

# 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, όντας καλοκαιρινή, έχει ληφθεί από την κ. Βασιλική Ζαχαρούλη το καλοκαίρι του 2013 στο Καμάρι στη Σαντορίνη. Παρατηρήστε ότι όλα τα πλωτά «κοιτάζουν» προς την ίδια κατεύθυνση. Λίγο αργότερα, σύμφωνα με τη φωτογράφο, όλα τα πλωτά κοιτούσαν προς μια άλλη κατεύθυνση, αλλά για όλα ίδια. Γιατί άραγε;

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

Δείτε την ερμηνεία για τη φωτογραφία του 2<sup>ου</sup> τεύχους στις σελίδες 89-90.

|   |       |
|---|-------|
| <b>Editorial</b>  | 4-6   |
| <b>Για το περιοδικό</b>   | 7-8   |
| <b>Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες</b>  |       |
| <i>Αξιολογώντας τις γραπτές εξηγήσεις των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες</i><br><i>Μ. Σκουμιάς, Β. Χατζηνηκίτα</i>    | 9-19  |
| <b>Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο</b>  |       |
| <i>Το Πυθαγόρειο θεώρημα: μία διάσημη μαθηματική σχέση στον εργαστηριακό πάγκο της Φυσικής</i><br><i>Π. Μουρούζης</i> | 21-28 |
| <b>Φυσική(ς) ...Ιστορία</b>   |       |
| <i>Ο Όλε Ρέμερ και η περιπέτεια της "Mora Luminis". Ε. Παλαιολόγου</i>  | 29-36 |
| <b>Μέσα στην τάξη</b>   |       |
| <i>"Ανακαλύπτοντας" ένα νόμο της φύσης από την ταράτσα σας. Θ. Πιερράτος, Ν. Κυριαζόπουλος</i>                        | 37-48 |
| <i>Είμαι το νερό, το πολυτιμότερο αγαθό του πλανήτη μας. Μ Χατζηγεωργίου, Γ. Πολίτης</i>                              | 49-57 |
| <i>Παίζοντας με τις φουσαλίδες: εμπάθυνση σε ένα "απλό" πείραμα μελέτης της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης. Α. Νέζης</i>  | 59-66 |
| <b>Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκορπίσματα</b>   |       |
| <i>"Φωτίζοντας" την επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων</i><br><i>Π. Τσακμάκη</i>         | 67-76 |
| <i>Το έξιπνο μπουκάλι. Α. Γκουτζαμάνης, Α. Κουμαρά</i>  | 77-83 |
| <b>Πρόκειται να συμβούν</b>   | 85-87 |
| <b>Γράψατε για το εξώφυλλο</b>  | 89-90 |
| <b>Ευρετήριο συγγραφέων</b>   | 91    |

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

### Διαχείριση δικτυακού τόπου

**Αρτέμης Σταματία**, Υπ. Διδάκτορας Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.

### Συντακτική ομάδα

**Κουμαράς Παναγιώτης**, καθηγητής Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.  
**Πιερράτος Θεόδωρος**, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Εύοσμου  
**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 Γαρυφαλιά**, 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. Εύοσμου  
**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  
**Σκουμιάς 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  
**Σπανάς 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 – Ιούνιος 2014

Καλώς ήρθατε στο 3ο τεύχος του περιοδικού Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση. Ελπίζουμε ότι θα βρείτε ενδιαφέροντα τα άρθρα που φιλοξενούνται σε αυτό, τα οποία καλούνται να ταξιδέψουν μαζί σας κατά τη διάρκεια των επερχόμενων καλοκαιρινών διακοπών.

Τα τελευταία χρόνια οι δάσκαλοι των Φυσικών Επιστημών ερχόμαστε αντιμέτωποι, όλο και πιο έντονα, με δυο ζητήματα τα οποία σχετίζονται με τα μαθήματά μας και επηρεάζουν τη διδασκαλία μας, τη σχέση μας με τους μαθητές μας και τον τρόπο που η κοινωνία διατίθεται απέναντί μας.

**Το πρώτο:** Η χώρα μας καταλαμβάνει στο διεθνές πρόγραμμα αξιολόγησης PISA σταθερά μια από τις τελευταίες θέσεις μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και γενικότερα μεταξύ των χωρών του ΟΟΣΑ. Συνήθως, η ευθύνη για αυτό αποδίδεται από την κοινή γνώμη και ιδιαίτερα από τα μέσα ενημέρωσης στους εκπαιδευτικούς. Η μελέτη όμως των θεμάτων που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι μαθητές μας αναδεικνύει μία άλλη πραγματικότητα: άλλα πράγματα διδάσκονται οι μαθητές μας, με βάσει τα προγράμματα σπουδών που ισχύουν στη χώρα μας, και άλλα αξιολογεί το PISA. Έτσι, φαντάζει μάλλον λογικό και αναπόφευκτο οι μαθητές μας να καταλαμβάνουν τις τελευταίες θέσεις.

Αυτό είναι βέβαια ένα πρόβλημα που αφορά την Πολιτεία και τα προγράμματα

σπουδών που εφαρμόζει στα σχολεία. Εδώ προφανώς οι εκπαιδευτικοί δεν μπορούν να κάνουν τίποτα, όσο καλά και να προσπαθήσουν να διαχειριστούν τα υπάρχοντα προγράμματα σπουδών. Η Πολιτεία μένει να αποφασίσει αν θέλει να έχει αυτά τα προγράμματα σπουδών και να σταματήσει να μετέχει στο PISA, παύοντας έτσι να εκθέτει και να απογοητεύει χωρίς ουσιαστικό λόγο μαθητές, γονείς και εκπαιδευτικούς ή να εξακολουθεί να μετέχει στο PISA αλλάζοντας όμως τα προγράμματα σπουδών προς την κατεύθυνση αυτών που αξιολογεί το PISA.

**Το δεύτερο:** Το ενδιαφέρον των παιδιών, κυρίως για τη Φυσική (αλλά και για τα υπόλοιπα μαθήματα θετικών επιστημών) μειώνεται συνεχώς. Εδώ μπορούμε να αναζητήσουμε διάφορες ευθύνες: στα προγράμματα σπουδών, στα μάλλον εξεζητημένα και ιδιαίτερα τεχνικών απαιτήσεων θέματα πανελλαδικών εξετάσεων (της Γ' αλλά και της Α' πλέον Λυκείου), αλλά και σε εμάς τους ίδιους, τους δασκάλους όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης. Θεωρώ, επομένως, ότι σε αυτό το πρόβλημα μπορούμε κάτι να βελτιώσουμε ακόμη και με τις υπάρχουσες ακατάλληλες συνθήκες (ας το δούμε, ρομαντικά, ως ένα μέσο για την υπόδειξη ενός δρόμου για τη βελτίωση της κατάστασης).

Έγραφε ο Παπαμαύρος το 1929, επηρεασμένος από τη φιλοσοφία του σχολείου εργασίας: "... Ο δάσκαλος που βάζει τα παιδιά να παρατηρήσουν άμεσα ότι ο κουβάς μέσα στο

νερό του πηγαδιού είναι ελαφρότερος, παρά όταν είναι επάνω από το νερό, δείχνει καλύτερα την αρχή του Αρχιμήδη από το δάσκαλο εκείνο που για να δείξει το ίδιο φαινόμενο, καταφεύγει στη συσκευή και κάνει το σχετικό πείραμα. Ο δάσκαλος που βάζει τα παιδιά να παρατηρήσουν πώς οι εργάτες μετακινούν τις μεγάλες πέτρες με το λοστό, δίνει (να καταλάβουν τα παιδιά) καλύτερα τι είναι και σε τι χρησιμεύει ο μοχλός... Κατά δεύτερο λόγο έρχονται οι συσκευές για τα διάφορα πειράματα... Και εδώ όμως ήθελα να πω δω λόγια. Ήθελα να πω πως καλό σχολείο δεν είναι εκείνο που έχει ωραίες και ακριβές συσκευές για φυσικά πειράματα. Καλός δάσκαλος δεν είναι εκείνος που αγοράζει τις πολυτιμότερες συσκευές για το σχολείο του. Μα είναι εκείνος που κάνει τα πειράματα, με τα προχειρότερα και τα απλούστερα μέσα» (Παπαμαύρος, 1929).

