταση της σχέσης που συνδέει το πλάτος της εξαναγκασμένης ταλάντωσης σε συνάρτηση με την συχνότητα του διεγέρτη. Θα πρέπει επομένως να απαντήσουν, ενδεικτικά, στις ερωτήσεις:

Πού τείνει το πλάτος ταλάντωσης  $A$ , εάν η συχνότητα του διεγέρτη τείνει στο άπειρο;

Πού τείνει το πλάτος ταλάντωσης  $A$ , εάν η συχνότητα του διεγέρτη τείνει στο μηδέν;

Πού τείνει το πλάτος ταλάντωσης  $A$ , εάν η συχνότητα του διεγέρτη τείνει στην ιδιοσυχνότητα του συστήματος  $\omega_0$ ;

Τέλος, οι “μαθηματικοί” οφείλουν, κάνοντας χρήση της τριγωνομετρικής ταυτότητας

$$\eta\mu\alpha + \eta\mu\beta = 2\sigma\upsilon\nu\left(\frac{\alpha - \beta}{2}\right)\eta\mu\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)$$

να εφαρμόσουν την αρχή της επαλληλίας, προσθέτοντας τις δύο απομακρύνσεις  $y_1$  και  $y_2$ , και να αποδείξουν τη σχέση που δίνει την απομάκρυνση για την περίπτωση που η χορδή έχει μήκος  $L$  και το ένα της άκρο είναι δεσμός:

$$y = 2A\eta\mu 2\pi\left(\frac{L-x}{\lambda}\right)\sigma\upsilon\nu 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda}\right)$$

Προτείνεται η συγκεκριμένη ομάδα να φροντίσουμε να συσταθεί από μαθητές με ευχέρεια στους μαθηματικούς χειρισμούς καθώς είναι η ομάδα που δουλεύει μόνη της περισσότερο από τις υπόλοιπες, καθοδηγούμενη από το φύλλο εργασίας.

### Ομάδα "CERN"

Η ομάδα των ερευνητών είναι αυτή που θα εκτελέσει την καθαρά πειραματική διαδικασία. Η επιτυχής διεκπεραίωση του πειράματος είναι κομβικής σημασίας για την ολοκλήρωση της διδακτικής προσέγγισης που προτείνεται εδώ. Η ομάδα αυτή χρησιμοποιεί το κινητό τηλέφωνο, το ελατήριο και τη μετροταινία. Το πείραμά της αποτελείται από δύο μέρη.

Στο πρώτο μέρος οι μαθητές τοποθετούν το σκληρό ελατήριο κυματισμών στο πάτωμα και με την βοήθεια μετροταινίας μετράνε<sup>2</sup> μήκος  $L = 1.5 \text{ m}$ . Σκοπός του πρώτου μέρους είναι η εύρεση της ταχύτητας διάδοσης εγκάρσιων αρμονικών κυμάτων στο ελατήριο. Ο ένας "ερευνητής" κρατά ακινητοποιημένο με το χέρι του το ένα άκρο του ελατηρίου αναπαριστώνοντας το δεσμό και ένας δεύτερος δημιουργεί εγκάρσιο κυματικό παλμό, μετακινώντας απότομα και κάθετα στην διεύθυνση του ελατηρίου το άκρο που κρατά στο χέρι του, αναπαριστώνοντας τον εξωτερικό διεγέρτη. Ταυτόχρονα τρίτος "ερευνητής" με την βοήθεια του "ερευνητή - εξωτερικού διεγέρτη" μετράει το χρονικό διάστημα κίνησης του παλμού. Γνωρίζοντας τη συνολική απόσταση που θα διανύσει ο παλμός και το χρονικό διάστημα, υπολογίζεται η ταχύτητα. Για να μειωθούν οι αβεβαιότητες της μέτρησης οι μαθητές μετράνε το χρονικό διάστημα για περισσότερες από μία διαδρομές του παλμού. Η εμπειρία στην τάξη υποδεικνύει ότι αρκούν τρεις διαδρομές πήγαινε-έλα για να υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα (για περισσότερες, λόγω τριβών ο κυματικός παλμός εξασθενεί και τελικά μηδενίζεται).

Στο δεύτερο μέρος ο "ερευνητής - εξωτερικός διεγέρτης" εξαναγκάζει το ελεύθερο άκρο του ελατηρίου σε ταλάντωση με σταδιακά αυξανόμενη συχνότητα. Καθώς αυξάνεται η συχνότητα εμφανίζεται μία "άτρακτος" κατά μήκος του ελαστικού μέσου. Το κινητό τηλέφωνο καταγράφει σε βίντεο το στάσιμο κύμα σε αυτή την πρώτη αρμονική συχνότητα. Ο "ερευνητής - εξωτερικός διεγέρτης" συνεχίζει να αυξάνει τη συχνότητα ταλάντωσης του ελεύθερου άκρου του ελαστικού μέσου. Σε αυτό το σημείο πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή από τον "ερευνητή - δεσμό", καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, διότι το τεντωμένο ελατήριο μπορεί να του ξεφύγει και να υπάρξει τραυματισμός. Όταν η συχνότητα διπλασιασθεί εμφανίζονται δύο άτρακτοι (σχετικό βίντεο είναι διαθέσιμο στη σελίδα eclass, ακολουθώντας τη διαδρομή που αναφέρθηκε προηγουμένως, αλλά και στο δικτυακό τόπο του περιοδικού). Οι "ερευνητές" πειραματιζόμενοι μπορούν να εμφανίσουν έως τέσσερις ατράκτους στο ελαστικό μέσο. Είναι πολύ εύκολο οι υπόλοιποι μαθητές να ξεχωρίσουν τα σημεία "δεσμούς" και "κοιλίες" σε κάθε περίπτωση.

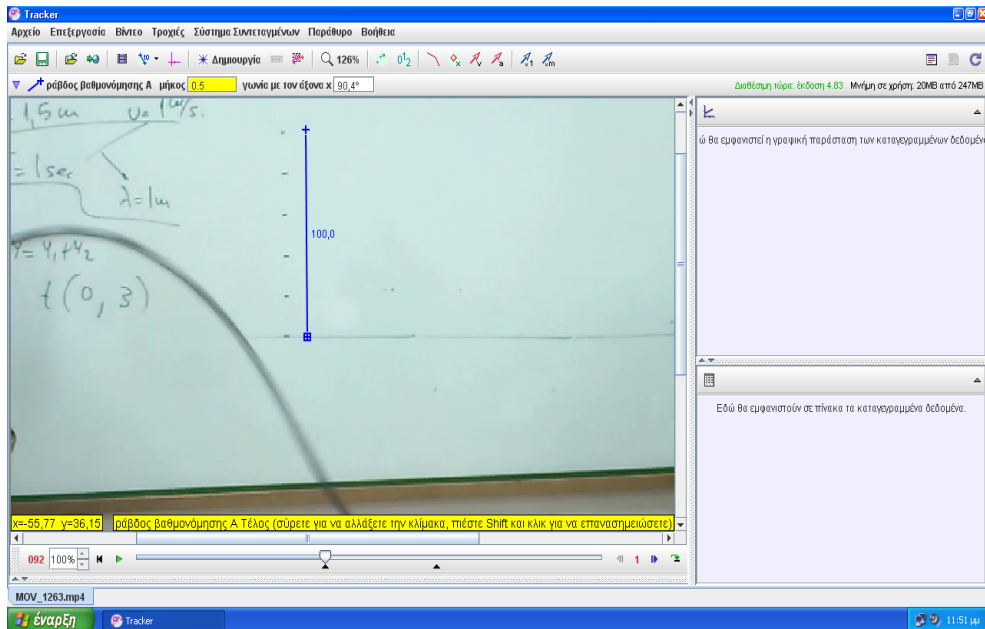
Φυσικά, κάθε φορά που οι "ερευνητές" πετυχαίνουν τη σωστή συχνότητα, ο ενθουσιασμός στην τάξη είναι εμφανής και ανάλογη είναι η ικανοποίηση των "ερευνητών". Για την ομάδα των "ερευνητών" μπορούμε να επιλέξουμε εκείνους τους μαθητές που ενδιαφέρονται λιγότερο για το μάθημα και όσους πιστεύουμε ότι χρειάζεται να τονώσουμε την αυτοπεποίθησή τους ή μαθητές με προβλήματα συμπεριφοράς, μαθησιακές δυσκολίες κ.λ.π..

### Ομάδα "Alan Matheson Turing"

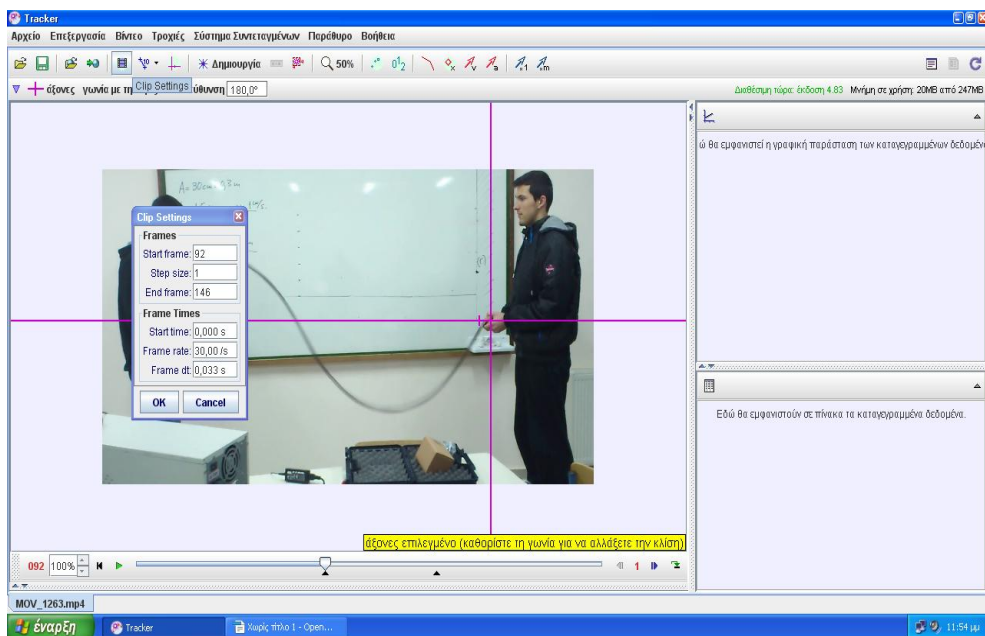
Η ομάδα της πληροφορικής προετοιμάζεται, με τη βοήθεια του διδάσκοντα, ώστε να παρουσιάσει στους συμμαθητές της τη μελέτη των στάσιμων κυμάτων μέσω της εικονικής αναπαράστασης σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί κώδικας ενώ αξιοποιούνται διάφορα προγράμματα και λογισμικά. Αυτά είναι λογισμικά ελεύθερης διανομής και έχουν εγκατασταθεί σε δύο υπολογιστές εκ των οποίων ο ένας τρέχει λειτουργικό σύστημα windows xp και ο άλλος λειτουργικό σύστημα linux ubuntu. Είναι όλα συγκεντρωμένα και διαθέσιμα για μεταφόρτωση ("κατέβασμα") στη διεύθυνση <http://eclass.sch.gr/> (αναζήτηση μαθημάτων με όνομα σχολείου "Γενικό Λύκειο Χαλάστρας", όνομα μαθήματος (Κωδικός) Εργαστήριο Φυσικής (EL425110), στην ενότητα "Συνδέσεις Διαδικτύου").

Το πρώτο πρόγραμμα που αξιοποιείται είναι το Tracker (<http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/>). Είναι ένα εργαλείο για ανάλυση βίντεο και ταυτόχρονα για τη δημιουργία μοντέλων. Έχει γραφεί σε Java και σχεδιάστηκε ειδικά για την εκπαίδευση και συγκεκριμένα για το μάθημα της Φυσικής. Το βίντεο που έχει καταγράψει η ομάδα των "ερευνητών" αναλύεται με το συγκεκριμένο λογισμικό. Απαραίτητες πληροφορίες για τη σωστή ανάλυση των δεδομένων είναι η αρχικοποίηση του χώρου και του χρόνου. Για το χώρο έχουμε προνοήσει να σχεδιάσουμε στον πίνακα της τάξης με τη βοήθεια της μετροταινίας, διαδοχικές χαραγές με μεταξύ τους απόσταση είκοσι εκατοστόμετρων οι οποίες πρέπει να έχουν καταγραφεί στο αρχείο mp4 (Εικόνα 1). Για το χρόνο, ανάλογα με τον τύπο της συσκευής, εισάγουμε την τιμή fps (frames per second) της κάμερας του κινητού τηλεφώνου όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.

Η ομάδα της πληροφορικής ορίζει ένα σημείο αναφοράς ("δημιουργία υλικού σημείου") και καταγράφει σε λογιστικό φύλλο τιμές χρόνου και χώρου της ταλάντωσης του ελατηρίου. Από αυτές τις τιμές είναι δυνατός ο υπολογισμός του πλάτους ταλάντωσης  $A$ , της περιόδου  $T$ . Έτσι, αξιοποιώντας την τιμή της ταχύτητας διάδοσης που υπολόγισε η ομάδα των "ερευνητών" μπορεί να υπολογιστεί και το μήκος κύματος  $\lambda$  του κύματος για τις διάφορες τιμές της συχνότητας. Αντίστροφα, μέσω του προγράμματος μπορεί να μετρηθεί το μήκος κύματος και να υπολογιστεί για τις διάφορες τιμές της συχνότητας η ταχύτητα διάδοσης του κύματος με σκοπό να συγκριθεί με την τιμή που υπολόγισαν οι "ερευνητές". Τυχόν διαφορές στις δύο τιμές μπορούν να δώσουν το έναυσμα για συζήτηση για τις αβεβαιότητες των μετρήσεων.



Εικόνα 1. Βαθμονόμηση του χώρου με το λογισμικό Tracker.



Εικόνα 2. Βαθμονόμηση του χρόνου με το λογισμικό Tracker.

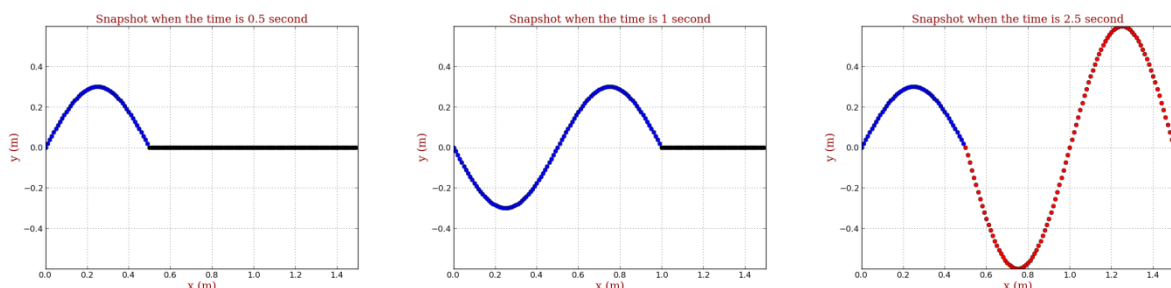
Για να ολοκληρωθεί η μελέτη του στάσιμου κύματος δίνεται ως εργασία για το σπίτι η εξής άσκηση: «Έστω η χορδή με μήκος  $L=1.5\text{ m}$  όπως αυτή που χρησιμοποιήσατε στο πείραμα, όπου το ένα της άκρο είναι δεσμός και το άλλο άκρο της  $O$  τίθεται σε κατακόρυφη ταλάντωση με πλάτος  $A = 30\text{ cm}$  και ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο μέσο  $v = 1\text{ m/s}$ . Να σχεδιάσετε τα στιγμιότυπα της χορδής κάθε  $0.5\text{ sec}$ , από την χρονική στιγμή  $t=0$  έως τη χρονική στιγμή  $t=3\text{ s}$ ».

Χωρίς φυσικά να αμφισβητείται η χρησιμότητα τέτοιου τύπου ασκήσεων στην κατανόηση του μηχανισμού των στάσιμων κυμάτων, τα σχήματα μπορούν να γίνουν αρκετά περίπλοκα σε ορισμένες

περιπτώσεις. Έτσι, η ομάδα της πληροφορικής μπορεί, στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων της, να παρουσιάσει τη δική της λύση σχεδιασμού των στιγμιότυπων με την ανάπτυξη κώδικα, αφού παρουσιαστούν από τους μαθητές τα σχέδια που έκαναν «με το χέρι». Αν και υπάρχουν διαθέσιμα ελεύθερα λογισμικά που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, οι ευκαιρίες που έχουν οι μαθητές, στο πλαίσιο του σχολείου, να έρθουν σε επαφή με αυτό που ονομάζουμε υπολογιστική Φυσική (computational physics) ή υπολογιστική Επιστήμη (computational science) γενικότερα, είναι ελάχιστες. Την ίδια στιγμή υπάρχουν μαθητές που ασχολούνται με τον προγραμματισμό, έστω και στο επίπεδο του μαθήματος της «Ανάπτυξης Εφαρμογών σε Προγραμματιστικό Περιβάλλον».