Σήμερα 85 χρόνια αργότερα, και αφού ενδιάμεσα (1940 – 1970) επικράτησε η τάση να θεωρείται η εκτέλεση πειραμάτων με υλικά καθημερινής χρήσης μόνο ως λύση ανάγκης (εξ ου και ο όρος “πειράματα χαμηλού κόστους” που τα συνόδεψε στην αγγλική βιβλιογραφία), η πρόταση της δεκαετίας του ’20 ακολουθείται πλέον σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στο πλαίσιο αυτό εφαρμογής της επιχειρούνται δύο κυρίως διδακτικές τακτικές. Σύμφωνα με την πρώτη, οι μαθητές εκτίθενται σε καταστάσεις από την καθημερινή ζωή ώστε να προκαλείται το ενδιαφέρον τους μέσα από την αναγνώριση της ύπαρξης ενός προβλήματος το οποίο είναι πρόβλημα δικό τους και όχι του δασκάλου ή του βιβλίου. Τονίζω ότι στο πλαίσιο αυτό η απάντηση στο

πρόβλημα δίνεται με την ανάπτυξη ολόκληρης της διδασκαλίας πάνω στη θέση που δημιούργησε το πρόβλημα από την καθημερινή ζωή που έχει επιλεγεί: δεν έρχεται η κατάσταση από την καθημερινή ζωή στο τέλος ως εφαρμογή ή στην αρχή απλά ως “αφόρμηση”. Σύμφωνα με τη δεύτερη, επιχειρείται τα πειράματα να πραγματοποιούνται με υλικά καθημερινής χρήσης. Το πλεονέκτημα της χρήσης των υλικών της καθημερινής ζωής δεν είναι οικονομικό, είναι η συνάφεια με τη ζωή του παιδιού: “Περίπλοκα και ακριβά όργανα και υλικά δεν έχουν νόημα, αν πρόκειται να μεσολαβήσουν μεταξύ του μαθητή και της άμεσης εξερεύνησης του καθημερινού περιβάλλοντος. Έτσι για τους νεαρούς μαθητές υπάρχει ένα πλεονέκτημα, αν τα υλικά είναι «σπιτικά» αντικείμενα τα οποία αναγνωρίζουν και έχουν συνηθίσει να χρησιμοποιούν...” (Harlen, 1986).

Μολονότι το περιοδικό καλωσορίζει από το πρώτο τεύχος του εργασίες και άρθρα που είναι προσανατολισμένα στις παραπάνω κατευθύνσεις, νιώθουμε την ανάγκη να καλέσουμε τους συναδέλφους να καταθέσουν προς δημοσίευση διδακτικές προτάσεις τους οι οποίες αξιοποιούν καταστάσεις από την καθημερινή ζωή και να προτείνουν πειράματα με υλικά καθημερινής χρήσης που σχετίζονται με συγκεκριμένες διδακτικές ενότητες των σχολικών βιβλίων, ώστε το τεύχος του Χειμώνα 2014, που προγραμματίζεται να αναρτηθεί στις 21 Δεκεμβρίου 2014, να έχει ένα ειδικό αφιέρωμα αποκλειστικά προσανατολισμένο σε αυτή την ή κατεύθυνση.

Καλό καλοκαίρι!  
Εκ μέρους της εκδοτικής ομάδας  
Παναγιώτης Κουμαράς

**Βιβλιογραφικές αναφορές**

Harlen, W. (1986). *Recent developments in primary and lower secondary school science*. In: D. Layton(Ed) *Innovations in science and technology education*. Vol. 1, pp. 29-47. Paris, UNESCO

Παπαμαύρος, Μ. (1929). *Πρακτικές οδηγίες*. Διδασκαλικό Βήμα, τεύχος 216, 3/3/1929.

## **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).



*Μέσα από την στήλη “Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες” δημοσιεύονται γενικά άρθρα που αφορούν τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών.*

### ***Αξιολογώντας τις γραπτές εξηγήσεις των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες***

**Μιχάλης Σκουμιός και Βασιλεία Χατζηνικήτα**

#### **Εισαγωγή**

Τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει αναγνωριστεί η σπουδαιότητα της συγκρότησης τεκμηριωμένων εξηγήσεων από τους μαθητές και έχει τεθεί ως βασικός στόχος της εκπαίδευσής τους στις Φυσικές Επιστήμες (Archieve, 2012; Driver, Newton & Osborne, 2000; National Research Council [NRC], 2000, 2011; OECD, 2006, 2013). Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκεται οι μαθητές να είναι ικανοί να χρησιμοποιούν αποδεικτικά στοιχεία-τεκμήρια για να υποστηρίξουν ή να απορρίψουν ένα ισχυρισμό τους και να αναγνωρίζουν κενά ή αδυναμίες σε ένα ισχυρισμό δικό τους ή άλλων (National Research Council [NRC], 2011).

Η ανάπτυξη της ικανότητας συγκρότησης τεκμηριωμένων εξηγήσεων είναι απαραίτητη όχι μόνο για όσους μαθητές στοχεύουν να ακολουθήσουν ένα επάγγελμα που σχετίζεται με κάποιο επιστημονικό πεδίο αλλά και για όλους τους μαθητές και αυριανούς πολίτες (OECD, 2006, 2013). Οι πολίτες είναι αναγκαίο, αφενός να διατυπώνουν γραπτά ή προφορικά μια θέση τους και να την αιτιολογούν τεκμηριωμένα προκειμένου να πείσουν για την ορθότητα της θέσης τους, και αφετέρου να αξιολογούν την τεκμηρίωση μιας άποψης που τους παρουσιάζεται γραπτά μέσα από το διαδίκτυο, τις εφημερίδες και τα περιοδικά ή προφορικά από την τηλεόραση και το ραδιόφωνο (Krajcik & McNeill, 2009). Ειδικότερα, είναι αναγκαίο να μπορούν να αξιολογούν αν οι ισχυρισμοί εδράζονται σε αποδεικτικά στοιχεία και συλλογισμούς.

Υποστηρίζεται ότι η διαδικασία συγκρότησης τεκμηριωμένων εξηγήσεων μπορεί να συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση της φύσης της επιστημονικής γνώσης από τους μαθητές (Sandoval & Reiser, 2004). Επίσης, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να αναστοχαστούν πάνω σε αυτά που έχουν μάθει (Tishman & Perkins, 1997) να σκεφτούν κριτικά και να οικοδομήσουν νέα γνώση (Klein, 2004; Rivard & Straw, 2000; Zohar & Nemet, 2002). Επιπρόσθετα, είναι δυνατόν να συμβάλει στην αλλαγή της εικόνας που έχουν διαμορφώσει οι μαθητές για τις Φυσικές Επιστήμες (Bell & Linn, 2000).

Η αναγκαιότητα της συγκρότησης τεκμηριωμένων εξηγήσεων από τους μαθητές αναδεικνύει το ζήτημα της αξιολόγησης της ποιότητας των εξηγήσεων που παράγουν οι μαθητές. Αναδύεται λοιπόν η αναγκαιότητα διαμόρφωσης εργαλείων για την αξιολόγηση από τους εκπαιδευτικούς της ποιότητας των εξηγήσεων που συγκροτούν οι μαθητές στην προσπάθειά τους να απαντήσουν σε ερωτήσεις που τους τίθενται. Όμως, η έρευνα που αφορά στη συγκρότηση τέτοιων εργαλείων είναι περιορισμένη (McNeill & Krajcik, 2007). Επιπρόσθετα, έχει επισημανθεί η αναγκαιότητα διαμόρφωσης νέων εργαλείων προς αυτή την κατεύθυνση (Osborne, 2010).

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην παρουσίαση ενός εργαλείου αξιολόγησης της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών σε ερωτήσεις Φυσικών Επιστημών.

### **Συστατικά στοιχεία μιας γραπτής τεκμηριωμένης εξήγησης μαθητή**

Οι επιστημονικές εξηγήσεις αναφέρονται στο πώς ή το γιατί συμβαίνει ένα φαινόμενο (Chinn & Brown, 2000). Η τεκμηρίωση των επιστημονικών εξηγήσεων πραγματοποιείται μέσω επιχειρημάτων. Στην παρούσα εργασία, όπως και σε άλλες εργασίες (McNeill & Krajcik, 2007; Songer, & Gotwals, 2012), χρησιμοποιούμε τον όρο εξήγηση μαθητή προκειμένου να αναφερθούμε στην απάντηση που παρέχει ο μαθητής σε μια ερώτηση που του τίθεται και στην αιτιολόγηση που προτείνει προκειμένου να υποστηρίξει την απάντησή του.

Ένα πλαίσιο ανάλυσης μιας τεκμηριωμένης εξήγησης αποτελεί το μοντέλο επιχειρημάτων του Toulmin (1958). Σύμφωνα με αυτό, τα επιχειρήματα περιλαμβάνουν ισχυρισμούς ή συμπεράσματα (claims), δεδομένα (data) που υποστηρίζουν τους ισχυρισμούς, εγγυήσεις (warrants) που αποδεικνύουν γιατί τα δεδομένα υποστηρίζουν τους ισχυρισμούς, υποστηρίξεις (backings) που είναι πληροφορίες που στηρίζουν τις εγγυήσεις, πιστοποιήσεις (qualifiers) που καταδεικνύουν την ισχύ των στοιχείων των εγγυήσεων και αντικρούσεις (rebuttals) που υποδεικνύουν τις συνθήκες κάτω από τις οποίες τα δεδομένα μαζί με τις εγγυήσεις δεν οδηγούν στους ισχυρισμούς. Η ποιότητα ενός επιχειρήματος καθορίζεται από την ποιότητα των επιμέρους συστατικών στοιχείων του.

Το μοντέλο επιχειρημάτων του Toulmin (1958), μολονότι έχει χρησιμοποιηθεί τόσο για την αξιολόγηση της τεκμηρίωσης των εξηγήσεων των μαθητών -κυρίως των μεγαλύτερων τάξεων της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης- και των φοιτητών στις Φυσικές Επιστήμες όσο και για την υποστήριξή τους στην παραγωγή τεκμηριωμένων εξηγήσεων, εντούτοις έχει επισημανθεί ότι εμφανίζονται δυσκολίες στη χρήση του για την ανάλυση του γραπτού ή προφορικού λόγου των μαθητών πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (όπως ενδεικτικά οι δυσκολίες διάκρισης στο λόγο των μαθητών των εγγυήσεων από τις υποστηρίξεις και τις πιστοποιήσεις) (McNeill, Lizotte, Krajcik & Marx, 2006). Για την αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών προτάθηκε μια απλουστευμένη εκδοχή του (Erduran, Simon, & Osborne, 2004; Jiménez-Aleixandre, Rodríguez & Duschl, 2000; McNeill, Lizotte, Krajcik & Marx, 2006). Σύμφωνα με αυτήν, μια τεκμηριωμένη εξήγηση μαθητή περιλαμβάνει τρία συστατικά στοιχεία: ισχυρισμό, αποδεικτικά στοιχεία και συλλογισμό (McNeill, Lizotte, Krajcik &

Marx, 2006). Σε αυτά τα τρία βασικά συστατικά στοιχεία προτάθηκε και η προσθήκη ενός ακόμα στοιχείου αυτού της αντίκρουσης (McNeill & Krajcik, 2012). Πιο συγκεκριμένα, ο ισχυρισμός είναι ένα συμπέρασμα που απαντά σε μια ερώτηση ή ένα πρόβλημα. Τα αποδεικτικά στοιχεία είναι τα δεδομένα εκείνα που υποστηρίζουν τον ισχυρισμό. Ο συλλογισμός συνδέει τον ισχυρισμό με τα αποδεικτικά στοιχεία και φανερώνει το λόγο για τον οποίο τα δεδομένα θεωρούνται ως αποδεικτικά στοιχεία που υποστηρίζουν τον ισχυρισμό χρησιμοποιώντας επιστημονικές αρχές. Η αντίκρουση αιτιολογεί πώς ή γιατί ένας εναλλακτικός ισχυρισμός είναι λανθασμένος (McNeill & Krajcik, 2012).

### **Αξιολόγηση της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών**

Η ποιότητα μιας εξήγησης που παράγει ο μαθητής στις Φυσικές Επιστήμες χαρακτηρίζεται από τη δομή και από το περιεχόμενό της (McNeill, Lizotte, Krajcik & Marx, 2006; Sandoval & Millwood, 2005). Η δομή μιας εξήγησης σχετίζεται με την ύπαρξη και την επάρκεια (sufficiency) των συστατικών στοιχείων της (ισχυρισμός, αποδεικτικά στοιχεία, συλλογισμός και αντίκρουση). Το περιεχόμενο μιας εξήγησης σχετίζεται με την καταλληλότητα (adequacy) των συστατικών στοιχείων της εξήγησης όταν αυτά αξιολογούνται με βάση την επιστημονική γνώση (και στην περίπτωση της σχολικής εκπαίδευσης με βάση τη σχολική εκδοχή της φυσικο-επιστημονικής γνώσης).

Για την αξιολόγηση της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών στις Φυσικές Επιστήμες έχει προταθεί από τους McNeill και Krajcik (2007) μια κλίμακα διαβαθμισμένων κριτηρίων. Η κλίμακα αυτή περιλαμβάνει τρία συστατικά στοιχεία μιας εξήγησης (ισχυρισμός, αποδεικτικά στοιχεία, συλλογισμός) και τα επίπεδα βαθμολογίας για κάθε ένα από τα τρία συστατικά της. Η κλίμακα αυτή αξιολογεί συνολικά τη δομή και το εννοιολογικό περιεχόμενο των εξηγήσεων. Οι εξηγήσεις που λαμβάνουν υψηλή βαθμολογία χαρακτηρίζονται από καταλληλότητα ως προς το περιεχόμενό τους και επάρκεια ως προς τη δομή τους.

Οι Σκουμιάς και Χατζηνικήτα (2013) στο πλαίσιο της αξιολόγησης γραπτών εξηγήσεων των μαθητών του δημοτικού, πρότειναν μια τροποποιημένη εκδοχή της κλίμακας διαβαθμισμένων κριτηρίων μιας εξήγησης των McNeill και Krajcik (2007), απομονώνοντας τα στοιχεία των συστατικών μιας εξήγησης που σχετίζονται με τη δομή της από τα στοιχεία των συστατικών μιας εξήγησης που σχετίζονται με το περιεχόμενό της. Έτσι, έγινε εφικτή η διακριτή αξιολόγηση της δομής από την αξιολόγηση του περιεχομένου των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών. Συγκεκριμένα, διαμορφώθηκαν δύο κλίμακες διαβαθμισμένων κριτηρίων. Η πρώτη κλίμακα που διαμορφώθηκε εστιάζει στην αξιολόγηση αποκλειστικά της δομής μιας εξήγησης και εξετάζει την ύπαρξη και την επάρκεια των συστατικών μιας εξήγησης (ισχυρισμός, αποδεικτικά στοιχεία και συλλογισμός). Η δεύτερη κλίμακα που διαμορφώθηκε επικεντρώνεται αποκλειστικά στην αξιολόγηση του εννοιολογικού περιεχομένου μιας εξήγησης και εξετάζει την καταλληλότητα των συστατικών της εξήγησης (δηλαδή τη σύγκλισή τους με τη σχολική φυσικο-επιστημονική γνώση).

Ωστόσο, είναι απαραίτητο να σημειωθεί ότι από τα παραπάνω εργαλεία αξιολόγησης της ποιότητας μιας γραπτής εξήγησης ενός μαθητή απουσιάζει το στοιχείο της αντίκρουσης (της πρότασης που αιτιολογεί με αποδεικτικά στοιχεία και συλλογισμό γιατί ένας εναλλακτικός ισχυρισμός πρέπει να απορριφθεί), το οποίο κατά συνέπεια δεν αξιολογείται. Επίσης, απουσιάζουν κριτήρια που σχετίζονται με τα γλωσσικά χαρακτηριστικά που υπάρχουν στις γραπτές εξηγήσεις των μαθητών (όπως είναι η συγκρότηση των προτάσεων, το λεξιλόγιο και οι γλωσσικές συμβάσεις) παρότι αυτά τα χαρακτηριστικά μιας γραπτής εξήγησης αποτελούν στοιχεία που συν-καθορίζουν την ποιότητά της και συνεπώς είναι αναγκαία η ένταξή τους σε ένα εργαλείο αξιολόγησης της ποιότητας των εξηγήσεων των μαθητών (Enderle, Grooms & Sampson, 2012; Sampson, Grooms & Walker, 2009). Καθίσταται λοιπόν αναγκαία η συγκρότηση ενός εργαλείου που να περιλαμβάνει -εκτός από τον ισχυρισμό, τα αποδεικτικά στοιχεία και το συλλογισμό- και τις αντικρούσεις και το οποίο να αξιολογεί τη δομή, το περιεχόμενο και τα γλωσσικά χαρακτηριστικά των εξηγήσεων των μαθητών.