Στην εφαρμογή της παρούσας διδακτικής πρότασης στο σχολείο μας αναπτύχθηκε κώδικας στη γλώσσα προγραμματισμού python. Συγκεκριμένα στο δεύτερο υπολογιστή, που τρέχει linux ubuntu, εγκαταστάθηκε το πρόγραμμα Ipython, ένα IDE που περιλαμβάνει εκτός από την βασική γλώσσα αρκετές χρήσιμες βιβλιοθήκες όπως numpy, matplotlib και εγκαθίσταται εύκολα και γρήγορα. (Langtangen, 2006; Downey, 2009). Εναλλακτικά, εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος υπολογιστής που να τρέχει linux μπορούμε να εγκαταστήσουμε το πρόγραμμα canpony (<https://www.enthought.com/products/epd/free/>) σε περιβάλλον windows, για να έχουμε πρόσβαση στο ίδιο προγραμματιστικό περιβάλλον. Τα λογισμικά βρίσκονται στην διεύθυνση [eclass.sch.gr](http://eclass.sch.gr) στο μάθημα “Εργαστήριο Φυσικής”, στην ενότητα “Συνδέσεις Διαδικτύου”.

Ο πρωτότυπος κώδικας που αναπτύχθηκε είναι και αυτός διαθέσιμος στη διεύθυνση [eclass.sch.gr](http://eclass.sch.gr), στο μάθημα Εργαστήριο Φυσικής, στην ενότητα “Έγγραφα”, με το όνομα “Στάσιμα Κύματα”. Κατά την παρουσίασή του η ομάδα της πληροφορικής εξηγεί στους υπόλοιπους μαθητές τη λειτουργία του και αφού τον τρέξει εμφανίζει τη λύση της παραπάνω άσκησης (Εικόνα 3). Ακολουθεί συζήτηση σχετικά με τα στιγμιότυπα που παράχθηκαν στην οθόνη του υπολογιστή και γίνεται σύγκριση με αυτά που παρήγαγαν οι μαθητές.



Εικόνα 3. Ενδεικτικά στιγμιότυπα κύματος όπως προκύπτουν από το λογισμικό που αναπτύχθηκε.

### Συμπεράσματα

Η παρούσα πρόταση διδασκαλίας υλοποιήθηκε στο Γενικό Λύκειο Χαλάστρας κατά το σχολικό έτος 2013-2014. Χρειάστηκαν δύο διδακτικές ώρες και πρόσθετη υλικοτεχνική υποδομή από αυτή που υπάρχει διαθέσιμη συνήθως σε μία τάξη. Επίσης, οι μαθητές προετοιμάστηκαν από το σπίτι για

να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της πρότασης, ειδικά αυτοί που ανέλαβαν την ανάπτυξη του κώδικα, σε συνεργασία με το διδάσκοντα.

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε ήταν η επένδυση που απαιτήθηκε σε διδακτικό χρόνο και προετοιμασία λόγω του ιδιαίτερου χαρακτήρα των μαθημάτων κατεύθυνσης στη Γ' Λυκείου. Οι μαθητές αυτής της τάξης, προσβλέποντας σε επιτυχή προετοιμασία για τις πανελλήνιες εξετάσεις, έχουν μηδαμινό ελεύθερο χρόνο στο σπίτι ενώ και στο σχολείο η συνήθης πρακτική είναι η επίλυση προβλημάτων παρά η πειραματική διαχείριση των εννοιών.

Ωστόσο, η αποδοχή εκ μέρους τους του εγχειρήματος ήταν ενθουσιώδης. Η συμμετοχή όλων και η εκπλήρωση των καθηκόντων που είχε αναλάβει κάθε μαθητής στην ομάδα του, αποτέλεσε μια ευχάριστη έκπληξη όχι μόνο για τον διδάσκοντα αλλά και για τους ίδιους τους μαθητές. Ιδιαίτερα θετική ήταν μάλιστα η στάση των φερόμενων ως «αδύναμων» μαθητών. Δημιουργώντας, φωτογραφίζοντας, αναλύοντας τα δικά τους στάσιμα κύματα, οι μαθητές είχαν την ευκαιρία να εμβαθύνουν στις εμπλεκόμενες έννοιες και να τοποθετηθούν, στο μέτρο του δυνατού, με καλύτερο τρόπο απέναντι στο μάθημα της Φυσικής αλλά και των Μαθηματικών και της Πληροφορικής. Η ολιστική αντιμετώπιση που επιχειρήθηκε φώτισε ένα μέρος του δρόμου που ενδεχομένως θα έπρεπε να ακολουθείται στη διδακτική προσέγγιση των τόσο διαχωρισμένων και διακριτών, από το αναλυτικό πρόγραμμα, Φυσικών Επιστημών.

### Βιβλιογραφία

- Downey, A. (2009). *Python for software design: how to think like a computer scientist*. Cambridge University Press.
- Langtangen, H. P. (2006). *Python scripting for computational science*. Springer.
- Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α., Ράπτης, Σ. (2012). *Φυσική Θετικής & Τεχνολογικής Κατεύθυνσης*. Εκδόσεις ΙΤΥΕ "ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ".
- Τραχανάς, Σ. (1989). *Διαφορικές εξισώσεις*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.



Ο Παναγιώτης Πετρίδης είναι Φυσικός με μεταπτυχιακή εξειδίκευση στα πληροφοριακά συστήματα. Πριν διοριστεί στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση το 2004, εργάστηκε ως καθηγητής στην ιδιωτική εκπαίδευση. Έχει ασχοληθεί με τη μελέτη και χρήση υπηρεσιών κοινωνικής δικτύωσης στην ηλεκτρονική μάθηση. Στον ελεύθερο χρόνο του δημιουργεί web εφαρμογές με την γλώσσα Ruby και μοντέλα προσομοίωσης της πραγματικότητας με την γλώσσα Python.



## **Φωτοελαστικότητα. Το πολωμένο φως και το ταπεινό σελοτέηπ σε μία πολύχρωμη συνεργασία**

**Παναγιώτης Λάζος**

Η οπτική είναι ένας μάλλον περιθωριοποιημένος κλάδος της Φυσικής σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Η παρούσα εργασία φιλοδοξεί να καθοδηγήσει τους συναδέλφους σε μια εύκολη, εντυπωσιακή και οικονομική πειραματική διάταξη που θα αναδείξει το σχετικά άγνωστο φαινόμενο της πόλωσης του φωτός αλλά και της δομής του γνωστού και «ταπεινού» σελοτέηπ, ενώ μπορεί θαυμάσια να χρησιμοποιηθεί και σε πολλά άλλα διαφανή υλικά.

### **Εισαγωγή**

Το φως ανήκει στη μεγάλη οικογένεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπεριώδης και η υπέρυθη ακτινοβολία καθώς και οι ακτίνες X και γ. Ο λόγος που το φως μελετάται ξεχωριστά είναι η ιδιαίτερη σημασία που έχει για το ανθρώπινο είδος, εφόσον είναι η ακτινοβολία στην οποία είναι ευαίσθητα τα μάτια μας.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός μαγνητικού και ενός ηλεκτρικού πεδίου. Πρόκειται για εγκάρσια κύματα. Τα διανύσματα του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος. Για λόγους απλοποίησης από εδώ και στο εξής όποτε μελετούμε το φως θα περιοριζόμαστε στη μελέτη του ηλεκτρικού πεδίου μόνο, χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη μας το μαγνητικό, όμως θα μπορούμε κάθε στιγμή να αντλήσουμε στοιχεία για αυτό από τη ηλεκτρικό πεδίο. Με αυτή τη σύμβαση, το επίπεδο πάνω στο οποίο πάλλεται το διάνυσμα **E** του ηλεκτρικού κύματος θα ονομάζεται επίπεδο ταλάντωσης του φωτός.

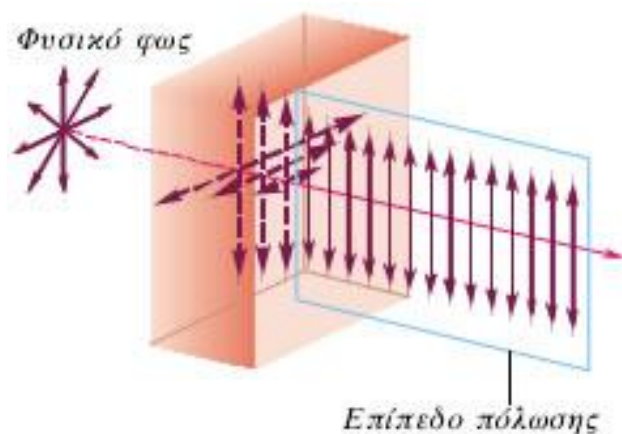
Οι διάφορες φωτεινές πηγές αποτελούνται στην πραγματικότητα από έναν τεράστιο αριθμό στοιχειωδών φωτεινών πηγών (διεγερμένα άτομα ή και μόρια) και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου του φωτός που εκπέμπουν είναι το (διανυσματικό) άθροισμα των εντάσεων του ηλεκτρικού πεδίου των στοιχειωδών πηγών. Κάθε μία από αυτές τις στοιχειώδεις πηγές εκπέμπει –ως παλλόμενο δίπολο- στοιχειώδες ηλεκτρομαγνητικό κύμα με συγκεκριμένο επίπεδο ταλάντωσης τυχαίου

προσανατολισμού. Αν ορίσουμε ως γραμμικά πολωμένο κύμα εκείνο το οποίο παρουσιάζει συγκεκριμένο επίπεδο ταλάντωσης του διανύσματος  $\mathbf{E}$  του ηλεκτρικού πεδίου, τότε αντιλαμβανόμαστε ότι κάθε στοιχειώδες ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι γραμμικά πολωμένο.

Το φως από τις φωτεινές πηγές είναι το αποτέλεσμα της ταυτόχρονης και συνεχούς εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από έναν τεράστιο αριθμό στοιχειωδών πηγών και πιο συγκεκριμένα του διανυσματικού αθροίσματος των εντάσεων των ηλεκτρικών πεδίων τους. Το άθροισμα αυτό, αλλάζει επίπεδο ταλάντωσης ταχύτατα και ουσιαστικά το φως πάλλεται σε όλα τα δυνατά επίπεδα. Το φως με τα προηγούμενα χαρακτηριστικά ονομάζεται φυσικό φως (Αλεξόπουλος & Μαρίνος, 1992, σ. 189-190).

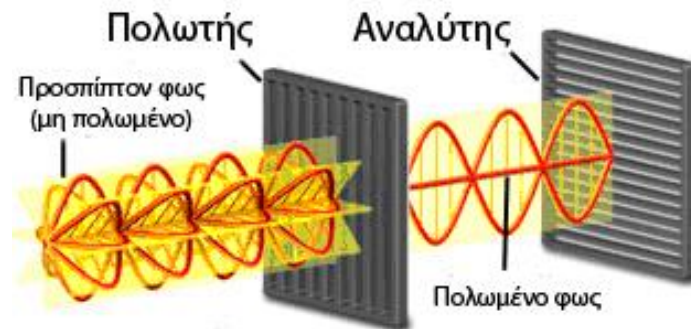
Το φυσικό φως μπορεί να μετατραπεί σε γραμμικά πολωμένο αν διέλθει μέσα από κατάλληλο υλικό που ονομάζεται πολωτής (Εικόνα 1). Μακροσκοπικά ιδωμένος, ο πολωτής επιτρέπει τη διέλευση μόνο μιας συγκεκριμένης διεύθυνσης ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου από ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Αυτή είναι παράλληλη με ένα χαρακτηριστικό επίπεδο του πολωτή, δεδομένο από την κατασκευή του. Αν στρέψουμε τον πολωτή κατά  $90^\circ$  γύρω από άξονα κάθετο στην επιφάνειά του, θα στραφεί κατά την ίδια γωνία και η διεύθυνση ταλάντωσης του εξερχόμενου από τον πολωτή φωτός. Σημειώνεται ότι υπάρχουν και άλλα φαινόμενα στα οποία το φυσικό φως μπορεί να μετατραπεί σε πολωμένο, όπως η ανάκλαση, η διάθλαση και η σκέδαση. (Αλεξόπουλος & Μαρίνος, 1992, σ. 217-224).

Ένας αποτελεσματικός και αρκετά οικονομικός πολωτής είναι ένα φύλλο Polaroid, υλικό που ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του 1930. Η μικροσκοπική δομή του Polaroid είναι τέτοια ώστε να απορροφά την προσπίπτουσα μη πολωμένη ακτινοβολία και να εκπέμπει πολωμένη ακτινοβολία. Με ένα κόστος της τάξης των 20-50 ευρώ είναι δυνατόν να προμηθευτούμε<sup>1</sup> φίλτρα Polaroid ικανοποιητικού εμβαδού για την παρουσίαση του πειράματος.



Εικόνα 1: Φυσικό φως προσπίπτει σε πολωτή. Τρισδιάστατη αναπαράσταση. (Γεωργακάκος κ.α., 2012)

Αν πίσω από τον πολωτή τοποθετήσουμε έναν δεύτερο πολωτή (ο οποίος λόγω θέσης θα καλείται συμβατικά αναλύτης) τότε θα παρατηρήσουμε ότι η γωνία ανάμεσα στα χαρακτηριστικά επίπεδα των δύο πολωτών καθορίζει το ποια θα είναι η ένταση του φωτός που τελικά θα διέλθει. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ένταση του φωτός θα είναι μέγιστη -και ίση με την ένταση του προσπίπτοντος φωτός στον αναλύτη- αν τα χαρακτηριστικά επίπεδα είναι παράλληλα, θα είναι μηδέν αν τα χαρακτηριστικά επίπεδα είναι κάθετα μεταξύ τους (Εικόνα 2) και θα λαμβάνει τις ενδιάμεσες τιμές για ενδιάμεσες τιμές της σχετικής γωνίας (Γδούτος, 1987, σ.18)



Εικόνα 2: Φυσικό φως προσπίπτει σε πολωτή και αναλύτη με κάθετα τα χαρακτηριστικά τους επίπεδα.

Εικόνα, με από μεταφρασμένους τους όρους από το συγγραφέα, από

<http://www.microscopyu.com/articles/polarized/polarizedlightintro.html>

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειώσουμε ότι η ανακάλυψη της ιδιότητας του φωτός να πολώνεται υπήρξε μια ισχυρότατη ένδειξη ότι το φως είναι εγκάρσιο κύμα και όχι διάμηκες. Τα διαμήκη κύματα δεν υπάρχει τρόπος να πολωθούν.

### Διπλή διάθλαση – διπλοθλαστικά υλικά

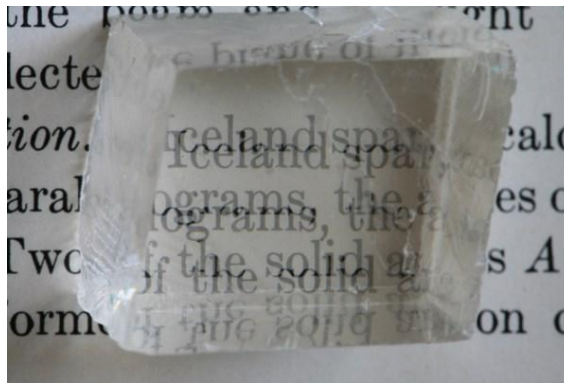
Ορισμένα υλικά παρουσιάζουν μια παράξενη, οπτικά, συμπεριφορά: όταν προσπέσει ακτίνα φυσικού φωτός στην επιφάνειά τους παρατηρούμε να διαδίδονται δύο ακτίνες και όχι μία στο εσωτερικό τους. Τέτοια υλικά ονομάζονται διπλοθλαστικά και το φαινόμενο αυτό καλείται διπλή διάθλαση. Το πρώτο υλικό στο οποίο παρατηρήθηκε κάτι τέτοιο είναι ο ασβεστίτης ( $\text{CaCO}_3$ ) ή ισλανδική κρύσταλλος.

Τα πειράματα έδειξαν ότι από τις δύο ακτίνες που διαδίδονται σε ένα διπλοθλαστικό μέσο, η μία ακολουθεί το νόμο της διάθλασης (νόμος Snell) ενώ η άλλη όχι. Για τον λόγο αυτό η πρώτη ονομάζεται τακτική ακτίνα, ενώ η άλλη έκτακτη. Μάλιστα, όπως δείχνει η εξέτασή τους με αναλύτη και οι δύο ακτίνες είναι γραμμικώς πολωμένες και μάλιστα τα επίπεδα πόλωσης είναι κάθετα μεταξύ τους.

Είναι ενδιαφέρον ότι οι δύο ακτίνες διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες και κατά συνέπεια στα διπλοθλαστικά υλικά μπορούν να οριστούν δύο δείκτες διάθλασης, αλλά μόνο εκείνος της τακτικής ακτίνας είναι χαρακτηριστικός του συγκεκριμένου υλικού.

Σε μικροσκοπικό επίπεδο, η αιτία για τη διπλοθλαστικότητα ενός υλικού είναι η ανισοτροπία της κρυσταλλικής δομής του, με άλλα λόγια η έλλειψη συμμετρίας γύρω από τυχαίο σημείο. Χωρίς να μπορούμε σε λεπτομέρειες, θα σημειώσουμε ότι η τακτική ακτίνα έχει την ίδια ταχύτητα διάδοσης ανεξάρτητα από τη διεύθυνση στην οποία κινείται μέσα στο υλικό. Αντίθετα, η ταχύτητα της έκτακτης ακτίνας εξαρτάται από τη διεύθυνση διάδοσης. Προφανώς, υπάρχει μια διεύθυνση για την οποία οι δύο ταχύτητες είναι ίσες. Η διεύθυνση αυτή ονομάζεται οπτικός άξονα του υλικού και πρέπει να τονιστεί ότι η λέξη «άξονας» δεν παραπέμπει σε μια συγκεκριμένη ευθεία αλλά σε μια διεύθυνση (Αλεξόπουλος & Μαρίνος, 1992 σ.195)

Αν τοποθετήσουμε έναν αναλύτη ανάμεσα στην ισλανδική κρύσταλλο και το μάτι μας τότε ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζει το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλύτη και ο οπτικός άξονας της κρυστάλλου μπορεί να δούμε είτε και τις δύο ακτίνες είτε μόνο την τακτική είτε μόνο την έκτακτη (Εικόνες 3-5).



Εικόνα 3: Αμφότερες οι ακτίνες είναι ορατές. Το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλύτη σχηματίζει γωνία περίπου  $45^\circ$  με τον οπτικό άξονα του δείγματος. (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 4: Μόνο η τακτική ακτίνα είναι ορατή, όπως αντιλαμβανόμαστε από το γεγονός ότι δεν υπάρχει εκτροπή και βλέπουμε τα γράμματα πίσω από το δείγμα στο ίδιο επίπεδο με τα υπόλοιπα γράμματα. Το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλύτη σχηματίζει γωνία περίπου  $0^\circ$  με τον οπτικό άξονα του δείγματος. (Φωτογραφία του συγγραφέα)



Εικόνα 5: Μόνο η έκτακτη ακτίνα είναι ορατή. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

Το χαρακτηριστικό επίπεδο του αναλύτη σχηματίζει γωνία περίπου  $90^\circ$  με τον οπτικό άξονα του δείγματος. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

Υλικά στα οποία η ταχύτητα διάδοσης του φωτός εξαρτάται από τη διεύθυνση διάδοσης ονομάζονται οπτικά ανισότροπα και είναι διπλοθλαστικά. Αντίθετα, αν σε ένα υλικό η ταχύτητα του φωτός είναι η ίδια ανεξαρτήτως διεύθυνσης το υλικό ανήκει στα οπτικώς ισότροπα υλικά (όπως το γυαλί).

### Φωτοελαστικότητα

Τα ισότροπα στερεά υλικά (κρυσταλλικά ή άμορφα) γίνονται διπλοθλαστικά, όταν υποβάλλονται σε μηχανική καταπόνηση. Το φαινόμενο είναι γνωστό σαν φωτοελαστικότητα. Η φωτοελαστικότητα χρησιμοποιείται ως μια κλασική οπτική μέθοδος για στατική ανάλυση των τάσεων. Τα φωτοελαστικά υλικά έχουν την ιδιότητα της διπλής διάθλασης κάτω από την επιβολή τάσεων και το μέγεθος των δεικτών διάθλασης σε κάθε σημείο στο υλικό συνδέεται άμεσα με το πεδίο των τάσεων σε αυτό το σημείο.

Αν τοποθετηθεί ένα δοκίμιο από διπλοθλαστικό υλικό σε ένα πολωσιοσκόπιο<sup>2</sup> τότε τα δύο εξερχόμενα κύματα φωτός συμβάλουν. Το φαινόμενο της οπτικής συμβολής δημιουργεί ένα σχηματισμό κροσσών συμβολής ο οποίος εξαρτάται από τη σχετική καθυστέρηση των δύο κυμάτων. Η μελέτη αυτών των σχηματισμών μπορεί να δώσει πληροφορίες για το πεδίο των τάσεων στο υλικό. Να σημειωθεί ότι χωρίς την παρουσία της μηχανικής καταπόνησης και των τάσεων που αυτή προκαλεί, το πολωσιοσκόπιο (με κάθετους μεταξύ τους πολωτή και αναλυτή) θα παρουσίαζε σκοτεινό πεδίο ακόμα και με την παρουσία του υλικού ανάμεσά τους.

Σε γενικές γραμμές, μεταβολή των τάσεων σε μέτρο και διεύθυνση δημιουργεί αντίστοιχη μεταβολή της κατανομής της έντασης του φωτός στον αναλύτη και αλλαγή στα χρώματα (εκτός αν χρησιμοποιείται μονοχρωματικό φως οπότε έχουμε αλλαγή μόνο στην ένταση του φωτός). Εναλλαγή χρωμάτων σε μικρές αποστάσεις σημαίνει έντονη τοπική διπλοθλαστικότητα, κατά συνέπεια έντονη καταπόνηση στην περιοχή (Αναστασάκης, 2002, σ. 30-31). Συχνά μάλιστα, η εικόνα παρουσιάζει

εναλλαγές χωρίς καθόλου μηχανική καταπόνηση. Αυτό οφείλεται σε ελαστικές τάσεις που δημιουργήθηκαν τοπικά στο υλικό κατά τη διαδικασία της παράγωγής του και που δεν βρέθηκε τρόπος να εξαλειφθούν. Τέτοιες τάσεις παραμένουν σε ένα υλικό χωρίς την επιβολή εξωτερικών φορτίων ή θερμοκρασίας και ονομάζονται παραμένουσες, προκαλούν δε μόνιμα διπλοθλαστικότητα εξαιτίας του φαινομένου της φωτοελαστικότητας. Αν οι τάσεις είναι ίδιες σε όλη την έκταση του υλικού τότε παρατηρούμε μόνο ένα χρώμα στο πολωσιοσκόπιο.

Παραμένουσες τάσεις υπάρχουν στις περισσότερες κατασκευές σύνθετων υλικών. Οι τάσεις αυτές εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή της λειτουργίας του σύνθετου υλικού. Το μέγεθος των τάσεων αυτών εξαρτάται από την κατανομή των στρώσεων, τις ιδιότητες των σύνθετων και τη διαδικασία κατασκευής.

### **Το πώς και το γιατί του χρώματος**

Με δεδομένο ότι η τακτική και η έκτακτη ακτίνα έχουν διαφορετικές ταχύτητες άρα και διαφορετικό μήκος κύματος μέσα στο υλικό είναι προφανές ότι εξέρχονται από το υλικό με κάποια διαφορά φάσης. Η διαφορά φάσης με την οποία θα εξέλθουν οι δύο ακτίνες από το υλικό και τι είδους ελλειπτικά πολωμένο φως τελικά θα συνθέσουν εξαρτάται από το μήκος κύματος, το μήκος και τον προσανατολισμό της διαδρομής. Τα δύο πρώτα καθορίζουν τον οπτικό δρόμο και το τελευταίο την ταχύτητα διάδοσης του φωτός για κάθε μία από τις δύο ακτίνες. (Αλεξόπουλος & Μαρίνος, 1992, σ. 196-199).

Αν το φως είναι μονοχρωματικό τότε σε κάποια σημεία του υλικού οι δύο ακτίνες θα εξέρχονται με διαφορά φάσης  $\pi$  *rad* και το αποτέλεσμα θα είναι η δημιουργία σκοτεινών ζωνών. Το μήκος κύματος και το πάχος του υλικού καθορίζουν ποια σημεία έχουν αυτή την ιδιότητα. Αν χρησιμοποιηθεί λευκό φως τότε οι εξερχόμενες ακτίνες θα συμβάλλουν σχηματίζοντας διάφορες έγχρωμες ζώνες. Στην περίπτωση που το υλικό έχει μεν παραμένουσες τάσεις αλλά με ίδια κατανομή σε όλη την έκτασή του τότε το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός μόνο χρώματος το οποίο εξαρτάται από το πάχος του υλικού και την γωνία ανάμεσα στα χαρακτηριστικά επίπεδα του πολωτή και του αναλύτη. Τέτοιο υλικό είναι το σελοτέηπ.

### **Κατασκευή πειραματικής διάταξης**

Για τη μελέτη αλλά και φωτογράφιση των υλικών κατασκευάζουμε ένα απλό πολωσιοσκόπιο που χρησιμοποιεί γραμμικά πολωμένο φως. Η διάταξη που προτείνουμε μπορεί να κατασκευαστεί από ένα μεγάλο φύλλο Polaroid (διαστάσεων 30 *cm* x 45 *cm*) το οποίο κόβουμε στη μέση. Στη συνέχεια, τα δύο φύλλα τοποθετούνται σε ξύλινα πλαίσια ώστε να γίνουν απολύτως επίπεδα, να μπορούν να σταθούν σε κατακόρυφη θέση και να βελτιωθεί η εμφάνισή τους. Το ένα παίζει τον ρόλο του πολωτή και το δεύτερο του αναλύτη (Εικόνα 6). Μια εναλλακτική και λίγο πιο οικονομική λύση είναι η προμήθεια δύο φίλτρων Polaroid για οθόνες υπολογιστή.

Η καλύτερη πηγή φωτισμού είναι ένας διασκοπικός προβολέας που φωτίζει με λευκό φως ένα πέτασμα. Το διάχυτο ανακλώμενο φως πολώνεται γραμμικά στον πολωτή, εισέρχεται στο υπό μελέτη δείγμα και τέλος πολώνεται εκ νέου στον αναλύτη. Τα χαρακτηριστικά επίπεδα πολωτή και αναλύτη μπορούν να στρέφονται για κάθε δείγμα σε γωνίες  $90^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$  ή και σε ενδιάμεσες γωνίες. Όταν τα χαρακτηριστικά επίπεδα των δύο φύλλων Polaroid σχηματίζουν γωνία  $0^{\circ}$  ή  $90^{\circ}$  τότε το πεδίο ονομάζεται φωτεινό και σκοτεινό αντίστοιχα.



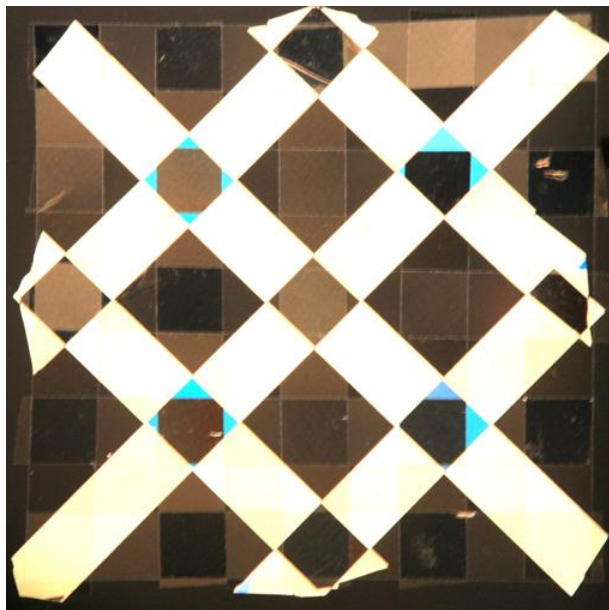
Εικόνα 6: Το πολωσιοσκόπιο. Τα δύο φύλλα Polaroid στα ξύλινα πλαίσιά τους και ένας πλαστικός χάρακας διαγώνια τοποθετημένος ανάμεσά τους. Στη συγκεκριμένη θέση τα δύο φύλλα έχουν τα χαρακτηριστικά τους επίπεδα κάθετα μεταξύ τους (πολωσιοσκόπιο σκοτεινού πεδίου). Διακρίνονται οι έγχρωμες ζώνες στον χάρακα. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

### Σελοτέηπ και χρώμα

Το γνωστό και τόσο καθημερινό σελοτέηπ βασίζεται στο υλικό σελοφάνη και παράγεται τυλίγοντας μεγάλο μήκος λεπτής μεμβράνης, που αποκολλάται κατάλληλα από άμορφη μάζα σελοφάνης, σε ένα καρούλι. Η διαδικασία δημιουργεί μια μόνιμη παραμόρφωση, ευθυγραμμίζοντας τα μακρομόρια. Το αποτέλεσμα είναι πως το σελοτέηπ είναι ένα διπλοθλαστικό υλικό και μπορεί να στρέψει το επίπεδο ταλάντωσης του πολωμένου φωτός. Βέβαια, επειδή ο οπτικός δρόμος –για δεδομένο πάχος του σελοτέηπ- δεν είναι ο ίδιος για όλα τα μήκη κύματος, παρατηρούμε στο πολωσιοσκόπιο συγκεκριμένο κάθε φορά χρώμα για συγκεκριμένη γωνία ανάμεσα σε πολωτή και αναλύτη. Τα χρώματα που βλέπουμε, όταν η γωνία των χαρακτηριστικών επιπέδων είναι  $0^{\circ}$  και  $90^{\circ}$ ,

είναι συμπληρωματικά (Todd, 1964 σ. 28). Αν τοποθετήσουμε δύο ή και παραπάνω στρώματα σελοτέπ το ένα πάνω στο άλλο τότε θα πάρουμε διαφορετικό χρώμα σε κάθε περίπτωση.

Για να μελετήσουμε τις φωτοελαστικές ιδιότητες του σελοτέπ τοποθετούμε αλληλεπικαλυπτόμενες ταινίες πάνω σε μια γυάλινη πλάκα και την παρατηρούμε στο πολωσιοσκόπιο για διάφορες γωνίες των χαρακτηριστικών επιπέδων πολωτή και αναλύτη ή εναλλακτικά στρέφουμε απλώς την πλάκα ανάμεσα στα πολωτικά φίλτρα. Στις εικόνες 7-8 φαίνεται το πολύ ενδιαφέρον - και από αισθητική άποψη - αποτέλεσμα που προέκυψε από δύο διαφορετικά σχέδια με σελοτέπ και διάφορες γωνίες ανάμεσα στα χαρακτηριστικά επίπεδα των δύο πολωτικών φίλτρων. Η εμφάνιση χρωμάτων υποδεικνύει την ύπαρξη μόνιμων τάσεων στο υλικό του σελοτέπ, τάσεων που οφείλονται στη μέθοδο παραγωγής του. Περισσότερες φωτογραφίες είναι διαθέσιμες, ως υποστηρικτικό υλικό, στο δικτυακό τόπο του περιοδικού (<http://physcool.web.auth.gr/>).



Εικόνα 7: Στρώσεις σελοτέπ σε γυάλινη πλάκα. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

Μαθητές και συνάδελφοι με πλουσιότερη φαντασία από τη δική μας σίγουρα μπορούν να δημιουργήσουν εντυπωσιακές συνθέσεις στις οποίες θα συνυπάρχει η ομορφιά με την επιστημονική γνώση. Σε έναν εξαιρετικό βαθμό κάτι τέτοιο έχει πραγματοποιηθεί από την καλλιτέχνη Anna Mlasowsky (Mlasowsky, 2010).





Εικόνα 8: Στρώσεις σελοτέηπ σε γυάλινη πλάκα. (Φωτογραφία του συγγραφέα)

### **Παραπομπές**

1. Τα πολωτικά φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν στη δική μας διάταξη αγοράστηκαν από το διαδικτυακό κατάστημα [www.polarization.com/polarshop](http://www.polarization.com/polarshop).
2. Το πολωσιοσκόπιο είναι μια διάταξη που αποτελείται από δύο πολωτικά φίλτρα ανάμεσα στα οποία τοποθετείται το προς μελέτη διάφανο υλικό.

### **Βιβλιογραφία**

- Todd, H.(1964): Polarization of light, Basic theory and experiments, Bausch & Lomb Incorporated
- Αλεξόπουλου, Κ. Μαρίνου, Ι.(1992): Γενική Φυσική-Οπτική, Εκδόσεις Κοκοτσάκης
- Αναστασάκης, Ε.(2002): Σύγχρονη πειραματική οπτική, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης
- Γδούτος, Ε.(1987): Η φωτοελαστική μέθοδος ως θεωρία και πράξη, Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη
- Γεωργακάκος, Π. Σκαλωμένος, Α. Σφαρνάς, Ν. Χριστακόπουλος, Ι.(2012): Φυσική Γ' Γενικού Λυκείου Γενικής Παιδείας, Εκδόσεις ΙΤΥΕ Διόφαντος. Διαθέσιμο στο:  
<http://digitalschool.minedu.gov.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C107/483/3168,12795/>



Ο Παναγιώτης (Τάκης) Λάζος έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Φωτογραφία στο ΤΕΙ Αθήνας και έχει μεταπτυχιακό στην Ιστορία και Φιλοσοφία των Επιστημών και της Τεχνολογίας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Είναι εκπαιδευτικός στο Μαράσλειο Λύκειο. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα σχετίζονται με φαινόμενα οπτικής και τις εφαρμογές τους στη φωτογραφία, με την ιστορία των επιστημονικών οργάνων και με την πειραματική διδασκαλία της φυσικής.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

## ***Ένα ταξίδι τριών βημάτων...***

**Αντώνης Χρονάκης**

Η σχολική εκδοχή της γνώσης έχει προκύψει μέσα από ένα βαθύ μετασχηματισμό της φυσικο-επιστημονικής γνώσης και όχι απλά μόνο από την απλοποίησή της. Τελικά, μέσω της αναπλαισίωσής της προκύπτει αυτό που ονομάζουμε “διδασκτέα ύλη” (Τσατσαρώνη & Κουλαΐδης, 2001, σ. 132). Η αποτελεσματική προσέγγιση της διδασκτέας ύλης στο χώρο των Φυσικών Επιστημών έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών τις τελευταίες δεκαετίες. Όπως προκύπτει, μεταξύ άλλων, η ουσιαστική εμπλοκή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη κατάκτηση της γνώσης (Duit, 1991). Για το λόγο αυτό, η πειραματική διδασκαλία θεωρείται απαραίτητη καθώς μέσα από αυτήν η αρχική περιέργεια των μαθητών μετατρέπεται σε ενδιαφέρον και η γνώση οικοδομείται μέσω των συνεχών ελέγχων των αρχικών τους υποθέσεων (Widolo et al, 2002). Η δοκιμή, το λάθος, η επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων, οι προβλέψεις και η αισθητοποίηση αφηρημένων εννοιών τους οδηγεί στο επιστημονικό τρόπο σκέψης (Brown & Campione, 1998). Ο μαθητής ερευνά και διαπιστώνει. Δεν πιστεύει, ούτε ακολουθεί τυφλά.