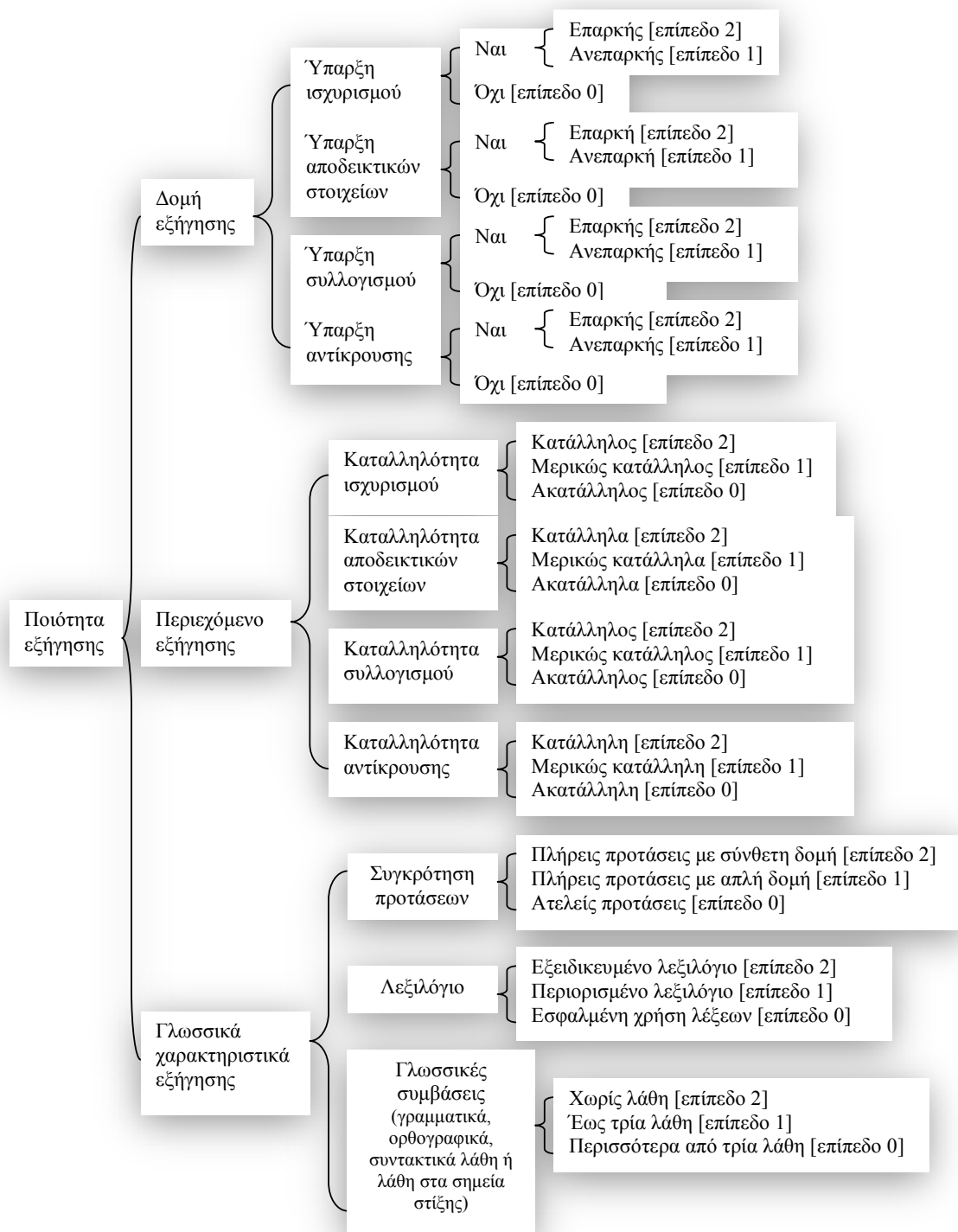
### **Το προτεινόμενο εργαλείο αξιολόγησης της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών**

Στο Σχήμα 1, παρουσιάζεται ένα εργαλείο αξιολόγησης της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών σε ερωτήσεις Φυσικών Επιστημών. Σε αυτό, αξιολογούνται η δομή, το περιεχόμενο και τα γλωσσικά χαρακτηριστικά των εξηγήσεων των μαθητών.

Αναφορικά με τη δομή των εξηγήσεων, αρχικά εξετάζεται η ύπαρξη και στη συνέχεια η επάρκεια των συστατικών στοιχείων μιας εξήγησης (ισχυρισμός, αποδεικτικά στοιχεία, συλλογισμός και αντίκρουση) ανεξάρτητα από το εννοιολογικό τους περιεχόμενο. Επαρκής χαρακτηρίζεται μια εξήγηση όταν περιλαμβάνει: (α) έναν ισχυρισμό που απαντά στην ερώτηση, (β) όλα τα αποδεικτικά στοιχεία που υποστηρίζουν τον συγκεκριμένο ισχυρισμό, (γ) ένα συλλογισμό που εμπλέκει αρχές και συνδέει -μέσω των αρχών- τα αποδεικτικά στοιχεία με τον ισχυρισμό και (δ) μια αντίκρουση με επαρκή αποδεικτικά στοιχεία και συλλογισμό.

Σχετικά με το περιεχόμενο των εξηγήσεων, εξετάζεται η καταλληλότητα των συστατικών στοιχείων των εξηγήσεων όταν αυτά αξιολογούνται με βάση την επιστημονική γνώση (ή τη σχολική της εκδοχή), ανεξάρτητα από την επάρκειά τους. Κατάλληλη χαρακτηρίζεται μια εξήγηση όταν περιλαμβάνει: (α) ένα κατάλληλο ισχυρισμό, (β) κατάλληλα αποδεικτικά στοιχεία, (γ) συλλογισμό που εμπλέκει κατάλληλες αρχές και συνδέει κατάλληλα τα αποδεικτικά στοιχεία με τον ισχυρισμό και (δ) αντίκρουση με κατάλληλα αποδεικτικά στοιχεία και συλλογισμό.

Σε ό,τι αφορά στα γλωσσικά χαρακτηριστικά των εξηγήσεων, εξετάζονται η συγκρότηση των προτάσεων, το λεξιλόγιο, καθώς επίσης και η ορθότητα των γλωσσικών συμβάσεων (γραμματικοί, συντακτικοί κανόνες και κανόνες στίξης).

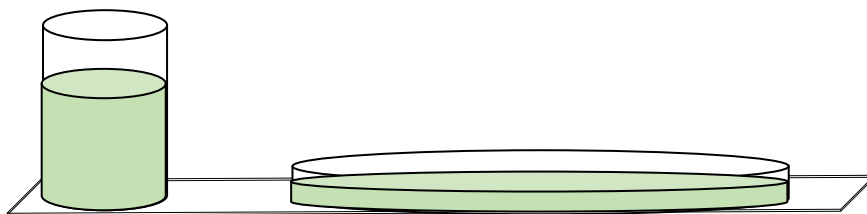


Σχήμα 1: Το εργαλείο αξιολόγησης της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών.

Στη συνέχεια, παρατίθενται μια ερώτηση και τρία παραδείγματα εξηγήσεων που αφορούν στο φαινόμενο της εξάτμισης των υγρών σωμάτων συνοδευόμενα από τη διαδικασία αξιολόγησής τους.

### Ερώτηση

Το φλιτζάνι και το πιάτο βρίσκονται στον ίδιο χώρο και περιέχουν καυτό τσάι ίδιας θερμοκρασίας, ίδιας σύστασης και ίδιας ποσότητας.



Το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα στο πιάτο ή στο φλιτζάνι; Μπορείς να εξηγήσεις την απάντησή σου;

### Εξήγηση 1 (εξήγηση μαθητή ηλικίας 14 ετών)

«Στο πιάτο το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα, γιατί εκεί το τσάι έχει μεγαλύτερη επιφάνεια».

#### Αξιολόγηση εξήγησης 1

Σχετικά με τη δομή της, η εξήγηση αυτή περιλαμβάνει ισχυρισμό («Στο πιάτο το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα») και ένα αποδεικτικό στοιχείο («εκεί το τσάι έχει μεγαλύτερη επιφάνεια»). Ειδικότερα:

- περιλαμβάνει ισχυρισμό, ο οποίος κρίνεται επαρκής (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει ένα μόνο αποδεικτικό στοιχείο και όχι όλα τα αποδεικτικά στοιχεία που απαιτούνται για την υποστήριξη του ισχυρισμού (επίπεδο 1)
- δεν περιλαμβάνει συλλογισμό (επίπεδο 0)
- δεν περιλαμβάνει αντίκρουση (επίπεδο 0).

Αναφορικά με το περιεχόμενό της, η εξήγηση αυτή:

- περιλαμβάνει ισχυρισμό, ο οποίος είναι κατάλληλος (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει ένα αποδεικτικό στοιχείο, το οποίο είναι κατάλληλο (επίπεδο 2)
- δεν περιλαμβάνει συλλογισμό (επίπεδο 0)
- δεν περιλαμβάνει αντίκρουση (επίπεδο 0).

Ως προς τα γλωσσικά στοιχεία της, στην εξήγηση αυτή:

- υπάρχει μια πλήρης πρόταση με απλή δομή (επίπεδο 1)
- υπάρχει περιορισμένο λεξιλόγιο (επίπεδο 1)
- δεν εντοπίζονται γραμματικά, συντακτικά λάθη, καθώς επίσης και λάθη στίξης (επίπεδο 2)

Συνεπώς, η ποιότητα της συγκεκριμένης εξήγησης είναι χαμηλή ως προς τη δομή, μέση ως προς το περιεχόμενο και υψηλή ως προς τα γλωσσικά χαρακτηριστικά της.

### Εξήγηση 2 (εξήγηση μαθητή ηλικίας 14 ετών)

«Το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα στο φλιτζάνι. Η επιφάνεια του τσαγιού στο φλιτζάνι δεν είναι ίδια όπως στο πιάτο. Το τσάι εξατμίζεται πιο γρήγορα όταν έχει μικρή επιφάνεια. Επειδή η επιφάνεια του τσαγιού είναι πιο μικρή στο φλιτζάνι, εκεί θα κρυώσει πιο γρήγορα το τσάι».