Η πρόταση που ακολουθεί, υιοθετώντας την αξία της ενεργούς εμπλοκής των μαθητών στη διδασκαλία της σχολικής Χημείας, επιχειρεί την παραδειγματική αντιμετώπιση και επίλυση ενός προβλήματος μέσω τριών αλληπάλλληλων διδακτικών προσεγγίσεων. Είναι αυτό που αποκαλούμε “ταξίδι τριών βημάτων”. Αρχικά υπάρχει η θεωρητική προσέγγιση: πίνακας, κιμωλία, χαρτιά, στυλό. Στη συνέχεια, με σκοπό την ανάπτυξη πολλαπλών αναπαραστάσεων, προτείνεται η προσφυγή σε εικονικό εργαστήριο, εν προκειμένω σε αυτό του λογισμικού IrYdium<sup>1</sup>. Τέλος, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται πειραματικά στον εργαστηριακό πάγκο.

Ας σημειωθεί ότι η προτεινόμενη σειρά με την οποία επιχειρούνται τα τρία αυτά βήματα δεν είναι απόλυτη. Ενδεχομένως σε κάποιο άλλο πρόβλημα, αν όχι και στο ίδιο, θα μπορούσε να ακολουθηθούν τα τρία αυτά βήματα με διαφορετική σειρά. Θεωρούμε ότι μεγαλύτερη αξία έχει το ίδιο το “ταξίδι” προς την κατάκτηση της γνώσης.

Ως πρόβλημα επιλέχθηκε ένα ενδιαφέρον θέμα μερικής εξουδετέρωσης υδατικού διαλύματος που περιέχει μίγμα ισχυρού και ασθενούς οξέος ( $\text{HCl} - \text{CH}_3\text{COOH}$ ) από ποσότητα βάσης ( $\text{NaOH}$ ). Το πρόβλημα αυτό είναι παρόμοιο με το θέμα Δ<sub>3</sub> των Πανελλαδικών Εξετάσεων του 2013 (Χημεία Θετικής Κατεύθυνσης, 2013):

Αναμιγνύουμε 40 mL διαλύματος  $\text{HCl}$  0,1M με 60 mL διαλύματος  $\text{CH}_3\text{COOH}$  0,1M και προκύπτει διάλυμα Δ<sub>1</sub>. Στο Δ<sub>1</sub> προσθέτουμε 28 mL διαλύματος  $\text{NaOH}$  0,25M. Να υπολογίσετε το pH του διαλύματος που προκύπτει. Θεωρήστε ότι όλα τα διαλύματα είναι υδατικά,  $\theta = 25^\circ\text{C}$ ,  $K_w = 10^{-14}$ . Επίσης για το  $\text{CH}_3\text{COOH}$  δίνεται  $K_a = 1,785 \cdot 10^{-5}$  ( $\text{p}K_a = 4,76$ ).

**1<sup>ο</sup> βήμα: πίνακας, κιμωλία, χαρτιά, στυλό**

Το πρόβλημα τίθεται στους μαθητές και τους ζητάμε να συνεργαστούν σε ομάδες των 3-4 ατόμων για να προτείνουν τρόπους αντιμετώπισής του. Υπάρχουν τρεις προσεγγίσεις επίλυσης που μπορεί να προταθούν από τους μαθητές και οι οποίες, όπως είναι αναμενόμενο, καταλήγουν στα ίδια αποτελέσματα. Καλούμε έναν εκπρόσωπο κάθε ομάδας να παρουσιάσει τη λύση του στην ολομέλεια, ενώ σε περίπτωση που κάποια από αυτές δεν προταθεί επιχειρούμε να την αναδείξουμε καταθέτοντάς της προς διερεύνηση.

Με βάση τα δεδομένα του προβλήματος, αρχικά έχουμε:  $n_{\text{HCl}} = 0,004 \text{ mol}$ ,  $n_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0,006 \text{ mol}$  και  $n_{\text{NaOH}} = 0,007 \text{ mol}$ . Επίσης,  $V_{\text{ολικό}} = 40+60+28=128 \text{ mL}$ .

1<sup>η</sup> προσέγγιση επίλυσης: Εξουδετέρωση αρχικά όλης της ποσότητας του  $\text{HCl}$ . Το  $\text{NaOH}$  που περισσεύει εξουδετερώνει μέρος του  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

mol	$\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$		
Αρχικά	0,004	0,007	
Αντ./Παρ.	0,004	0,004	0,004
Τελικά	-	0,003	0,004

mol	$\text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$		
Αρχικά	0,006	0,003	
Αντ./Παρ.	0,003	0,003	0,003
Τελικά	0,003	-	0,003

Το διάλυμα είναι ρυθμιστικό επειδή περιέχει το ασθενές οξύ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  και τη συζυγή του βάση  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  που προκύπτει από τη διάσταση του άλατος  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Ισχύει δε  $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = (0,003/0,128) \text{ M}$ . Οπότε το pH θα υπολογιστεί από την εξίσωση των Henderson – Hasselbalch:

$$\text{pH} = \text{p}K_a + \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right) = \text{p}K_a + \log 1 = 4,76.$$

2<sup>η</sup> προσέγγιση επίλυσης: Εξουδετέρωση αρχικά όλης της ποσότητας του CH<sub>3</sub>COOH. Το NaOH που περισσεύει εξουδετερώνει μέρος του HCl.

mol	CH <sub>3</sub> COOH + NaOH → CH <sub>3</sub> COONa + H <sub>2</sub> O		
Αρχικά	0,006	0,007	
Αντ./Παρ.	0,006	0,006	0,006
Τελικά	-	0,001	0,006

mol	HCl + NaOH → NaCl + H <sub>2</sub> O		
Αρχικά	0,004	0,001	
Αντ./Παρ.	0,001	0,001	0,001
Τελικά	0,003	-	0,001

mol	CH <sub>3</sub> COONa + HCl → CH <sub>3</sub> COOH + NaCl			
Αρχικά	0,006	0,003		0,001
Αντ./Παρ.	0,003	0,003	0,003	0,003
Τελικά	0,003	-	0,003	0,004

Ισχύει και πάλι [CH<sub>3</sub>COOH] = [CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>] = (0,003/0,128) M. Για το ίδιο λόγο με πριν έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα οπότε το pH θα υπολογιστεί από την εξίσωση των Henderson – Hasselbalch:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log\left(\frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}\right) = \text{pK}_a + \log 1 = 4,76.$$

3<sup>η</sup> προσέγγιση επίλυσης: Εξουδετέρωση μέρους του CH<sub>3</sub>COOH και μέρους του HCl από το NaOH.

Έστω ότι αντιδρούν x mol NaOH με HCl. Τότε, αντιδρούν 0,007-x mol NaOH με CH<sub>3</sub>COOH.

mol	HCl + NaOH → NaCl + H <sub>2</sub> O		
Αρχικά	0,004	x	
Αντ./Παρ.	x	x	x
Τελικά	0,004-x		x

mol	CH <sub>3</sub> COOH + NaOH → CH <sub>3</sub> COONa + H <sub>2</sub> O		
Αρχικά	0,006	0,007-x	
Αντ./Παρ.	0,007-x	0,007-x	0,007-x
Τελικά	x-0,001	-	0,007-x

mol	$\text{CH}_3\text{COONa} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaCl}$			
Αρχικά	0,007-x	0,004-x	x-0,001	x
Αντ./Παρ.	0,004-x	0,004-x	0,004-x	0,004-x
Τελικά	0,003	-	0,003	0,004

Ισχύει  $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = (0,003/0,128) \text{ M}$ . Για άλλη μια φορά έχουμε ρυθμιστικό διάλυμα οπότε το pH θα υπολογιστεί από την εξίσωση των Henderson – Hasselbalch:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log([\text{CH}_3\text{COO}^-]/[\text{CH}_3\text{COOH}]) = \text{pK}_a = 4,76.$$

Κατά συνέπεια, για τα δεδομένα του προβλήματος που τέθηκε, η θεωρητική αντιμετώπισή του καταλήγει στο αποτέλεσμα ότι το pH του διαλύματος είναι ίσο με 4,76.

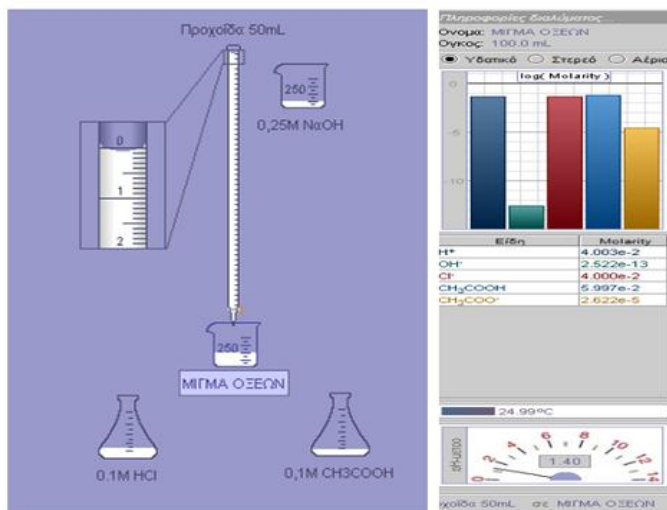
Θα δούμε στη συνέχεια πώς μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το ίδιο πρόβλημα πειραματικά με σκοπό να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Καταρχάς θα προσφύγουμε στο εικονικό εργαστήριο.

### **2<sup>ο</sup> Βήμα: Εικονικό εργαστήριο του Λογισμικού Irgidium**

Το βήμα αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί στο εργαστήριο πληροφορικής. Κάθε ομάδα μαθητών, η οποία μπορεί να έχει την ίδια σύσταση όπως και στο 1<sup>ο</sup> βήμα, έχει πρόσβαση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή στον οποίο έχουμε προεγκαταστήσει το λογισμικό Irgidium. Τίθεται το πρόβλημα με το οποίο οι μαθητές ήδη έχουν δουλέψει θεωρητικά, ζητώντας τους όμως να παρασκευάσουν στο εικονικό περιβάλλον τα διαλύματα και να μετρήσουν έτσι το pH του διαλύματος. Με σκοπό την ανάπτυξη πολλαπλών αναπαραστάσεων, τους ζητάμε να σχεδιάσουν την καμπύλη ογκομέτρησης και να συνάγουν τα ισοδύναμα σημεία. Ενδεικτικά, οι μαθητές, αφού τους επιτρέψουμε να εξοικειωθούν με το εικονικό εργαστηριακό περιβάλλον, μπορούν να ακολουθήσουν τα παρακάτω βήματα.

Από το ντουλάπι των αντιδραστηρίων του λογισμικού Irgidium, “ανοίγουμε” τα ισχυρά οξέα, επιλέγουμε διάλυμα HCl 0,1 M και το εισάγουμε στην επιφάνεια εργασίας. Από τα ασθενή οξέα, επιλέγουμε διάλυμα CH<sub>3</sub>COOH 1 M και εισάγουμε στην επιφάνεια εργασίας. Στη συνέχεια το αραιώνουμε σε συγκέντρωση 0,1 M. Από τις ισχυρές βάσεις, εισάγουμε διάλυμα NaOH 1 M και το αραιώνουμε κατάλληλα σε συγκέντρωση 0,25 M.

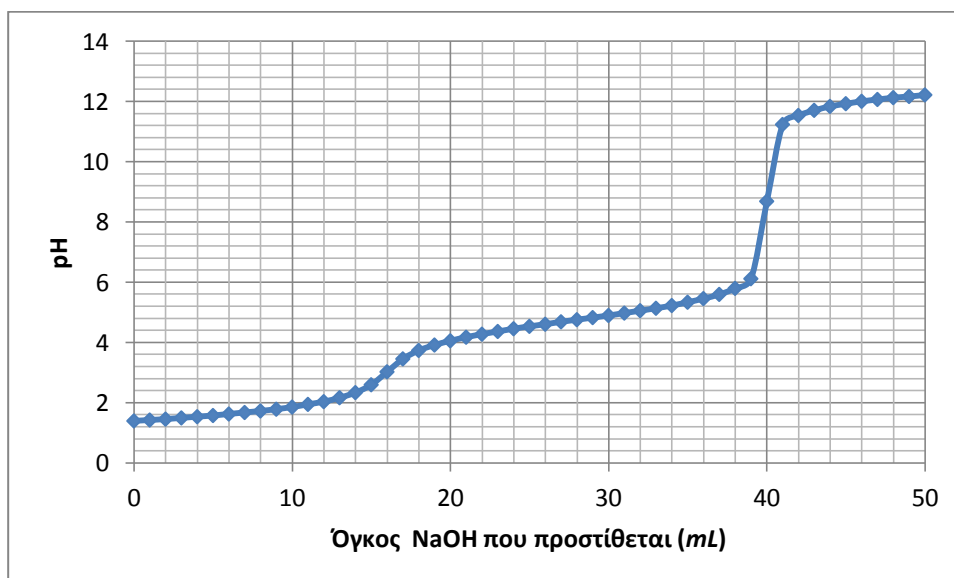
Σε ποτήρι ζέσεως των 250 mL εισάγουμε 40 mL του διαλύματος HCl 0,1 M και 60 mL του διαλύματος CH<sub>3</sub>COOH 0,1 M και το μετονομάζουμε σε “Μίγμα οξέων”. Σε προχοΐδα των 50 mL συμπληρώνουμε με το διάλυμα NaOH 0,25 M (Εικόνα 1). Προσθέτουμε 1 mL διαλύματος NaOH 0,25 M κάθε φορά στο μίγμα των δύο οξέων, μέχρι να εξαντλήσουμε τα 50 mL που έχουμε στη διάθεσή μας, και καταγράφουμε τις τιμές pH σε ένα λογιστικό φύλλο εργασίας.



Εικόνα 1. Το περιβάλλον του λογισμικού Iridium. Αριστερά αναπαριστώνται τα αρχικά διαλύματα και η “πειραματική διάταξη”. Στα δεξιά, δίνονται γραφικά οι αρχικές συγκεντρώσεις και το pH του μίγματος.

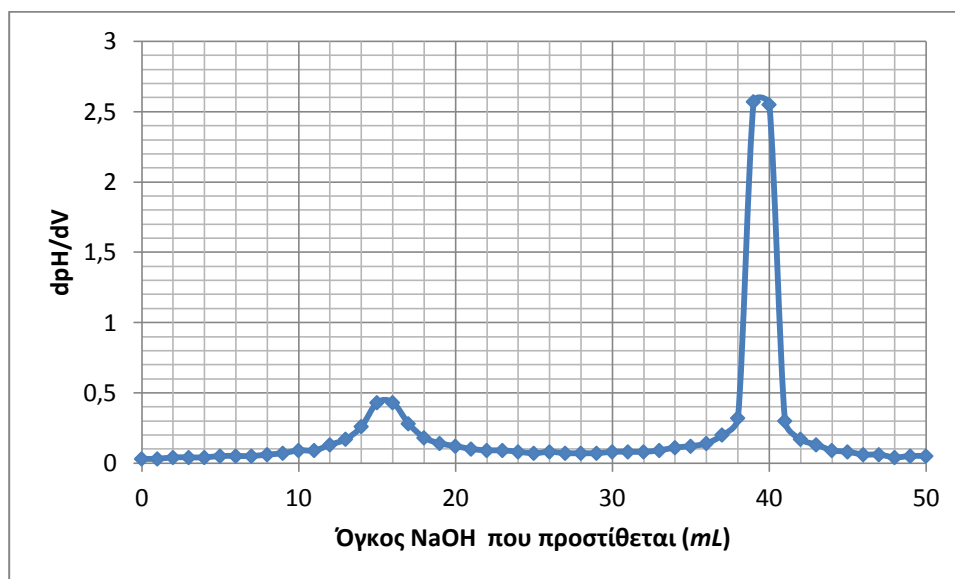
Αναμένεται ότι οι τιμές που θα προκύψουν είναι αυτές που αποτυπώνονται στον Πίνακα 1 που δίνεται στο Παράρτημα Α (διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο <http://physcool.web.auth.gr/>) . Όπως φαίνεται, μετά από προσθήκη 28 mL διαλύματος NaOH 0,25 M το διάλυμα έχει pH=4,76. Γύρω από αυτό το σημείο έχει προκύψει ρυθμιστικό διάλυμα.

Με τη βοήθεια του λογιστικού φύλλου ζητάμε από τους μαθητές να σχεδιάσουν την καμπύλη ογκομέτρησης (Διάγραμμα 1) και να εντοπίσουν τα δύο ισοδύναμα σημεία. Το πρώτο φαίνεται να προκύπτει μετά από προσθήκη 16 mL NaOH και το δεύτερο μετά από την προσθήκη ακόμη 24 mL NaOH, δηλαδή μετά από την προσθήκη συνολικά 40 mL NaOH.

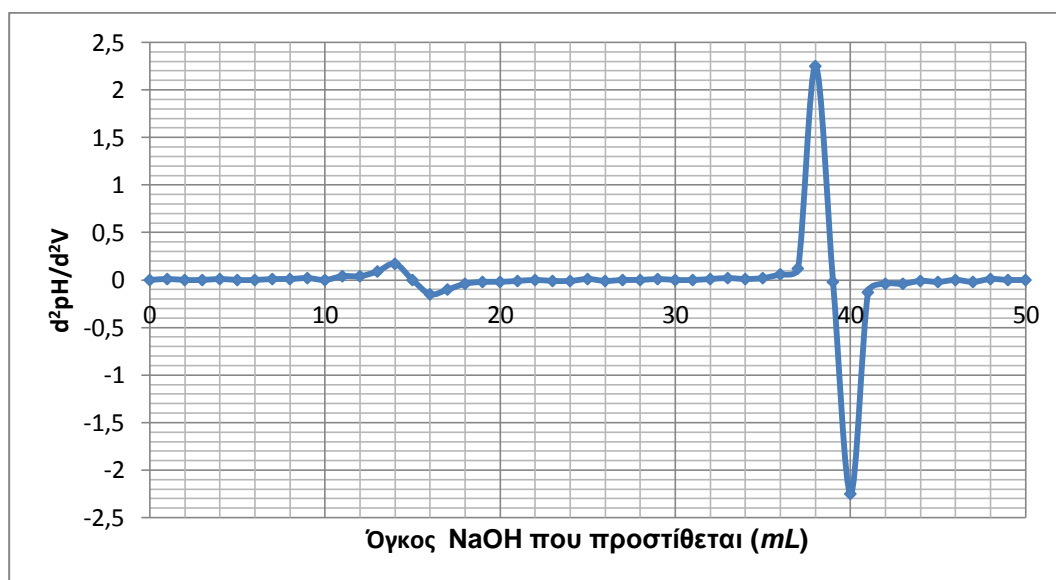


Διάγραμμα 1. Η καμπύλη ογκομέτρησης του διαλύματος.

Αν θέλουμε να καταστήσουμε ακόμη πιο εμφανή τα ισοδύναμα σημεία, και ταυτόχρονα το επίπεδο της τάξης μάς το επιτρέπει, μπορούμε να αναπαραστήσουμε γραφικά την 1<sup>η</sup> και τη 2<sup>η</sup> παράγωγο του pH ως προς τον όγκο του NaOH (Σάζου, 2011). Προκύπτουν έτσι τα Διαγράμματα 2 και 3, αντίστοιχα. Οι κορυφές που προκύπτουν εντοπίζονται στα δύο ισοδύναμα σημεία.



Διάγραμμα 2. Πρώτη παράγωγος της καμπύλης ογκομέτρησης.



Διάγραμμα 3. Δεύτερη παράγωγος της καμπύλης ογκομέτρησης.

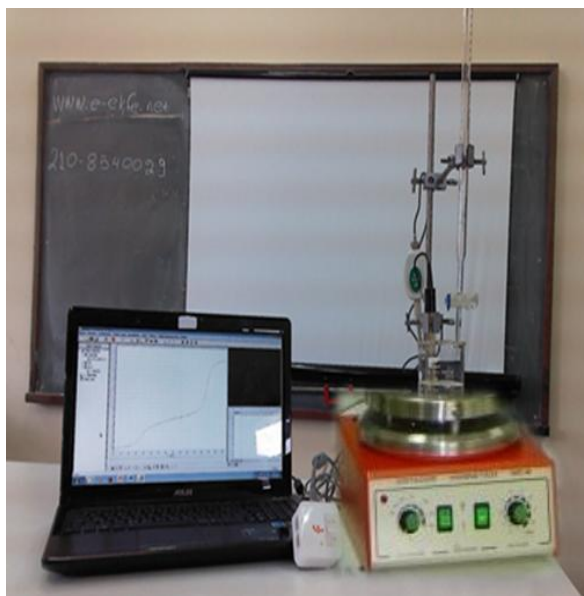
Ζητάμε από τους μαθητές να συγκρίνουν το αποτέλεσμα στο οποίο κατέληξαν με αυτό της θεωρητικής άσκησης που έλυσαν. Ποια τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα της μίας και της άλλης προσέγγισης;



### 3<sup>ο</sup> Βήμα: παραδοσιακό εργαστήριο

Το τελευταίο βήμα θα γίνει στο παραδοσιακό εργαστήριο. Το ιδανικό θα ήταν οι ομάδες να δουλέψουν η κάθε μία στο δικό της εργαστηριακό πάγκο, με τα δικά της διαλύματα και το δικό της πεχάμετρο. Μολονότι μπορεί πλέον να προμηθευτεί κανείς αξιόπιστα πεχάμετρα με κόστος μικρότερο από 10 €, μέσω διαδικτύου, θεωρούμε ότι ο πιο πιθανός τρόπος πραγματοποίησης αυτού του βήματος θα είναι με πείραμα επίδειξης. Εδώ προτείνεται η αξιοποίηση του Multilog<sup>2</sup> που εξασφαλίζει τη συγχρονική λήψη και απεικόνιση των πειραματικών δεδομένων. Είναι επιθυμητό ωστόσο να εμπλέξουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τους μαθητές σε αυτή τη διαδικασία, βάζοντάς τους να προβλέψουν την εξέλιξη των μετρήσεων δικαιολογώντας την άποψή τους, να πάρουν τις μετρήσεις, να παρασκευάσουν τα διαλύματα.

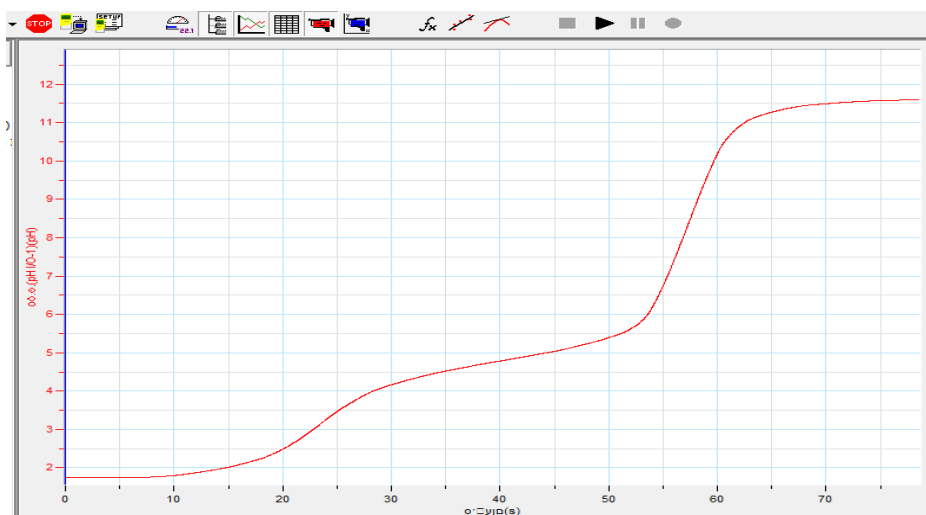
Ουσιαστικά, στο βήμα αυτό πραγματοποιούμε την ίδια διαδικασία που περιγράψαμε στο εικονικό εργαστήριο, αλλά σε πραγματικό εργαστήριο. Η διάταξη του πειράματος αποτυπώνεται στην Εικόνα 2. Για την ογκομέτρηση χρησιμοποιούμε όπως και στο εικονικό εργαστήριο πρότυπο διάλυμα NaOH 0,25 M. Με τη βοήθεια του Multilog και του αντίστοιχου αισθητήρα μέτρησης του pH καταγράφουμε το pH του μίγματος των οξέων σε συνάρτηση με το χρόνο. Προκύπτει έτσι το Διάγραμμα 4.



Εικόνα 2. Η πειραματική διάταξη (φωτογραφία του συγγραφέα)

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να εστιάσουμε την προσοχή των μαθητών μας στις διαφορές των Διαγραμμάτων 1 και 4. Μολονότι οι δύο γραφικές παραστάσεις έχουν την ίδια μορφή, στο Διάγραμμα 1 ο οριζόντιος άξονας αναπαριστά τον όγκο του NaOH που προστίθεται στο αρχικό διάλυμα, ενώ στο Διάγραμμα 4 ο ίδιος άξονας αναπαριστά το χρόνο. Η ασυνέπεια αυτή προκύπτει από τον τρόπο λειτουργίας του Multilog: ο αισθητήρας καταγράφει τις τιμές του pH του διαλύματος σε συνάρτηση με το χρόνο και όχι σε συνάρτηση με τον όγκο του NaOH που προστίθεται. Άρα για να συγκριθούν τα

δύο διαγράμματα πρέπει να γίνει αναγωγή του χρόνου σε όγκο του προστιθέμενου NaOH. Πώς μπορεί να εξασφαλιστεί αυτό; Με την προσθήκη σταθερού όγκου NaOH ανά δευτερόλεπτο στο αρχικό διάλυμα.



Διάγραμμα 4. Γραφική παράσταση pH-t όπως προκύπτει από το λογισμικό MultiLab που συνοδεύει το Multilog. Στον οριζόντιο άξονα αναπαριστάται ο χρόνος (s) και στον κατακόρυφο το pH του διαλύματος.

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 4 στο πείραμα που πραγματοποιήσαμε προστέθηκαν συνολικά 50 mL διαλύματος NaOH στο αρχικό διάλυμα σε χρόνο 75 s. Αντίστοιχα, το pH του διαλύματος παίρνει την τιμή 4,91 περίπου τη στιγμή  $t=42$  s τότε που, σύμφωνα με το ρυθμό εισαγωγής NaOH, έχουμε προσθέσει 28 mL από αυτό στο αρχικό διάλυμα ή ισοδύναμα  $7 \cdot 10^{-3}$  mol. Σε αυτή την περιοχή τιμών φαίνεται ότι έχει προκύψει ρυθμιστικό διάλυμα, σε ικανοποιητική συμφωνία τόσο με τη θεωρητική αντιμετώπιση (βήμα 1) όσο και με το εικονικό εργαστήριο (βήμα 2).

Στο σημείο αυτό, η έστω και μικρή διαφοροποίηση των τιμών του pH που προκύπτει, μπορεί να αποτελέσει αφορμή για να συζητήσουμε με τους μαθητές τις αβεβαιότητες και τα σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις. Αφού επιχειρήσετε να εκμαιεύσετε τις απόψεις τους μπορείτε να επιχειρηματολογήσετε αξιοποιώντας, μεταξύ άλλων, τους παρακάτω πιθανούς λόγους:

- Τα αντιδραστήρια δεν έχουν 100% καθαρότητα.
- Κατά τη διάρκεια παρασκευής των διαλυμάτων προκύπτουν σφάλματα που οφείλονται είτε στον παρασκευαστή είτε στη μικρή ακρίβεια των οργάνων ζύγισης ή/και μέτρησης.
- Το ηλεκτρονικό όργανο (πεχάμετρο) μπορεί να μην είναι βαθμονομημένο σωστά.
- Υπάρχουν διάφορα φαινόμενα που προκαλούν “θόρυβο” κατά τη διάρκεια της καταγραφής.

Ολοκληρώνοντας το ταξίδι των τριών βημάτων ζητάμε από τους μαθητές να αποτιμήσουν τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν και να εκτιμήσουν, απαριθμώντας τα, όσα οφέλη νομίζουν ότι έχουν αποκομίσει από τα βήματα αυτά.

### Συμπεράσματα

Μολονότι το εργαστηριακό μέρος θεωρείται αναπόσπαστο και δομικό στοιχείο της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών (Arons, 1991), η εμπειρία δείχνει ότι δεν είναι πολλές οι περιπτώσεις που αυτό υιοθετείται κατά τη διδασκαλία της Χημείας στην Γ' τάξη του Λυκείου. Η πίεση για επίλυση περισσότερων ασκήσεων για τις Πανελλήνιες εξετάσεις, αποτελεί τη συνηθισμένη δικαιολογία που οι περισσότεροι διδάσκοντες μένουν συνήθως στη θεωρητική μόνο παρουσίαση ασκήσεων που εύκολα θα μπορούσαν να διδαχθούν και εργαστηριακά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα θεωρούμε ότι αποτελεί το συγκεκριμένο πείραμα ογκομέτρησης που παρουσιάστηκε εδώ και συνδέεται με ένα «δύσκολο» θέμα εξετάσεων που συζητήθηκε αρκετά το καλοκαίρι του 2013.

Αν και η πίεση χρόνου πραγματικά μπορεί να βάζει εμπόδια στην εκτενή μεθόδευση και των τριών βημάτων που παρουσιάστηκαν εδώ, ειδικά στη Γ' Λυκείου, θεωρούμε ότι η προτεινόμενη διαδικασία, όχι κατ' ανάγκη με τη συγκεκριμένη σειρά, μπορεί να προσφέρει πολλά διδακτικά οφέλη στους μαθητές. Το κυριότερο, μπορεί να τους φέρει πιο κοντά στη Χημεία αλλάζοντας τη στάση τους απέναντί της. Αν μη τι άλλο είναι μία ευκαιρία να προσπαθήσουμε να ελευθερώσουμε τη σκέψη των μαθητών από το κλουβί των ιδανικών συνθηκών και να τους ωθήσουμε να πραγματοποιήσουν μια βουτιά στην πραγματικότητα.

### Παραπομπές

1. Το λογισμικό IrYdium είναι ελεύθερης διανομής και μπορείτε να το κατεβάσετε, και στα ελληνικά, από τον παρακάτω σύνδεσμο:

<http://chemcollective.org/assets/modules/activities/vlab/download/vlab.1.6.4.int.zip>

Βασικές οδηγίες χρήσης του λογισμικού μπορείτε να βρείτε στον παρακάτω σύνδεσμο:

<http://1epal-argyroupolis.eu/index.php/component/attachments/download/108>

2. Οδηγίες χρήσης για το Multilog καθώς και προτεινόμενες εργαστηριακές ασκήσεις που μπορείτε να υποστηρίξετε με τη χρήση του, μπορείτε να βρείτε στους δικτυακούς τόπους των περισσότερων Ε.Κ.Φ.Ε. Ενδεικτικά, μπορείτε να βρείτε στον παρακάτω σύνδεσμο:

<http://www.e-ekfe.net/doku.php?id=wikiwiki:multilog:multilab>

### Βιβλιογραφία

Arons, A. (1991). *Οδηγός διδασκαλίας της Φυσικής*. Αθήνα: Εκδόσεις Τροχαλία,

Brown, A. & Campione, J. C. (1994). *Guided discovery in a community of learners*. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice*. pp. 229-270. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.

Widolo, A., Duit, R. & Muller, C. (2002). Constructivist views of teaching and learning in practice: teachers' views and classroom behavior, *Paper presented at the Annual meeting of the national Association for Research in Science Teaching*, New Orleans.

Σάζου, Δ. (2011). *Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτροχημείας*. Τμήμα Χημείας Α.Π.Θ.

Τσατσαρώνη, Α. & Κουλαΐδης, Β. (2001). *Τα χαρακτηριστικά των σχολικών εγχειριδίων και του παιδαγωγικού κειμένου* Στο: Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, Τόμος Β', (σελ. 267 – 288) ΕΑΠ, Πάτρα.

Χημεία θετικής Κατεύθυνσης, 2013. Διαθέσιμο στο:

[http://www.minedu.gov.gr/publications/docs2013/them\\_xhm\\_kat\\_c\\_hmer\\_no\\_1305.pdf](http://www.minedu.gov.gr/publications/docs2013/them_xhm_kat_c_hmer_no_1305.pdf)



Ο Αντώνης Ε. Χρονάκης γεννήθηκε στην Πετρούπολη και σπούδασε Χημεία στο Ηράκλειο Κρήτης. Παρακολουθεί το Μ.Π.Σ « Σπουδές στην Εκπαίδευση» του Ε.Α.Π. Υπηρετεί στη Δημόσια Εκπαίδευση ως συνεργάτης στο Ε.Κ.Φ.Ε. των Αγ. Αναργύρων.

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.

### **Η ανώμαλη διαστολή του νερού με χρήση ψυχρού λουτρού**

**Βασίλης Γαργανουράκης**

Κάθε χρόνο, ο διαγωνισμός EUSO<sup>1</sup> είναι μια ευκαιρία για σκέψη, έρευνα και πειραματισμό για τους εκπαιδευτικούς που επιλέγουν τα θέματα και για τους μαθητές που συμμετέχουν. Για τον προκριματικό διαγωνισμό νομού Ηρακλείου EUSO 2013 (διεξήχθη στις 8 Δεκεμβρίου 2012), ο συγγραφέας συνεργάστηκε με τον εκπαιδευτικό του Πειραματικού Γυμνασίου Ηρακλείου, Γιάννη Καραδάμογλου στην επιλογή των θεμάτων, την προετοιμασία και την επίβλεψη των ομάδων κατά τη διεξαγωγή του διαγωνισμού. Η ανώμαλη διαστολή του νερού είναι από τις πιο σημαντικές ιδιότητες στη φύση καθώς βοηθά στη διατήρηση της υδρόβιας ζωής σε περιβάλλοντα με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Πρόσφατα το πείραμα της ανώμαλης διαστολής του νερού ήρθε στο προσκήνιο αφού περιλαμβάνεται στην ύλη του νέου μαθήματος Φυσικής της Α' Γυμνασίου.