#### Αξιολόγηση εξήγησης 2

Σχετικά με τη δομή της η εξήγηση αυτή περιλαμβάνει ισχυρισμό («Το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα στο φλιτζάνι»), ένα αποδεικτικό στοιχείο («Η επιφάνεια του τσαγιού στο φλιτζάνι δεν είναι ίδια όπως στο πιάτο») και συλλογισμό («Το τσάι εξατμίζεται πιο γρήγορα όταν έχει μικρή επιφάνεια. Επειδή η

επιφάνεια του τσαγιού είναι πιο μικρή στο φλιτζάνι, εκεί θα κρυώσει πιο γρήγορα το τσάι»).

Ειδικότερα:

- περιλαμβάνει ισχυρισμό, ο οποίος κρίνεται επαρκής (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει ένα μόνο αποδεικτικό στοιχείο και όχι όλα τα αποδεικτικά στοιχεία που απαιτούνται για την υποστήριξη του ισχυρισμού (επίπεδο 1)
- υπάρχει συλλογισμός, ο οποίος περιλαμβάνει μια αρχή («Το τσάι εξατμίζεται πιο γρήγορα όταν έχει μικρή επιφάνεια») και συνδέει επαρκώς το αποδεικτικό στοιχείο με τον ισχυρισμό (επίπεδο 2)
- δεν περιλαμβάνει αντίκρουση (επίπεδο 0).

Αναφορικά με το περιεχόμενό της η εξήγηση αυτή:

- περιλαμβάνει ισχυρισμό, ο οποίος κρίνεται ακατάλληλος (επίπεδο 0)
- περιλαμβάνει ένα αποδεικτικό στοιχείο, το οποίο είναι κατάλληλο (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει συλλογισμό, ο οποίος συνδέει ακατάλληλα το αποδεικτικό στοιχείο με τον ισχυρισμό και υπάρχει ακατάλληλη επιστημονική αρχή (επίπεδο 0)
- δεν περιλαμβάνει αντίκρουση (επίπεδο 0).

Ως προς τα γλωσσικά στοιχεία της, στην εξήγηση αυτή:

- υπάρχουν τρεις πλήρεις προτάσεις με απλή δομή (επίπεδο 1)
- υπάρχει περιορισμένο λεξιλόγιο (επίπεδο 1)
- δεν εντοπίζονται γραμματικά, συντακτικά λάθη, καθώς επίσης και λάθη στίξης (επίπεδο 2)

Συνεπώς, η ποιότητα της συγκεκριμένης εξήγησης είναι υψηλή ως προς τη δομή, χαμηλή ως προς το περιεχόμενο και υψηλή ως προς τα γλωσσικά χαρακτηριστικά της.

Εξήγηση 3 (εξήγηση μαθητή ηλικίας 17 ετών)

«Το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα στο πιάτο. Το πιάτο και το φλιτζάνι, περιέχουν τσάι ίδιας σύστασης, όπως και θερμοκρασίας. Το πιάτο και το φλιτζάνι βρίσκονται επίσης στον ίδιο χώρο. Η ελεύθερη επιφάνεια του τσαγιού στο πιάτο είναι μεγαλύτερη από αυτήν στο φλιτζάνι, όπως προκύπτει από το σχήμα. Όταν η σύσταση και η θερμοκρασία είναι ίδια, όσο μεγαλύτερη είναι η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα εξάτμισής του. Επειδή η ελεύθερη επιφάνεια του τσαγιού στο πιάτο είναι μεγαλύτερη από αυτήν στο φλιτζάνι, η ταχύτητα εξάτμισης του τσαγιού στο πιάτο θα είναι μεγαλύτερη και έτσι το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα στο πιάτο. Δεν θα κρυώσει πιο γρήγορα το τσάι στο φλιτζάνι, επειδή η ελεύθερη επιφάνεια του τσαγιού στο φλιτζάνι είναι μικρότερη από αυτήν στο πιάτο και επομένως η ταχύτητα εξάτμισης του τσαγιού στο φλιτζάνι θα είναι μικρότερη από την ταχύτητα εξάτμισης του τσαγιού στο πιάτο».

Αξιολόγηση εξήγησης 3

Σχετικά με τη δομή της, η εξήγηση αυτή περιλαμβάνει ισχυρισμό («Το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα στο πιάτο»), αποδεικτικά στοιχεία («Το πιάτο και το φλιτζάνι, περιέχουν τσάι ίδιας σύστασης, όπως και θερμοκρασίας. Το πιάτο και το φλιτζάνι βρίσκονται επίσης στον ίδιο χώρο. Η ελεύθερη επιφάνεια του τσαγιού στο πιάτο είναι μεγαλύτερη από αυτήν στο φλιτζάνι, όπως προκύπτει από το σχήμα»), συλλογισμό («Όταν η σύσταση και η θερμοκρασία είναι ίδια, όσο μεγαλύτερη είναι η ελεύθερη επιφάνεια του υγρού τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα εξάτμισής του. Επειδή η ελεύθερη επιφάνεια του τσαγιού στο πιάτο είναι μεγαλύτερη από αυτήν στο φλιτζάνι, η ταχύτητα εξάτμισης του τσαγιού στο πιάτο θα είναι μεγαλύτερη και έτσι το τσάι θα κρυώσει πιο γρήγορα στο πιάτο») και αντίκρουση («Δεν θα κρυώσει πιο γρήγορα το τσάι στο φλιτζάνι, επειδή η ελεύθερη επιφάνεια του τσαγιού στο φλιτζάνι είναι μικρότερη από αυτήν στο πιάτο και επομένως η ταχύτητα εξάτμισης του τσαγιού στο φλιτζάνι θα είναι μικρότερη από την ταχύτητα εξάτμισης του τσαγιού στο πιάτο»). Ειδικότερα:

- περιλαμβάνει ισχυρισμό, ο οποίος κρίνεται επαρκής (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει επαρκή αποδεικτικά στοιχεία (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει επαρκή συλλογισμό, ο οποίος περιλαμβάνει μια αρχή και συνδέονται -μέσω αυτής- τα αποδεικτικά στοιχεία με τον ισχυρισμό (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει αντίκρουση, η οποία κρίνεται επαρκής (επίπεδο 2).

Αναφορικά με το περιεχόμενό της, η εξήγηση αυτή:

- περιλαμβάνει ισχυρισμό, ο οποίος είναι κατάλληλος (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει αποδεικτικά στοιχεία τα οποία είναι κατάλληλα (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει συλλογισμό, ο οποίος συνδέει κατάλληλα τα αποδεικτικά στοιχεία με τον ισχυρισμό και υπάρχει κατάλληλη επιστημονική αρχή (επίπεδο 2)
- περιλαμβάνει αντίκρουση που είναι κατάλληλη (επίπεδο 2).

Ως προς τα γλωσσικά στοιχεία της, στην εξήγηση αυτή:

- υπάρχουν πλήρεις προτάσεις με συνεκτική δομή (επίπεδο 2)
- υπάρχει εξειδικευμένο λεξιλόγιο (π.χ. ελεύθερη επιφάνεια υγρού, ταχύτητα εξάτμισης) (επίπεδο 2)
- δεν εντοπίζονται γραμματικά, συντακτικά λάθη, καθώς επίσης και λάθη στίξης (επίπεδο 2)

Συνεπώς, η ποιότητα της συγκεκριμένης εξήγησης είναι υψηλή ως προς τη δομή, υψηλή ως προς το περιεχόμενο και υψηλή ως προς τα γλωσσικά χαρακτηριστικά της.

### Προτάσεις αξιοποίησης του εργαλείου αξιολόγησης της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών

Ένας λόγος στον οποίο μπορεί να αποδοθεί η δυσκολία των μαθητών να συγκροτούν ποιοτικές εξηγήσεις είναι ότι οι μαθητές σπάνια υποστηρίζονται, στην προσπάθειά τους να συγκροτήσουν εξηγήσεις, από τους εκπαιδευτικούς κατά τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (Newton, Driver, & Osborne, 1999). Έχει ακόμα επισημανθεί ότι είναι αναγκαία η δημιουργία ενός πλαισίου που να υποστηρίζει εκπαιδευτικούς και μαθητές σε αυτή τη διαδικασία και να βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν τη διαδικασία τεκμηρίωσης ενός ισχυρισμού (McNeill & Krajcik, 2012; Σκουμιός & Χατζηνικήτα, 2013).

Το προτεινόμενο εργαλείο αξιολόγησης της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών (βλ. Σχήμα 1) μπορεί να συνεισφέρει προς αυτή την κατεύθυνση. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να αξιοποιηθεί τόσο στο πεδίο της διδακτικής πράξης όσο και στο πεδίο της έρευνας.

Στο πεδίο της διδακτικής πράξης, το εργαλείο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον εκπαιδευτικό για τη συστηματική αξιολόγηση των γραπτών εξηγήσεων των μαθητών του. Παράλληλα, μπορεί να αποτελέσει τη βάση για τη συγκρότηση ενός φύλλου περιγραφικής αξιολόγησης της ικανότητας του μαθητή να παράγει τεκμηριωμένες εξηγήσεις. Με τη βοήθεια αυτού, ο εκπαιδευτικός μπορεί να προσδιορίσει με σαφήνεια τις ενέργειες-παρεμβάσεις στις οποίες θα πρέπει να προβεί προκειμένου να αναπτυχθεί περαιτέρω η ικανότητα του μαθητή να παράγει τεκμηριωμένες εξηγήσεις. Επίσης, με τη χρήση αυτού του εργαλείου μπορεί ο εκπαιδευτικός να μελετήσει την εξέλιξη της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων του μαθητή με την πάροδο του χρόνου. Επιπρόσθετα, το εργαλείο αυτό ή μια κατάλληλα τροποποιημένη εκδοχή του είναι δυνατόν να τεθεί στη διάθεση του μαθητή προκειμένου ο ίδιος να αξιολογήσει -με βάση αυτό- μια γραπτή εξήγηση που έχει παράγει (αυτο-αξιολόγηση) ή μια εξήγηση κάποιου άλλου συμμαθητή του (ετερο-αξιολόγηση) και να εντοπίσει τα «δυνατά» και «αδύνατα» στοιχεία των εξηγήσεων.

Στο πεδίο της έρευνας, το εργαλείο αυτό μπορεί να συνεισφέρει στην αξιολόγηση της εξέλιξης της ποιότητας των εξηγήσεων των μαθητών κατά τη διάρκεια διδασκαλιών που αποσκοπούν στην ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών να παράγουν τεκμηριωμένες εξηγήσεις. Επιπλέον, μπορεί να



συμβάλλει στη συζήτηση που αφορά στους λόγους που θεμελιώνουν τη χαμηλή ποιότητα των εξηγήσεων των μαθητών. Ειδικότερα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να απαντηθεί το ερώτημα αν η χαμηλή ποιότητα των εξηγήσεων των μαθητών οφείλεται στην ελλιπή κατανόηση του περιεχομένου των Φυσικών Επιστημών ή στην έλλειψη γνώσης της δομής μιας τεκμηριωμένης εξήγησης και ειδικότερα των στοιχείων που υποστηρίζουν ένα ισχυρισμό (αποδεικτικά στοιχεία, συλλογισμός και αντίκρουση) (Metz, 2000). Επίσης, με τη βοήθεια του εργαλείου αυτού μπορεί να διερευνηθεί αν σχετίζεται η ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών να παράγουν τεκμηριωμένες γραπτές εξηγήσεις με την επίδοσή τους στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών (McNeill & Krajcik, 2008; Sampson, Grooms & Walker, 2011), καθώς επίσης και αν η ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών να παράγουν υψηλής ποιότητας εξηγήσεις ως προς τη δομή τους προηγείται ή έπεται της ανάπτυξης της ικανότητας να παράγουν υψηλής ποιότητας εξηγήσεις ως προς το περιεχόμενό τους.

Οι παραπάνω προτάσεις συνιστούν περισσότερο προτάσεις για μελλοντική έρευνα η οποία θα αναδείξει την εγκυρότητα του προτεινόμενου εργαλείου και κατά συνέπεια τη συμβολή του στη διερεύνηση και την εξέλιξη της ποιότητας των γραπτών εξηγήσεων που παράγουν οι μαθητές.

### Βιβλιογραφία

- Achieve, Inc. (2013). *Next Generation Science Standards* (2013). Retrieved from <http://www.nextgenscience.org/>
- Bell, P., & Linn, M. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the Web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22, 797–817.
- Chinn, C., & Brown, D. E. (2000). Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 109–138.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287–312.
- Enderle, P., Grooms, J., & Sampson, V. (2012). Argument focused instruction and science proficiency in middle and high school. Paper presented in the symposium: “Argument focused instruction and science proficiency”, at the 2012 Annual conference of the National Association of Research in Science Teaching (NARST). Indianapolis, IN.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin’s Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Rodríguez, A. B., & Duschl, R. A. (2000). “Doing the lesson” or “doing science”: Argument in high school genetics. *Science Education*, 84, 757–792.
- Klein, P. D. (2004). Constructing scientific explanation through writing. *Instructional Science*, 32, 191-231.
- Krajcik, J., & McNeill, K. (2009). Designing Instructional Materials to Support Students’ in Writing Scientific Explanations: Using Evidence and Reasoning Across the Middle School Years. Paper Presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Hyatt Regency Orange County, Garden Grove, CA.
- McNeill, K. L. & Krajcik, J. (2007). Middle school students' use of appropriate and inappropriate evidence in writing scientific explanations. In Lovett, M & Shah, P (Eds.), *Thinking with data* (pp. 233-265). New York, NY: Taylor & Francis Group, LLC.

- McNeill, K. L. & Krajcik, J. (2008). Assessing middle school students' content knowledge and reasoning through written scientific explanations. In Coffey, J., Douglas, R., & Stearns, C. (Eds.), *Assessing science learning: Perspectives from research and practice* (pp. 101-116). Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
- McNeill, K. L. & Krajcik, J. (2012). *Supporting grade 5-8 students in constructing explanations in science: The claim, evidence and reasoning framework for talk and writing*. New York, NY: Pearson Allyn & Bacon.
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191.
- Metz, K. E. (2000). Young children's inquiry in biology: Building the knowledge bases to empower independent inquiry. In J. Minstrell & E. H. van Zee (eds.), *Inquiry into inquiry learning and teaching in science* (pp. 371-404). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (NRC). (2011). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21, 553-576.
- OECD (2006). *Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy: A framework for PISA 2006*. Paris: OECD Publishing.
- OECD (2013). *PISA 2015 Draft Science Framework*. Retrieved from <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>.
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328, 463-466
- Rivard, L. P. & Straw, S. B. (2000). The effect of talk and writing on learning science: An exploratory study. *Science Education*, 84, 566-593.
- Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. (2009). Argument-Driven Inquiry: A way to promote learning during laboratory activities. *The Science Teacher*, 76(7), 42-47.
- Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. (2011). Argument-Driven Inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written arguments: An exploratory study. *Science Education*, 95(2), 217-257.
- Sandoval, W. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *The Journal of the Learning Sciences*, 12, 5-51.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23, 23-55.
- Sandoval, W. A., & Reiser, B. J. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic scaffolds for scientific inquiry. *Science Education*, 88, 345-372.
- Σκουμιός, Μ. & Χατζηνικήτα, Β. (2013). Η ποιότητα των εξηγήσεων των μαθητών του δημοτικού στις Φυσικές Επιστήμες. Στο: Πιερράτος, Θ., Αρτέμη, Σ., Πολάτογλου, Χ. & Κουμαράς, Π. (επιμ.), *Πρακτικά Πανελληνίου Συνεδρίου: «Ποια Φυσική έχει νόημα να διδάσκονται τα παιδιά μας σήμερα»* (σ. 323-330). Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης και Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, [saph2013.web.auth.gr](http://saph2013.web.auth.gr).

Songer, N. B. & Gotwals, A. W. (2012). Guiding explanation construction by children at the entry points of learning progressions. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 141-165.

Tishman, S. & Perkins, D. (1997). The language of thinking. *Phi Delta Kappan*, 78, 368-374.

Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.



Ο Μιχάλης Σκουμιάς είναι Επίκουρος Καθηγητής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αιγαίου, στο πεδίο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εστιάζονται στη διερεύνηση των αντιλήψεων και των εμποδίων των μαθητών για έννοιες των Φυσικών Επιστημών, στην ανάπτυξη και την αξιολόγηση εκπαιδευτικού υλικού και στην επιμόρφωση εκπαιδευτικών.



Η Βασιλεία Χατζηνικήτα είναι Καθηγήτρια «Εκπαιδευτικής Έρευνας στην Πράξη» στο Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο και Διευθύντρια Σπουδών του Μεταπτυχιακού Προγράμματος «Σπουδές στην Εκπαίδευση». Τα ερευνητικά της ενδιαφέροντα επικεντρώνονται στη μεθοδολογία της εκπαιδευτικής έρευνας, στην καταγραφή και το διδακτικό μετασχηματισμό της πρακτικο-βιωματικής γνώσης των μαθητών στις φυσικές επιστήμες, στη διερεύνηση ερμηνευτικών παραγόντων των επιδόσεων των Ελλήνων μαθητών στο πρόγραμμα PISA, στην ανάλυση, παραγωγή και αξιολόγηση εκπαιδευτικού υλικού.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

## **Το Πυθαγόρειο θεώρημα: μία διάσημη μαθηματική σχέση στον εργαστηριακό πάγκο της Φυσικής**

**Παναγιώτης Μουρούζης**

Το Πυθαγόρειο θεώρημα, το οποίο συνήθως περιγράφεται φορμαλιστικά από μία σχέση της μορφής  $\alpha^2 = \beta^2 + \gamma^2$ , είναι πιθανότατα η μαθηματική σχέση που έρχεται στο μυαλό των περισσότερων ανθρώπων όταν ανακαλούν το μάθημα των μαθηματικών από τα μαθητικά τους χρόνια. Μια σχέση που μόνο η περίφημη σχέση του Einstein  $E=mc^2$  μπορεί να τη συναγωνιστεί όσον αφορά την αναγνωρισιμότητά της από το ευρύ κοινό.