Το σχολικό βιβλίο (Καλκάνης, κ.α., 2013), στο 7ο φύλλο εργασίας για την ανώμαλη διαστολή του νερού, αναφέρει ότι κατά την ψύξη ενός δοχείου με νερό αρχικής θερμοκρασίας 10 °C, στο οποίο υπάρχει προσαρμοσμένο λεπτό σωληνάκι, θα παρατηρήσουμε ότι η στάθμη στο σωληνάκι κατεβαίνει λόγω της συστολής του νερού, όσο πλησιάζουμε στους 4 °C. Για τη διεξαγωγή του πειράματος μέσα στην τάξη, προτείνει μία παραλλαγή της διάταξης Hope (Hope, 1805; Εικόνα 1) όπου μετρώντας τις θερμοκρασίες σε διαφορετικά βάθη ενός σωλήνα που περιέχει νερό με πάγο εξάγεται το συμπέρασμα ότι η μέγιστη πυκνότητα του νερού είναι στους 4 °C.

Πιο πρόσφατες διατάξεις, αντί για θερμόμετρα χρησιμοποιούν συστήματα καταγραφής (data loggers) για συνεχή μέτρηση και καταχώρηση της θερμοκρασίας σε υπολογιστή. Κάποιες από αυτές ακολουθούν τη διάταξη Hope (Soletta & Branca, 2005) ενώ κάποιες άλλες χρησιμοποιούν νερό αρχικής θερμοκρασίας μεταξύ 0,5 °C και 1 °C και σε περιβάλλον δωματίου μετρούν την αύξηση της θερμοκρασίας σε διαφορετικά βάθη (Branco & Soletta, 2005). Τέλος, μία διάταξη χρησιμοποιεί ψυχρό λουτρό για να ψύξει μία κλειστή φιάλη με νερό και εκτός από τις αλλαγές θερμοκρασίας παρατηρεί

και τα εσωτερικά ρεύματα που δημιουργούνται λόγω ψύξης (Velasco et al., 2009). Να σημειωθεί ότι σε όλες τις παραπάνω διατάξεις, η μεταβολή στον όγκο του νερού δεν είναι μετρήσιμη, καθώς γίνονται μετρήσεις μόνο θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο. Στην εργασία αυτή, για τη διεξαγωγή του πειράματος της ανώμαλης διαστολής του νερού, προτείνεται μία διάταξη ενός δοχείου με προσαρμοσμένο λεπτό σωληνάκι και θερμόμετρο, και χρήση ψυχρού λουτρού για την ψύξη του βασισμένο σε μία ιδέα του εκπαιδευτικού του Γυμνασίου Ιαλυσού Ρόδου Βασίλη Βελεχέρη.



Εικόνα 5: Διάταξη Hope (πηγή <http://scilabsolutions.com>)

### **Τι είναι το Ψυχρό Λουτρό**

Ένα ψυχρό λουτρό (Εικόνα 2), στην εργαστηριακή χημεία, είναι ένα υγρό μίγμα το οποίο χρησιμοποιείται για τη διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών ή τη δημιουργία κρυστάλλων (Jensen & Lee, 2000). Ένα ψυχρό λουτρό γενικά αποτελείται από (Cooling Bath, 2013):

1. έναν «παράγοντα ψύξης»: κάποια ουσία σε χαμηλή θερμοκρασία (π.χ. ξηρός πάγος, παγωμένο νερό, υγρό άζωτο).
2. μία «πρόσθετη ουσία»: για την ταπείνωση του σημείο πήξης του παράγοντα ψύξης (π.χ. αλάτι)
3. ένα υγρό «μεταφορέα»: εάν το μίγμα του παράγοντα ψύξης και της πρόσθετης ουσίας δεν είναι σε ρευστή μορφή, το υγρό μεταφορέας ενισχύει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του λουτρού και του δοχείου πειράματος (π.χ. υγρό νερό, αιθυλενογλυκόλη, ακετόνη).
4. ένα θερμικά μονωμένο και κατάλληλα διαμορφωμένο δοχείο για την υποδοχή του παραπάνω υγρού μίγματος.



Εικόνα 6: Ψυχρό λουτρό ξηρού πάγου-ακετόνης στους  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$  (πηγή Wikipedia)

Οι συνδυασμοί των ουσιών για την κατασκευή του υγρού μίγματος, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: πάγος νερού με άλατα, ξηρός πάγος με οργανικούς διαλύτες και υγρό άζωτο με οργανικούς διαλύτες και ο αριθμός τους ξεπερνάει τους 60 με εύρος θερμοκρασιών που μπορούν να επιτευχθούν από  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Gordon et al., 1972). Πολλοί από τους παραπάνω συνδυασμούς δεν είναι πρακτικοί λόγω της δυσκολίας ανεύρεσης (Jensen & Lee, 2000) και τοξικότητας (Sax et al., 1975) των ουσιών.

Για το σχολικό εργαστήριο, ενδιαφέρον έχουν οι συνδυασμοί υγρού μίγματος με πάγο νερού και άλατα και κυρίως αυτός με το NaCl όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μαγειρικό αλάτι (Soletta & Branca, 2005). Η θερμοκρασία που φτάνει ένα μίγμα λεπτοτριμμένου πάγου νερού με NaCl αναλογία 3 προς 1 μπορεί να φτάσει τους  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (List of Cooling Baths, 2012). Το παραπάνω μίγμα χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στη διαδικασία παρασκευής παγωτού (Lowe, 1937).

Εάν δεν χρησιμοποιήσουμε κάποιο υγρό «μεταφορέα», η μεταφορά θερμότητας μεταξύ δοχείου πειράματος και υγρού μίγματος δεν θα είναι βέλτιστη (αφού το μίγμα πάγου νερού και NaCl είναι στερεό) ενώ εάν χρησιμοποιήσουμε ως υγρό «μεταφορέα» υγρό νερό (η θερμοκρασία του θα είναι μεγαλύτερη από  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), η θερμοκρασία του μίγματος θα ανέβει γρήγορα. Μία άλλη επιλογή είναι να χρησιμοποιήσουμε αιθυλενογλυκόλη, όπου το διάλυμα της με νερό χρησιμοποιείται ως αντιψυκτικό και σε περιεκτικότητα 60% κ.β. έχει σημείο πήξης τους  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Rebsdats & Mayer, 2000). Όμως, είναι ιδιαίτερα βλαβερή για τα κατοικίδια και τα παιδιά και δεν είναι ασυνήθιστες οι περιπτώσεις δηλητηρίασης (Hollis et al., 2002). Το υγρό «μεταφορέα» που προτείνεται σε αυτή την εργασία είναι η αιθανόλη με τη μορφή του φωτιστικού οινοπνεύματος. Είναι ασφαλές και προσιτό και ένα μίγμα αιθανόλης 30% κ.β. με νερό έχει σημείο πήξης που φτάνει τους  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Flick, 1998).

Τέλος, για θερμικά μονωμένο δοχείο για το διάλυμα του ψυχρού λουτρού μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάποιο δοχείο Dewar (Vacuum Flask, 2014) ή κάποιος είδος συσκευασίας από φελιζόλ.

### **Το πείραμα της ανώμαλης διαστολής του νερού**

Παρακάτω περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή της διάταξης για το πείραμα της ανώμαλης διαστολής του νερού.

#### *Διάταξη δοχείου πειράματος*

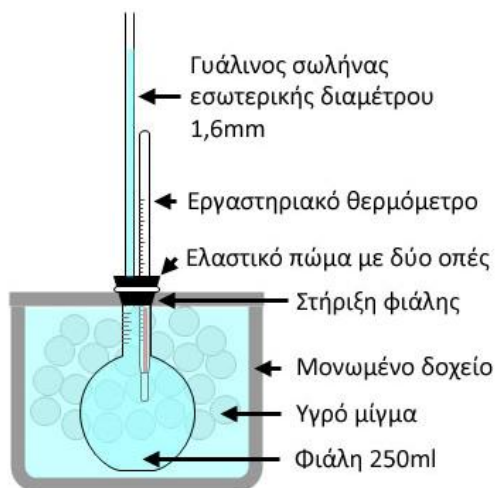
Το αρχικό ερώτημα σχετικά με τη διάταξη του δοχείου πειράματος, είναι το μέγεθος της σφαιρικής φιάλης και η εσωτερική διάμετρος του γυάλινου σωλήνα ώστε η μεταβολή στη στάθμη του νερού μέσα στο γυάλινο σωλήνα να είναι μετρήσιμη από τους μαθητές. Εάν η φιάλη είναι αρκετά μεγάλη, ο χρόνος πτώσης της θερμοκρασίας του αποσταγμένου νερού θα είναι μεγάλος και η διάρκεια του πειράματος θα ξεπεράσει τα διαθέσιμα χρονικά όρια. Εάν η φιάλη είναι μικρή, ο συνολικός όγκος νερού δεν θα είναι αρκετός για μετρήσιμες μεταβολές στον όγκο λόγω της πτώσης θερμοκρασίας.

## Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκοπίσματα

Κάνοντας δοκιμές παρατηρήσαμε ότι φιάλη των 250 ml συμβιβάζει αρκετά καλά τις παραπάνω απαιτήσεις με χρόνο μεταβολής της θερμοκρασίας από 20 °C στους -4 °C σε 15 λεπτά περίπου.

Με δεδομένο τον όγκο της φιάλης, δοκιμάστηκαν εμπορικά διαθέσιμοι σωλήνες με διαφορετικές εσωτερικές διαμέτρους. Αυτός με εσωτερική διάμετρο 1,6 mm έδωσε τις καλύτερες μετρήσιμες μεταβολές στη στάθμη του νερού στο σωλήνα.

### Κατασκευή Ψυχρού Λουτρού



Εικόνα 7: Διάταξη του πειράματος, σχηματική (στα αριστερά) και πραγματική (στα δεξιά). (φωτογραφία του συγγραφέα)

Προετοιμασία: Κατά την κατασκευή του ψυχρού λουτρού, αρχικά πρέπει να εκτιμηθούν οι διαστάσεις του μονωμένου δοχείου και αυτό θα γίνει σε σχέση με το μέγεθος του δοχείου πειράματος. Εάν για παράδειγμα το πείραμα απαιτεί μικρότερα δοχεία, π.χ. σωλήνα εργαστηρίου, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μονωμένο δοχείο μικρότερων διαστάσεων. Ένας πρακτικός κανόνας είναι το δοχείο μας να έχει εσωτερικές διαστάσεις περίπου διπλάσιες από το δοχείο πειράματος που θα χρησιμοποιήσουμε (όχι μικρότερες για να υπάρχει αρκετό μίγμα ψύξης και όχι μεγαλύτερες για να μη χρειαστούμε μεγάλες ποσότητες ουσιών για το μίγμα ψύξης).

Αφού οριστικοποιηθούν οι διαστάσεις του μονωμένου δοχείου, γίνεται έρευνα στο εμπόριο για κατάλληλο κλειστό (με καπάκι) δοχείο. Το πιο απλό υλικό είναι το φελιζόλ και τα καταστήματα ειδών συσκευασίας και τα ζαχαροπλαστεία είναι οι καλύτεροι υποψήφιοι. Εάν τυχόν το μονωμένο δοχείο χρειάζεται μετατροπές ώστε να ταιριάζει στο πείραμα, είναι εφικτό να γίνει με χρήση κατάλληλης κόλλας.

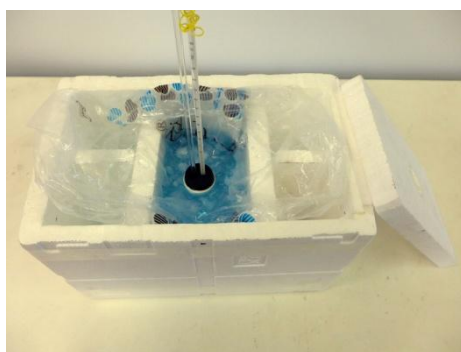
Μία μέρα πριν το πείραμα: Βάζουμε τις υγρές ουσίες του διαλύματος ψυχρού λουτρού (νερό και φωτιστικό οινόπνευμα) για αρκετό χρόνο στην κατάψυξη ώστε η θερμοκρασία τους να εξισωθεί με αυτή της κατάψυξης. Όσο χαμηλότερη θερμοκρασία μπορεί να πετύχει ο καταψύκτης τόσο το καλύτερο. Κάνουμε κάποια δοκιμή για να εξετάσουμε τη στεγανότητα του μονωμένου δοχείου μας.



## Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκορπίσματα

Εάν παρατηρήσουμε ότι υπάρχουν κάποιες διαρροές, π.χ. στα σημεία κόλλησης εάν υπάρχουν, μπορούμε να το επενδύσουμε εσωτερικά με νάilon σακούλα.

Πριν την εκτέλεση του πειράματος: Τρίβουμε ή θρυμματίζουμε πάγο ώστε να καλυφθεί περίπου το 80% του εσωτερικού χώρου του δοχείου. Μετά ρίχνουμε αλάτι στον πάγο σε αναλογία περίπου 1 προς 3 και ανακατεύουμε. Στη συνέχεια, ρίχνουμε τόσο φωτιστικό οινόπνευμα ώστε να καλυφθεί όλος ο πάγος. Τοποθετούμε μέσα στο δοχείο τη φιάλη των 250 ml και ελέγχουμε τη στάθμη του μίγματος. Εάν μέρος της φιάλης παραμένει ακάλυπτη, προσθέτουμε επιπλέον πάγο και φωτιστικό οινόπνευμα έως ότου καλυφθεί ολόκληρη (Εικόνα 4α). Τέλος, κλείνουμε το καπάκι του δοχείου για να περιορίσουμε την ανταλλαγή θερμότητας με τον περιβάλλοντα χώρο (Εικόνα 4β).



Εικόνα 4α. Το εσωτερικό της διάταξης, 4β. Η ολοκληρωμένη διάταξη (φωτογραφίες του συγγραφέα).

Σύμφωνα με τις δοκιμές που έγιναν, η παραπάνω διάταξη μπορεί να διατηρήσει σταθερή θερμοκρασία  $-15^{\circ}\text{C}$  για περίπου 2 ώρες και η διάρκεια αυτή μπορεί να παραταθεί με προσθήκη πάγου σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης η θερμοκρασία που μπορεί να επιτευχθεί, εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από την αρχική θερμοκρασία του πάγου και του φωτιστικού οινόπνευματος. Πολλοί νομίζουν ότι όλοι οι πάγοι νερού έχουν την ίδια θερμοκρασία αλλά αυτό δεν είναι σωστό. Π.χ. ο πάγος από ένα μικρό οικιακό καταψύκτη έχει θερμοκρασία περίπου  $-13^{\circ}\text{C}$  ενώ ο πάγος από ένα μεγάλο επαγγελματικό ψυγείο μπορεί να φτάσει και τους  $-40^{\circ}\text{C}$ . Έτσι ανάλογα με την εφαρμογή, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε πάγο κατάλληλης αρχικής θερμοκρασίας και ίδιας θερμοκρασίας φωτιστικό οινόπνευμα.

### **Συμπεράσματα**

Το ψυχρό λουτρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορα πειράματα. Παραπάνω περιγράφηκε η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα της ανώμαλης διαστολής του νερού κατά τον τοπικό διαγωνισμό EUSO 2013 για το νομό Ηρακλείου<sup>2</sup>. Η εμπειρία από τη χρήση της διάταξης χαρακτηρίζεται ως πολύ καλή, καθώς κατά το διαγωνισμό, δύο τέτοιες διατάξεις χρησιμοποιήθηκαν

από έξι ομάδες μαθητών για τρεις συνεχόμενες ώρες και μόνο μία ομάδα χρειάστηκε να επαναλάβει το πείραμα.

Επίσης η χρήση του συγκεκριμένου ψυχρού λουτρού, κάνει εφικτή την πραγματοποίηση με ασφάλεια μέσα στο σχολικό εργαστήριο, μιας ομάδας πειραμάτων που απαιτεί χαμηλές θερμοκρασίες π.χ. ταπείνωση σημείου πήξης διαλυμάτων. Τα προτερήματα τις συγκεκριμένης διάταξης έναντι άλλων είναι η επαναληψιμότητα, η χρήση απλών υλικών και η δυνατότητα πραγματοποίησης των πειραμάτων σε χρόνο μίας διδακτικής ώρας.

### Παραπομπές

1. Περισσότερα για τους διαγωνισμούς EUSO μπορείτε να βρείτε στο δικτυακό τόπο της ΠΑΝΕΚΦΕ: <http://www.ekfe.gr/portal/>
2. Ενδεικτικά, η διαδικασία του πειράματος που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται αναλυτικά στο φύλλο εργασίας που είναι διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο του περιοδικού (<http://physcool.web.auth.gr/>).

### Βιβλιογραφία

Cooling Bath (2013). Wikipedia, the Free Encyclopedia. Διαθέσιμο στο:

[http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cooling\\_bath&oldid=584348664](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Cooling_bath&oldid=584348664). Ανακτήθηκε 5 Ιανουαρίου 2014.

Flick, E. W. (1998). Industrial Solvents Handbook. Westwood, N.J.: Noyes Data Corp.

Gordon, A., Ford, J., Richard, A. (1972). The Chemist's Companion: A Handbook of Practical Data, Techniques, and References. Διαθέσιμο στο: <http://www.bcin.ca/Interface/openbcin.cgi?submit=submit&Chinkey=118917>. Ανακτήθηκε 6 Ιανουαρίου 2014.

Hollis, J. M., Lovas, F. J., Jewell, P. R., Coudert, L. H. (2002). Interstellar Antifreeze: Ethylene Glycol. The Astrophysical Journal Letters 571(1): L59.

Hope, T. C. (1805). Experiments and Observations upon the Contraction of Water by Heat at Low Temperatures. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh 5(02): 379–405.

Jensen, C. M., Do W. Lee (2000). Dry-Ice Bath Based on Ethylene Glycol Mixtures. Journal of Chemical Education 77(5): 629.

List of Cooling Baths (2012). Διαθέσιμο στο [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_cooling\\_baths](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cooling_baths). Ανακτήθηκε 6 Ιανουαρίου 2014.

Lowe, B. (1937). Experimental Cookery From the Chemical and Physical Standpoint : Third Edition. 3rd edition. London, Chapman & Hall Ltd.

Rebsdatt, S., Mayer, D. (2000). Ethylene Glycol. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Διαθέσιμο στο: [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a10\\_101/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a10_101/abstract). Ανακτήθηκε 6 Ιανουαρίου 2014.

Sax, N., Irving, B., Robert, D. (1975). Dangerous Properties of Industrial Materials. 1258.

Soletta, I., Branco, M. (2005). Thermal Expansion: Using Calculator-Based Laboratory Technology to Observe the Anomalous Behavior of Water. Journal of Chemical Education 82(4): 0.

Soletta, I., Branca, M. (2005). The Frozen Lake: A Physical Model Using Calculator-Based Laboratory Technology. *The Physics Teacher* 43(4): 214–217.

Vacuum Flask (2014). Wikipedia, the Free Encyclopedia. Διαθέσιμο στο: [http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vacuum\\_flask&oldid=589215144](http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vacuum_flask&oldid=589215144). Ανακτήθηκε 6 Ιανουαρίου 2014.

Velasco, S., White, J. A., Román F. L. (2009). Cooling of Water in a Flask: Convection Currents in a Fluid with a Density Maximum. *The Physics Teacher* 48(1): 60–62.

Καλκάνης Γ., Γκικοπούλου Ο., Καπότης Ε., Γουσόπουλος Δ., Πατρινόπουλος Μ., Τσάκωνας Π., Δημητριάδης Π., Παπατσιμπίνα Α., Μιτζήθρας Κ., Καπόγιαννης Α., Σωτηρόπουλος Δ., Πολίτης Σ., και τα μέλη των συγγραφικών ομάδων των βιβλίων "Φυσικά - Ερευνώ και Ανακαλύπτω" της Ε' και Στ' τάξης του δημοτικού σχολείου. (2013). *Η Φυσική με Πειράματα, Α Γυμνασίου, ΙΤΥΕ – ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ*.



Ο Βασίλης Γαργανουράκης ζει στο Ηράκλειο Κρήτης και εργάζεται στη Δημόσια Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Από το 2011 είναι Υπεύθυνος στο 2ο Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών Ηρακλείου. Τα ενδιαφέροντα του εντοπίζονται κυρίως στην εργαστηριακή διδασκαλία των φυσικών επιστημών και τη χρήση νέων τεχνολογιών στην εκπαίδευση. Αποτυπώνει τις σκέψεις και τις ανακαλύψεις του στο προσωπικό του blog στη διεύθυνση <http://vgargan.gr>.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

### **Παρουσιάζοντας το μηχανισμό της αναπνοής στη Στ' τάξη του δημοτικού σχολείου**

#### **Αναστάσιος Σιάτρας**

Πώς θα μπορούσαμε να βοηθήσουμε τους μικρούς μαθητές του δημοτικού σχολείου να αντιληφθούν το μηχανισμό της ανθρώπινης αναπνοής; Απάντηση σε αυτό το ερώτημα δίνει η παρακάτω πειραματική διάταξη η οποία κατασκευάζεται γρήγορα και εύκολα, σε πολλαπλότητες, μέσα στην τάξη, με απλά υλικά: ένα μοντέλο μέρους της θωρακικής κοιλότητας που φιλοξενεί έναν πνεύμονα. Για να είναι εξοικειωμένοι οι μαθητές με τα όργανα του ανθρώπινου σώματος που εμπλέκονται στη συγκεκριμένη διαδικασία, προτείνεται η εργαστηριακή αυτή δραστηριότητα να πραγματοποιηθεί μετά τη συμπλήρωση του σκίτσου 1 που βρίσκεται στη σελίδα 108 του Τετραδίου Εργασιών Φυσικά Στ' Δημοτικού «Ερευνώ και Ανακαλύπτω» (βλ. σ. 106-112).

#### **Μέσα και υλικά**

Για κάθε μία διάταξη θα χρειαστείτε τα εξής υλικά:

- ένα μεγάλο πλαστικό μπουκάλι νερού με το καπάκι του,
- ένα καλαμάκι,
- ένα μικρό μπαλόνι,
- ένα γάντι latex μιας χρήσης ή ένα πλαστικό σακουλάκι τροφίμων,
- ένα λαστιχάκι,
- λίγη πλαστελίνη.

Για να διαχειριστείτε τα υλικά θα χρειαστείτε τα εξής μέσα:

- ένα μαχαίρι ή ένα ψαλίδι
- ένα καρφί,
- λίγο χαρτί κουζίνας ή ένα μικρό πανί,
- ένα γκαζάκι και έναν αναπτήρα.

### Κατασκευή της πειραματικής διάταξης

#### 1ο βήμα

Αρχικά, κόβουμε με το μαχαίρι (ή το ψαλίδι) προσεκτικά το πλαστικό μπουκάλι σε δύο μέρη και κρατάμε το πάνω μέρος του μπουκαλιού, αυτό δηλαδή που έχει το καπάκι. Επιχειρούμε να κόψουμε έτσι το μπουκάλι ώστε το πάνω μέρος που θα κρατήσουμε να έχει ύψος 20-25 cm. Ξεβιδώνουμε το καπάκι από το μπουκάλι και προετοιμαζόμαστε να το τρυπήσουμε στο κέντρο του. Για να διευκολυνθούμε, ζεσταίνουμε ένα καρφί στη φλόγα από το γκαζάκι ή τον αναπτήρα και με τη βοήθειά του τρυπάμε στη συνέχεια το καπάκι έτσι ώστε να μπορέσει να περάσει από την τρύπα σφιχτά ένα καλαμάκι. Προσοχή! Κρατάμε το καρφί με ένα πανί ή χαρτί κουζίνας για να μην καούμε.

#### 2ο βήμα

Περνάμε το καλαμάκι μέσα από την τρύπα και πιέζουμε λίγη πλαστελίνη γύρω από το καλαμάκι, πάνω στο καπάκι, ώστε να κλείσουν αεροστεγώς τα ανοίγματα που μπορεί να υπάρχουν ανάμεσα στο καλαμάκι και στα τοιχώματα της τρύπας που κάναμε. Το καλαμάκι που είναι στο κάτω μέρος του καπακιού θα πρέπει, όταν το καπάκι βιδωθεί στο μπουκάλι, να φτάνει μερικά εκατοστόμετρα κάτω από το λαιμό του μπουκαλιού. Στην άκρη αυτή δένουμε σφιχτά με ένα λαστιχάκι ένα μπαλόνι. Το καλαμάκι πρέπει να βρίσκεται περίπου 2-3 cm μέσα στο μπαλόνι. Προσοχή! Το δέσιμο πρέπει να είναι αρκετά σφιχτό ώστε το μπαλόνι να μπορεί να φουσκώσει χωρίς να χάνει αέρα από το σημείο πρόσδεσης αλλά ταυτόχρονα όχι τόσο πολύ σφιχτό ώστε να μη μπορεί να περάσει αέρας από το καλαμάκι στο μπαλόνι. Για να ελέγξουμε ότι το μπαλόνι έχει δεθεί κατάλληλα φυσάμε από την άλλη άκρη του καλαμακιού: αν το μπαλόνι φουσκώνει το δέσιμο είναι ικανοποιητικό. Αν χάνει αέρα πρέπει να το δέσουμε πιο σφιχτά. Αν δεν μπορεί να φουσκώσει πρέπει να χαλαρώσουμε το δέσιμο.

#### 3ο βήμα

Βιδώνουμε το καπάκι στο μπουκάλι με τέτοιο τρόπο ώστε το μπαλόνι να βρίσκεται στο εσωτερικό μέρος του μπουκαλιού, σίγουρα κάτω από το στενό λαιμό του. Τοποθετούμε προσεκτικά το γάντι latex μιας χρήσης έτσι ώστε να κλείσουμε το ανοικτό κάτω μέρος του μπουκαλιού (Εικόνα 1). Επειδή κατά το αρχικό κόψιμο του μπουκαλιού ενδέχεται να παραμένουν κάποιες αιχμηρές γωνίες πλαστικού, προσέχουμε να μην τρυπήσει το γάντι κατά την τοποθέτησή του. Αν συμβεί κάτι τέτοιο πρέπει να αλλάξουμε γάντι. Εναλλακτικά, μπορούμε αντί για γάντι να στερεώσουμε με κολλητική ταινία περιμετρικά στο κάτω μέρος του μπουκαλιού ένα πλαστικό σακουλάκι τροφίμων. Ωστόσο, η επίδειξη που ακολουθεί είναι πιο εντυπωσιακή με τη χρήση γαντιού.



Εικόνα 1. Ένα μοντέλο της θωρακικής κοιλότητας που φιλοξενεί τους πνεύμονές μας.

### Η πειραματική διαδικασία

Αφού κάθε ομάδα μαθητών κατασκευάσει τη δική της διάταξη προχωράμε στη διαπραγμάτευση του μηχανισμού της αναπνοής.

Προκαλέστε τους μαθητές να φουσκώσουν το μπαλόνι, που βρίσκεται μέσα στο μπουκάλι, με όσο περισσότερους τρόπους μπορούν. Οι περισσότεροι φυσούν μέσα από το καλαμάκι. Κάποιοι άλλοι, παίζοντας, αναμένεται να τραβήξουν το ελαστικό γάντι προς τα έξω. Τότε θα παρατηρήσουν ότι το μπαλόνι γεμίζει με αέρα και φουσκώνει αισθητά (Εικόνα 2α) ενώ την ίδια στιγμή ακούγεται ένα χαρακτηριστικό σφύριγμα. Αν δεν το προσπαθήσουν ήδη μόνοι τους, ζητάμε να προβλέψουν τι θα συμβεί αν σπρώξουμε το γάντι προς το εσωτερικό του μπουκαλιού. Αφού καταθέσουν τις προβλέψεις τους οι μαθητές εκτελούν αυτή την ενέργεια και παρατηρούν ότι το μπαλόνι ξεφουσκώνει<sup>1</sup> (Εικόνα 2β).



Εικόνα 2. α. τραβώντας το γάντι το μπαλόνι φουσκώνει. β. σπρώχνοντας το γάντι το μπουκάλι ξεφουσκώνει.

Δίνεται χρόνος να δοκιμάσουν όλα τα παιδιά στις ομάδες το πείραμα τραβώντας και σπρώχνοντας το γάντι αρκετές φορές. Κατόπιν, ζητάμε από τις ομάδες να σημειώσουν τις παρατηρήσεις τους.

### Πώς αναπνέουμε;

Εξηγούμε στους μαθητές ότι όπως λειτουργεί η διάταξη που έχουν στα χέρια τους, έτσι, με παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και ο μηχανισμός της αναπνοής. Το μπαλόνι αντιστοιχεί σε έναν πνεύμονα, το καλαμάκι στους αεραγωγούς που μεταφέρουν αέρα από το περιβάλλον στο σώμα μας, το πλαστικό μπουκάλι στη θωρακική κοιλότητα και το γάντι στο διάφραγμα.

Όταν το διάφραγμα κατεβαίνει χάρη στις δυνάμεις που δέχεται από θωρακικούς μύες και τα πλευρά η πίεση μέσα στη θωρακική κοιλότητα μειώνεται όπως και στο μπουκάλι. Αυτό έχει ως συνέπεια την εισροή αέρα από το περιβάλλον ώστε να εξισορροπηθούν οι πιέσεις. Αντίστροφα, όταν το διάφραγμα ανεβαίνει αυξάνεται η πίεση στο εσωτερικό της κοιλότητας και ο αέρας στους πνεύμονες ωθείται έξω για να εξισορροπηθούν εκ νέου οι πιέσεις.

### Παραπομπές

1. Στη διεύθυνση [https://www.youtube.com/watch?v=sp\\_pC3e23rY](https://www.youtube.com/watch?v=sp_pC3e23rY) είναι διαθέσιμο βίντεο που δείχνει την πειραματική αυτή διάταξη σε λειτουργία.



Ο Αναστάσιος Σιάτρας είναι Παιδαγωγός. Ως μαθητής αντιμετώπιζε δυσκολίες στα μαθήματα Φυσικών Επιστημών και σκαρφίζονταν διάφορους τρόπους για να τις αντιμετωπίσει, όπως να αποστηθίζει λέξεις κλειδιά και ορισμούς. Τώρα, από την άλλη μεριά της τάξης, προσπαθεί να βοηθήσει τους μαθητές και τις μαθήτριές του να αποκτήσουν χαρούμενα βιώματα στο σχολείο.



Στη στήλη «Αντί βιβλίο-παρουσίασης» θα παρουσιάζονται βιβλία που σχετίζονται με το περιεχόμενο των Φυσικών Επιστημών είτε με τη διδασκαλία τους. Ενημερώστε τη συντακτική επιτροπή για βιβλία που θα θέλατε να παρουσιάσετε από τη στήλη αυτή στέλνοντας ηλεκτρονικό μήνυμα στη διεύθυνση [physcool@auth.gr](mailto:physcool@auth.gr)

### **Ο Feynman, ο Νεύτων και η Γεωμετρία.**

**Ελένη Παλαιολόγου**

Αντί βιβλίο-παρουσίασης του: David & Judith Goodstein (1997) *Η χαμένη διάλεξη του Feynman*. (Μετάφραση: Π. Αγαπάκη). Εκδόσεις Κάτοπτρο.

Ιδιοφυής, εκκεντρικός, χιουμορίστας, αντικομφορμιστής, χαρισματικός δάσκαλος της Φυσικής, μουσικός, φαρσέρ, χομπίστας της διάρρηξης χρηματοκιβωτίων εγγράφων, μυθιστοριογράφος, θαμώνας ενός όχι και τόσο ευυπόληπτου κλαμπ, μάγος της Φυσικής, είναι μερικές “συστάσεις” που αντλούνται από τη βιβλιογραφία για την προσωπικότητα του Feynman. Ο Νομπελίστας του 1965 Richard Feynman(1918-1988) είναι επίσης διάσημος για τις περίφημες διαλέξεις του στο Caltech στις αρχές της δεκαετίας του 1960, (The Feynman lectures on Physics<sup>1</sup>) που εκδόθηκαν σε τρεις τόμους και εξακολουθούν να αποτελούν διδακτικό υλικό σε πολλά πανεπιστήμια του κόσμου και πηγή έμπνευσης για συγγραφείς, καθηγητές και φοιτητές.

Ο Σερ Ισαάκ Νεύτων είναι από τους διάσημους που γεννήθηκαν σε ...δύο χρονιές. Τα Χριστούγεννα του 1642 σύμφωνα με το Ιουλιανό ημερολόγιο που χρησιμοποιούσαν στην Αγγλία και στις 4 Ιανουαρίου του 1643 σύμφωνα με το Γρηγοριανό ημερολόγιο που βρισκόταν σε χρήση σε άλλες χώρες (Westfall, 1999). Είναι ένας από τους θεμελιωτές των σύγχρονων βασικών μαθηματικών εργαλείων, δηλαδή του διαφορικού και ολοκληρωτικού λογισμού, αλλά και της κλασικής φυσικής, της οποίας έθεσε τις βάσεις στο τέλος του 17ου αιώνα κυρίως μέσα από το μνημειώδες έργο του *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Μαθηματικές Αρχές της Φυσικής Φιλοσοφίας).

Το Principia είναι γραμμένο στα πρότυπα της Ελληνικής γεωμετρίας, με ορισμούς, αξιώματα, λήμματα και ευρεία χρήση γεωμετρικών αποδείξεων. Σε κάποια αποτελέσματα έχει καταλήξει με τη χρήση αναλυτικών μεθόδων, είτε γνωστών στην εποχή του, είτε επινοημένων από τον ίδιο. Οι μαθηματικές τεχνικές που χρησιμοποιεί, μας λέει ο Emilio Segre, δεν διευκολύνουν τον σημερινό μελετητή και όπως ομολόγησε ο Νεύτων σε ένα φίλο του, σκοπίμως έγραψε τους νόμους δυσνόητους

ώστε να γίνονται κατανοητοί μόνο από ικανούς μαθηματικούς (Segre, 2001, σ. 80-81). Αυτή η στάση του συμβαδίζει με το κλίμα της εποχής και με τον ιδιαίτερο χαρακτήρα του Νεύτωνα.