Όλοι μας σχετίζουμε την πρώτη σχέση με τα μαθηματικά και τη δεύτερη με τη Φυσική. Και αυτό γιατί μπορούμε να αποδείξουμε την πρώτη σχέση με τη χρήση των αξιωμάτων της Ευκλείδειας γεωμετρίας, άρα με τα μαθηματικά, ενώ η δεύτερη αποδεικνύεται στο πλαίσιο της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας, δηλαδή κάνοντας Φυσική (Rindler, 2001).

Μήπως όμως τα πράγματα δεν είναι έτσι; Μήπως το Πυθαγόρειο θεώρημα είναι ένας φυσικός νόμος που μπορεί να “ανακαλυφθεί” είτε θεωρητικά από πρώτες αρχές της Φυσικής είτε ακόμη και πειραματικά στο εργαστήριο Φυσικής; Μήπως τελικά και η ίδια η σχέση  $E=mc^2$  κρύβει μέσα της μία μορφή του νόμου αυτού;

### **Το Πυθαγόρειο θεώρημα υπό το φως των αρχών της Φυσικής**

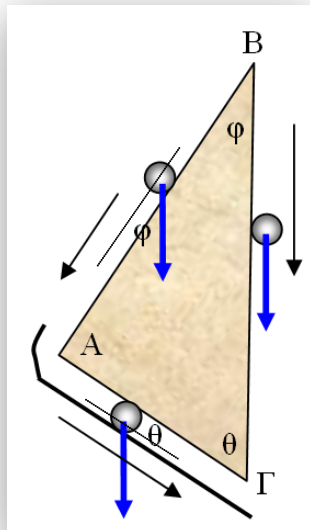
Είναι γνωστό ότι υπάρχουν περισσότερες από 300 καταγεγραμμένες μαθηματικές αποδείξεις του Πυθαγόρειου θεωρήματος<sup>1</sup>. Η προσφυγή στο εργαστήριο Φυσικής μπορεί να προσθέσει κι άλλες στο μακρύ αυτό κατάλογο. Θα παρουσιάσουμε δύο τέτοιες αποδείξεις βασιζόμενοι ως επί το πλείστον σε γνωστές αρχές και νόμους της Φυσικής.

#### *1η απόδειξη: κίνηση στο συντηρητικό βαρυτικό πεδίο*

Το βαρυτικό πεδίο είναι συντηρητικό. Με άλλα λόγια το έργο του βάρους κατά τη μετακίνηση ενός αντικειμένου από ένα σημείο Β ενός βαρυτικού πεδίου σε ένα άλλο σημείο Γ (Σχήμα 1), είναι ανεξάρτητο της διαδρομής που ακολουθείται: εξαρτάται μόνο από τη θέση των δύο σημείων. Άρα στο

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Σχήμα 1, στο οποίο το τρίγωνο ABΓ είναι ορθογώνιο με  $\hat{A} = 90^\circ$ , το έργο του βάρους της σφαίρας θα είναι το ίδιο είτε αν ακολουθηθεί η κατακόρυφη διαδρομή ΒΓ είτε αν ακολουθηθεί η διαδρομή ΒΑΓ.



Σχήμα 1. Μία σφαίρα μετακινείται από το σημείο Β στο σημείο Γ υπό την επίδραση του βάρους της (αναπαριστάται με το μπλε διάνυσμα), ακολουθώντας δύο δυνατές διαδρομές. Κάτω από την πλευρά ΑΓ η σφαίρα κινείται μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένο λούκι.

Από την ισότητα των δύο έργων, και το γεγονός ότι το βάρος σχηματίζει γωνία φ με την κατεύθυνση της κίνησης στη διαδρομή ΒΑ και γωνία θ στη διαδρομή ΑΓ, προκύπτει:

$$W_{AB} = W_{BA\Gamma} \Rightarrow$$

$$Mg(B\Gamma) = Mg(BA)\sigma\upsilon\nu\phi + Mg(A\Gamma)\sigma\upsilon\nu\theta \Rightarrow$$

$$(B\Gamma) = (BA) \frac{(AB)}{(B\Gamma)} + (A\Gamma) \frac{(A\Gamma)}{(B\Gamma)} \Rightarrow$$

$$\alpha^2 = \beta^2 + \gamma^2$$

Η τελευταία σχέση είναι φυσικά το Πυθαγόρειο θεώρημα!

*2η απόδειξη: το εργαλείο “διαστατική ανάλυση”*

Μία σχέση μεταξύ φυσικών μεγεθών διαφέρει από μία μαθηματική σχέση στο ότι η πρώτη είναι αναγκαίο να είναι σωστή και διαστατικά. Πρέπει δηλαδή να προστίθενται μεταξύ τους μεγέθη που έχουν τις ίδιες πάντα μονάδες και οι μονάδες του πρώτου μέλους να είναι ίδιες με τις μονάδες του δεύτερου μέλους της σχέσης. Από την άλλη, μία μαθηματική σχέση αναφέρεται πιο αφηρημένα σε αριθμούς οπότε δεν είναι απαραίτητη η διαστατική επαλήθευση της σχέσης. Η δεύτερη προτεινόμενη απόδειξη του Πυθαγόρειου θεωρήματος στηρίζεται σε αυτό ακριβώς το όπλο της Φυσικής.

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Ένα ορθογώνιο τρίγωνο μπορεί να κατασκευαστεί αν δοθεί η υποτείνουσα και μία οξεία γωνία του. Επομένως το εμβαδόν  $S$  του τριγώνου θα είναι συνάρτηση της υποτείνουσας  $\alpha$  και της γωνίας  $\theta$ . Με άλλα λόγια:

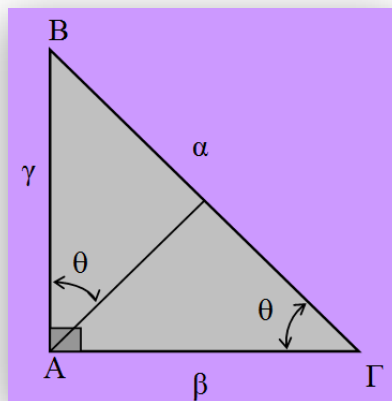
$$S = f(\alpha, \theta) \quad (1)$$

Αλλά η υποτείνουσα έχει διαστάσεις μήκους ενώ η γωνία  $\theta$  είναι αδιάστατη. Το εμβαδό βέβαια έχει διαστάσεις (μήκος)<sup>2</sup>. Άρα, για να είναι η (1) διαστασιακά σωστή θα πρέπει η συνάρτηση να έχει διαστάσεις (μήκος)<sup>2</sup>. Συνεπώς η συνάρτηση πρέπει να παίρνει την μορφή:

$$S = f(\alpha, \theta) = \alpha^2 g(\theta) \quad (2)$$

όπου  $g$  αδιάστατη συνάρτηση της γωνίας  $\theta$  η οποία λόγω συμμετρίας θα είναι ίδια για όλα τα όμοια ορθογώνια τρίγωνα.

Φέρνουμε την κάθετη στην υποτείνουσα από την κορυφή  $A$ . Το τρίγωνο  $AB\Gamma$  έχει χωριστεί τώρα σε δύο όμοια τρίγωνα (Σχήμα 2).



Σχήμα 2

Εφαρμόζοντας τους ίδιους συλλογισμούς που οδήγησαν στην (2) σε κάθε ένα από αυτά τα τρίγωνα θα έχουμε:

$$S = f(\beta, \theta) = \beta^2 g(\theta) \quad (3\alpha)$$

$$S = f(\gamma, \theta) = \gamma^2 g(\theta) \quad (3\beta)$$

Αλλά  $S=S_1+S_2$  οπότε συνδυάζοντας τις (2) και (3) παίρνουμε:

$$\alpha^2 g(\theta) = \beta^2 g(\theta) + \gamma^2 g(\theta) \quad (4)$$

Προφανώς πρέπει να είναι  $g(\theta) \neq 0$  οπότε από την (4) έχουμε τελικά:

$$\alpha^2 = \beta^2 + \gamma^2$$

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

### Το Πυθαγόρειο θεώρημα στο εργαστήριο Φυσικής

Μπορούμε επομένως να “αποδείξουμε” το Πυθαγόρειο θεώρημα χρησιμοποιώντας αρχές της Φυσικής. Μπορούμε άραγε να το αποδείξουμε και πειραματικά όπως συμβαίνει με τους Φυσικούς νόμους; Η απάντηση είναι θετική. Η πειραματική απόδειξη του Πυθαγόρειου θεωρήματος μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους.