Οι επιστημονικοί κύκλοι της εποχής του Νεύτωνα ήταν πεπεισμένοι ότι οι κινήσεις των πλανητών ήταν αποτέλεσμα μιας δύναμης που πήγαζε από τον Ήλιο και η οποία οδηγούσε τους πλανήτες σε ελλειπτικές τροχιές όπως είχε προβλέψει ο Κέπλερ (Johannes Kepler) περίπου 70 χρόνια νωρίτερα. Κανείς όμως δεν το είχε αποδείξει. Ο Νεύτων σε μία πραγματεία εννέα σελίδων απέδειξε ότι η υπόθεση πως η βαρύτητα ακολουθεί κάποιο νόμο αντίστροφου τετραγώνου, σε συνδυασμό με ορισμένες θεμελιώδεις αρχές της δυναμικής, εξηγεί όχι μόνο όλους τους νόμους του Κέπλερ<sup>2</sup> αλλά και πολλά άλλα. Έθεσε έτσι τις βάσεις της ουράνιας μηχανικής, ενώνοντας τους νόμους του Κέπλερ με την μηχανική του Γαλιλαίου σε ένα ενιαίο μαθηματικό πλαίσιο.

Περίπου τριακόσια χρόνια μετά, το 1964, ο Feynman έδωσε μια διάλεξη στους πρωτοετείς φοιτητές του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Καλιφόρνιας με θέμα την κίνηση των πλανητών γύρω από τον Ήλιο. Προσπαθώντας να εξηγήσει δηλαδή γιατί οι πλανήτες ακολουθούν ελλειπτικές τροχιές. Αυτή η διάλεξη του Feynman είχε μαγνητοφωνηθεί και απομαγνητοφωνηθεί, είχαν ληφθεί φωτογραφίες από τα σχήματα του μαυροπίνακα και στο τέλος ... χάθηκε! Όταν τελικά βρέθηκε μετά από πολλά χρόνια, αποτέλεσε το θέμα βιβλίου με τίτλο «Η χαμένη διάλεξη του Feynman» (Goodstein, 1997).

Στο σημείο αυτό είναι ώρα να αποκαλυφθούν μερικά πολύ σημαντικά και ενδιαφέροντα στοιχεία που θα ανακαλύψει ο επιμελής αναγνώστης του βιβλίου.

Πρώτον. Παρ' όλο που η απόδειξη αυτή είναι σχετικά εύκολο να γίνει με ανώτερα μαθηματικά, τα οποία ας θυμηθούμε ότι μας τα προσέφερε ο ίδιος ο Νεύτων και ο Leibniz «*οι δυο μεγάλοι επινοητές του απειροστικού λογισμού*» (Katz, 2013, σ. 596), ο Νεύτων επέλεξε να χρησιμοποιήσει ορισμένες “μυστηριώδεις” ιδιότητες των κωνικών τομών.

Δεύτερον. Η χρήση της γεωμετρίας ως αποδεικτικής μεθόδου για ένα τέτοιο θέμα, πιθανότατα εντυπωσίασε τον Feynman, ο οποίος προσπάθησε να ακολουθήσει την απόδειξη του Νεύτωνα. Να τα ίδια του τα λόγια κατά την διάρκεια της διάλεξης: «*Προτιμώ να σας παρουσιάσω μια απόδειξη για την ελλειπτικότητα των τροχιών με ένα τρόπο παράξενο, μοναδικό και διαφορετικό απ' ό,τι έχετε συνηθίσει. Πρόκειται να κάνω αυτό που αποκαλώ στοιχειώδη απόδειξη. Όμως “στοιχειώδης” δεν σημαίνει και ευκολονόητη. “Στοιχειώδης” σημαίνει ότι προαπαιτούνται ελάχιστες γνώσεις για να την κατανοήσετε, όμως χρειάζεται άπειρη ποσότητα ευφυΐας.*» (Goodstein, 1997, σ. 169)

Τρίτον. Κατάφερε να παρακολουθήσει τον τρόπο απόδειξης του Νεύτωνα αλλά μόνο μέχρι ένα ορισμένο σημείο. Όπως ομολογεί ο ίδιος κατά την διάρκεια της διάλεξης, «*η απόδειξη που μόλις είδατε αποτελεί ακριβές αντίγραφο εκείνης του Νεύτωνα στα Principia Mathematica και η εφευρετικότητα και η απόλαυση που ίσως δοκιμάσατε, αλλά ίσως και όχι, από αυτήν είναι η ίδια που υπήρχε ανέκαθεν. Τώρα, η υπόλοιπη απόδειξη δεν προέρχεται από το Νεύτωνα, γιατί εγώ δεν μπορούσα να την*

παρακολουθήσω πολύ άνετα, επειδή εμπλέκει στο επιχείρημά του τόσο πολλές ιδιότητες των κωνικών τομών. Έτσι σκάρωσα κάποια άλλη.» (Goodstein, 1997, σ. 179)

Στη διάλεξη του ο Feynman, αναλύει όλες τις προαπαιτούμενες γνώσεις για την έλλειψη και ακολούθως στρέφεται στις δυνάμεις και στις κινήσεις που προκαλούν, χρησιμοποιώντας το ίδιο διάγραμμα από τα Principia του Νεύτωνα. Ο Νεύτων, χωρίζει την τροχιά των πλανητών σε στοιχειώδη τμήματα που αντιστοιχούν σε ίσα χρονικά διαστήματα. Στο σημείο πέρα από το οποίο ο Feynman αδυνατεί να παρακολουθήσει το σκεπτικό του Νεύτωνα, εισάγει τη δικιά του ευφύεστατη γεωμετρική ανατροπή. Διαιρεί την τροχιά σε τμήματα που αντί να αντιστοιχούν σε ίσα χρονικά διαστήματα, φαίνονται υπό ίσες γωνίες από τον Ήλιο. Μια κίνηση που σχολιάσθηκε ως «... λαμπρή, τελείως απρόβλεπτη κίνηση κάποιας σκακιστικής μεγαλοφυΐας.» (Goodstein, 1997, σ. 130)

Ο Feynman ολοκληρώνει την γεωμετρική του απόδειξη και καταλήγει:

«... όπως όλες οι στοιχειώδεις αποδείξεις – όπως κάθε γεωμετρική απόδειξη – απαιτούσε πολλή εφευρετικότητα. Από τη στιγμή που το ανακαλύπτεις, όμως, έχει μια κομψή απλότητα. ... Όμως η απλότητα σε όλη τούτη την ιστορία είναι ότι κατασκευάσατε ένα είδος προσεκτικά συναρμολογημένου πάζλ. ... Δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιείς τη γεωμετρική μέθοδο για να ανακαλύπτεις πράγματα. Είναι πολύ δύσκολο, όμως, αφού επιτύχεις τις ανακαλύψεις, η κομψότητα των αποδείξεων είναι πράγματι εξαιρετική.» (Goodstein, 1997, σ. 188)

Ας επισημανθεί το γεγονός, ότι η Ευκλείδεια γεωμετρία εμφανίζεται αναπάντεχα σε πολλές απαιτητικές αποδείξεις της Φυσικής. Πέρα από την πρακτική της όμως σημασία, αποτελεί ένα εξαιρετικό διανοητικό εργαλείο, μια απολαυστική άσκηση του μυαλού και ο Feynman μας το θύμισε πολύ εύστοχα και παράλληλα μας δίδαξε τη στάση που πρέπει να διακατέχει όλους τους μελετητές από τον μικρότερο μαθητή μέχρι τον Νομπελίστα της Φυσικής. Ομολογεί χωρίς κόμπλεξ ότι δεν μπόρεσε να παρακολουθήσει την απόδειξη του Νεύτωνα. Όμως δεν εγκατέλειψε. «... σκάρωσα κάποια άλλη», λέει με αφοπλιστική αθωότητα και απλότητα.

Ένα διανοητικά επίπονο βιβλίο, που τελικά θα ανταμείψει τον επιμελή αναγνώστη με μαθηματικές ανησυχίες και θα αποτελέσει πηγή έμπνευσης για καθηγητές Φυσικής και Μαθηματικών.

### Παραπομπές

1. Το 2009 δημοσιεύθηκε η Ελληνική έκδοση από τις εκδόσεις “Τζιόλα”. Βλέπε και διεύθυνση <http://www.feynmanlectures.caltech.edu/>
2. Μπορείτε να δείτε κινούμενες αναπαραστάσεις των νόμων του Κέπλερ στη διεύθυνση: <http://science.sbccc.edu/physics/flash/Keplers%20Laws.html>

### Βιβλιογραφικές αναφορές

- David & Judith Goodstein, (1997). *Η χαμένη διάλεξη του Feynman*. Εκδόσεις Κάτοπτρο.
- Katz, V. J. (2013). *Ιστορία των μαθηματικών*. Π.Ε.Κ.
- Segre, E. (2001). *Ιστορία της Φυσικής. Από την πτώση των σωμάτων έως τα ραδιοκύματα* (Vol. A). Εκδόσεις Δίαυλος.
- Westfall, R. (1999). *Η ζωή του Ισαάκ Νεύτωνα*. Π.Ε.Κ.



Η Ελένη Παλαιολόγου γεννήθηκε το 1966 και κατοικεί στη Μυτιλήνη. Σπούδασε στο Φυσικό τμήμα του Α.Π.Θ. και στο μεταπτυχιακό τμήμα του Ε.Α.Π «Εξειδίκευση καθηγητών Φυσικών επιστημών». Από το 2007 υπηρετεί στο Γε.Λ. Αγιάσου – Λέσβου. Διετέλεσε επί πενταετία συνεργάτης του Ε.Κ.Φ.Ε. Λέσβου. Κατά τη διδασκαλία επιχειρεί να συνδυάσει Τ.Π.Ε και πείραμα. Διατηρεί τον ιστότοπο <http://elepa.me>

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](mailto:physcool@auth.gr)

### Θερινό σχολείο για εκπαιδευτικούς από την ESA

Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) διοργανώνει για 5<sup>η</sup> συνεχή χρονιά θερινό σχολείο για εκπαιδευτικούς της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης που διδάσκουν μαθήματα Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας, Μηχανικής και Μαθηματικών. Το σχολείο θα πραγματοποιηθεί στις εγκαταστάσεις της ESA στο ESTEC, Noordwijk, στην Ολλανδία από **21-25 Ιουλίου 2014**.

Κεντρικό μέρος του προγράμματος του σχολείου αποτελούν εργαστηριακές δραστηριότητες που θα επιτρέψουν στους συμμετέχοντες εκπαιδευτικούς να διερευνήσουν και να συζητήσουν πειράματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν έννοιες του Διαστήματος στην τάξη τους. Διαλέξεις από ειδικούς της ESA θα δώσουν τη δυνατότητα πληροφόρησης για τις τελευταίες αποστολές της ESA αλλά και για την έρευνα αιχμής που πραγματοποιείται από την Υπηρεσία. Επιπλέον, οι συμμετέχοντες θα μπορέσουν να σχηματίσουν δίκτυα

επικοινωνίας και συνεργασίας με συναδέλφους τους από όλη την Ευρώπη.

Η γλώσσα του σχολείου θα είναι τα αγγλικά και η παρακολούθηση των εργασιών του είναι υποχρεωτική, για τους εκπαιδευτικούς που θα επιλεγούν να το παρακολουθήσουν. Η συμμετοχή στο σχολείο είναι δωρεάν. Επιπλέον, η ESA θα καλύψει τα έξοδα διαμονής, τις τοπικές μετακινήσεις, όλα τα γεύματα καθώς και το κόστος συμμετοχής σε ένα επίσημο δείπνο. Οι συμμετέχοντες εκπαιδευτικοί θα πρέπει να μεριμνήσουν για τη μετακίνησή τους προς και από την Ολλανδία.

Ο αριθμός των εκπαιδευτικών που συμμετάσχουν είναι περιορισμένος. Οι ενδιαφερόμενοι εκπαιδευτικοί πρέπει να συμπληρώσουν την αίτηση που είναι διαθέσιμη ηλεκτρονικά στη διεύθυνση: <https://www.etches.com/eselect/84209>.

Αιτήσεις θα γίνονται δεκτές μέχρι τις **25 Απριλίου 2014** ενώ όσοι γίνουν δεκτοί θα ενημερωθούν σχετικά μέχρι τις 16 Μαΐου. Περισσότερες πληροφορίες είναι διαθέσιμες στο δικτυακό τόπο:

[http://www.esa.int/Education/Teachers\\_Corner/ESA\\_Summer\\_Workshop\\_for\\_Teachers\\_2014](http://www.esa.int/Education/Teachers_Corner/ESA_Summer_Workshop_for_Teachers_2014)



Φωτογραφία από το θερινό σχολείο της ESA που πραγματοποιήθηκε τον Αύγουστο του 2013 στο ESTEC, στην Ολλανδία.



Στο εξώφυλλο του 1ου τεύχους δημοσιεύτηκε η φωτογραφία της κ. Βασιλικής Ζαχαρούλη που η ίδια τιτλοφόρησε “όπου υπάρχει ζωή λιώνει ο πάγος”. Στη φωτογραφία φαίνεται μια χιονισμένη έκταση του Πηλίου με δέντρα. Γύρω από τα δέντρα το χιόνι έχει λιώσει. Η φωτογραφία τραβήχτηκε αρχές Μαρτίου. Γιατί άραγε συμβαίνει κάτι τέτοιο;

Δεχθήκαμε 11 συνολικά απαντήσεις από αναγνώστες του περιοδικού. Οι τρεις απαντήσεις που ξεχώρισαν, κατά τη γνώμη της συντακτικής επιτροπής, είναι οι εξής, με σειρά υποβολής:

*“Οι πιθανοί λόγοι οι οποίοι, λίγο ή πολύ, συνετέλεσαν σε αυτό το φαινόμενο είναι οι εξής:*

*1. Εκ των πραγμάτων ο κορμός και το φύλλωμα του δέντρου «κόβουν» ένα μέρος του χιονιού που θα έπεφτε κοντά στις ρίζες.*

*2. Οι χημικές αντιδράσεις που συντελούνται στις ρίζες και στο εσωτερικό του κορμού παράγουν θερμότητα και κρατούν τη θερμοκρασία του δέντρου μεγαλύτερη από αυτή του χιονιού, και επομένως κάνουν πιο δύσκολη τη συσσώρευσή του.*

*3. Εξαιτίας του φαινομένου Bernoulli, ο αέρας που κινείται προς τον κορμό του δέντρου αναγκάζεται να τον παρακάμψει αυξάνοντας την ταχύτητά του (μειώνοντας και την πίεση) και επομένως κάνει ακόμα πιο δύσκολη τη συσσώρευση του χιονιού.*

*4. Ο κορμός και οι ρίζες του δέντρου, εξαιτίας της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και την ενδογενή παραγωγή θερμότητας, εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία και έχουν θερμοκρασία που κάνει το χιόνι να λιώνει. Επομένως, ο αέρας και το χιόνι που πέφτουν πάνω στα φύλλα, τον κορμό και τις ρίζες, υγροποιούνται και δημιουργούν μια ροή υγρασίας. Εξάλλου, ο κορμός είναι κάθετος και επομένως λόγω βαρύτητας το λιωμένο χιόνι και η υγρασία ρέουν προς τα κάτω, εμποδίζοντας το χιόνι να συσσωρευτεί κοντά στις ρίζες όπως φαίνεται και στην εικόνα.”*

**Αβραάμ Αποστολακάκης**

*“Σχετικά με την εικόνα του εξώφυλλου και την έλλειψη χιονιού γύρω από τους κορμούς η εξήγηση είναι η εξής: οι κορμοί εξαιτίας του σκούρου χρώματός τους απορροφούν σε πολύ μεγάλο ποσοστό την*

προσπίπτουσα ορατή ακτινοβολία, η οποία μάλιστα είναι αυξημένη σε σχέση με μια μη χιονισμένη μέρα λόγω της ανάκλασης του φωτός στο χιόνι. Η απορρόφηση της ορατής ακτινοβολίας προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας των κορμών και αυτοί με τη σειρά τους εκπέμπουν περισσότερη υπέρυθη ακτινοβολία η οποία οδηγεί στο λιώσιμο του χιονιού που βρίσκεται γύρω τους.”

**Τάκης Λάζος**

“Το δέντρο «επενδύει» ενέργεια στη διατήρηση της θερμοκρασίας των ριζών και του φλοιού του σε επίπεδα που διασφαλίζουν την απρόσκοπτη ροή του νερού και των θρεπτικών που είναι διαλυμένα σε αυτό. Η θερμοκρασία αυτή είναι μεγαλύτερη από το σημείο τήξης του πάγου (0 °C) με αποτέλεσμα το χιόνι που πέφτει στο έδαφος όπου βρίσκεται το επιφανειακό ριζικό σύστημα του δέντρου να λειώνει.”

**Γιάννης Παπαδάκης**

Ευχαριστούμε όλους και όλες που έστειλαν τις απαντήσεις τους. Περιμένουμε με ανυπομονησία τις απαντήσεις σας και για τη φωτογραφία του εξώφυλλου του 2ου τεύχους!





**ISSN 2241-7680**