Ένας πανέμορφος τρόπος που είναι ευρέως γνωστός στο διαδίκτυο είναι μία κατασκευή με νερό (<http://www.youtube.com/watch?v=CAkMUdeB06o>). Ένας άλλος τρόπος, που δεν απαιτεί ιδιαίτερες κατασκευές, προτείνεται στο φύλλο εργασίας που δίνεται στο Παράρτημα, στο τέλος του άρθρου. Πρόκειται για μία ανακαλυπτικού τύπου δραστηριότητα για μαθητές Γυμνασίου. Σε αυτήν οι μαθητές καλούνται να μετρήσουν, να επεξεργαστούν δεδομένα και να καταλήξουν επαγωγικά σε έναν “φυσικό νόμο”. Η διαδικασία αυτή έχει επιστημολογική αξία. Πιθανόν, αν και υπάρχουν διαφωνίες επί του θέματος, με παρόμοιο τρόπο να ανακάλυψαν και οι Βαβυλώνιοι το Πυθαγόρειο θεώρημα, ίσως 1000 χρόνια πριν τον Πυθαγόρα, μετρώντας τις πλευρές ενός ορθογωνίου τριγώνου και διαπιστώνοντας ότι σε όλα τα ορθογώνια ισχύει η περίφημη σχέση (Αραμπατζής κ.α., 1999, σ. 21-22).



Εικόνα 1. Πειραματική “απόδειξη” του θεωρήματος με τη χρήση δυναμόμετρων (Αντωνίου κ.α., 2006, σ. 51).

Πίσω στο εργαστήριο, δεν έχουμε παρά να δοκιμάσουμε με τους μαθητές μας το απλό πείραμα που φαίνεται στην Εικόνα 1 (Αντωνίου κ.α., 2006). Μία κασετίνα αναρτάται από δύο δυναμόμετρα που σχηματίζουν ορθή γωνία μεταξύ τους και ισορροπεί. Καταγράφονται οι ενδείξεις τους: 4N και 3N αντίστοιχα. Η ίδια κασετίνα ισορροπεί στη συνέχεια με τον ίδιο ακριβώς τρόπο από ένα μόνο δυναμόμετρο που δείχνει ένδειξη 5N. Το πείραμα πραγματοποιείται για να αποδείξουμε τον περίφημο νόμο του παραλληλογράμμου, σύμφωνα με τον οποίο η συνισταμένη δύο διανυσμάτων δίνεται κατά μέτρο και κατεύθυνση από τη διαγώνιο του παραλληλογράμμου που σχηματίζουν τα δύο διανύσματα. Το πείραμα, όπως μπορούν να διαπιστώσουν οι μαθητές ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία με αυτή που παρουσιάζεται στο φύλλο εργασίας, μας αποκαλύπτει ότι σε αυτή την περίπτωση ισχύει η σχέση  $F_{ολ}^2 = F_1^2 + F_2^2$  δηλαδή για άλλη μία φορά, το Πυθαγόρειο θεώρημα.



## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

### “Κλείνοντας το μάτι” στη σχετικότητα

Όσα παρουσιάστηκαν μέχρι στιγμής μπορούν να εφαρμοστούν στις τάξεις Φυσικής του Γυμνασίου. Για όσους ενδιαφέρονται να ρίξουν λίγο φως στη σχέση που κρύβεται ανάμεσα στη σχέση  $E=mc^2$  και το Πυθαγόρειο θεώρημα θα χρειαστεί να ανασύρουν από τη μνήμη τους γνώσεις από τα φοιτητικά τους χρόνια. Ενδεχομένως, στο σημείο αυτό ο αναγνώστης να ήθελε να ανατρέξει στα εγχειρίδια του Rindler (2001) και του Pauli (1981) για να θυμηθεί τις βασικές αρχές και το μαθηματικό οπλοστάσιο της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας.

Έτσι, η περίφημη σχέση  $E=mc^2$  προκύπτει από τη σχέση που συνδέει την ενέργεια  $E$  με την ορμή  $p$  και τη μάζα ηρεμίας  $m_0$  ενός σώματος:

$$E^2 - p^2c^2 = m_0^2c^4$$

όπου  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός. Από την παραπάνω σχέση της ενέργειας παρατηρούμε ότι αν αλλάξουμε σύστημα αναφοράς, λόγω της σταθερότητας της ταχύτητας του φωτός καθώς και της μάζας ηρεμίας, θα ισχύει η σχέση:

$$E^2 - p^2c^2 = E'^2 - p'^2c^2$$

όπου  $E'$  και  $p'$  η ενέργεια και η ορμή στο νέο σύστημα αναφοράς.

Στην Ειδική Θεωρία της Σχετικότητας, το τετραδιάνυσμα ορμής - ενέργειας σχετίζεται με το τετραδιάνυσμα θέσης-χρόνου. Έτσι μία παρόμοια σχέση με την τελευταία ισχύει και ανάμεσα στο χρόνο και το χώρο:

$$x^2 - c^2t^2 = x'^2 - c^2t'^2$$

Οι παραπάνω σχέσεις ορμής-ενέργειας ή χώρου-χρόνου εκφράζουν, όμως, ουσιαστικά τη γενίκευση του Πυθαγόρειου θεωρήματος σε έναν ψευδοευκλείδιο χώρο. Έτσι αν σε έναν τέτοιο χώρο έχουμε μία ράβδο που η μία άκρη της βρίσκεται στην αρχή των αξόνων και η άλλη έχει συντεταγμένες  $x, y$  το μήκος της ράβδου σε αυτόν τον χώρο δίνεται από τη σχέση  $a^2=y^2-x^2$ . Το μήκος αυτό είναι σταθερό και ανεξάρτητο από το αν περιστρέψουμε ή όχι το σύστημα αναφοράς.

Μια διαφορά είναι ότι ενώ το Πυθαγόρειο θεώρημα στον ευκλείδιο χώρο εκφράζεται τριγωνομετρικά από τη σχέση:

$$\sin^2x + \cos^2x = 1$$

στην ψευδοευκλείδια γεωμετρία που χαρακτηρίζει την ειδική θεωρία σχετικότητας εκφράζεται από τη σχέση

$$\cosh^2x - \sinh^2x = 1$$

όπου  $\cosh$  και  $\sinh$  οι συναρτήσεις υπερβολικό συνημίτονο και υπερβολικό ημίτονο αντίστοιχα.

### Συμπερασματικά

Η σχέση μεταξύ της Φυσικής και των μαθηματικών μοιάζει να είναι πολύ πιο στενή από αυτή που συνήθως μαθαίνουμε στο σχολείο. Στην εργασία αυτή επιχειρήθηκε να αναδειχθεί η σχέση αυτή μέσα από τη διαπραγμάτευση ενός μαθηματικού θεωρήματος με όρους Φυσικής.

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Η άποψη του συγγραφέα είναι ότι τα μαθηματικά δεν είναι ένα ανθρώπινο δημιούργημα έξω από τη φύση που μας περιβάλλει, ούτε αποτελούν απλά τη γλώσσα της Φυσικής. Τα μαθηματικά ίσως να είναι ένα διαφορετικό μονοπάτι, καθαρά νοητικό, διερεύνησης της φύσης. Με άλλα λόγια τα μαθηματικά αποτελούν τον πλατωνικό τρόπο διερεύνησης της φύσης.

Γι αυτό και πιστεύουμε ότι είναι προς τη λανθασμένη κατεύθυνση η άποψη ότι όσο λιγότερα μαθηματικά χρησιμοποιούμε στη διδασκαλία της Φυσικής τόσο πιο εύκολη και πιο κατανοητή γίνεται από τους μαθητές. Θεωρούμε ότι η χρήση των μαθηματικών στη διδασκαλία της Φυσικής θα πρέπει να συνάδει με το επίπεδο γνώσης των μαθητών στα μαθηματικά. Αυτό μπορεί να γίνει στη πράξη, αν το αναλυτικό πρόγραμμα της Φυσικής και των μαθηματικών εκπονείται από κοινού.

### Παραπομπές

1. Μπορείτε να δείτε 100 περίπου αυτές στη διεύθυνση: <http://www.cut-the-knot.org/pythagoras/index.shtml>

### Βιβλιογραφικές αναφορές

Pauli, W. (1981). *Theory of Relativity*, Dover Publications, New York.

Rindler W. (2001). *Εισαγωγή στην Ειδική Σχετικότητα*, (Μετάφρ. Θ. Γραμμένος), Leader Books.

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης Π., Καμπούρης Κ., Παπαμιχάλης Κ., Παπασιμίπα, Λ. (2006). *Φυσική της Β' Γυμνασίου*. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGYM-B200/455/2985,11970/>  
Αραμπατζής, Θ., Γαβρόγλου, Κ., Διαλέτης, Δ., Χριστιανίδης, Γ., Κανδεράκης, Ν., Βερνίκος Σ. (1999). *Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας*. ΟΕΔΒ. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://ebooks.edu.gr/courses/DSGL-C114/document/4deb5af4rqg4/4deb5af4tdig/4e2c28cayuy0.pdf>

### Παράρτημα

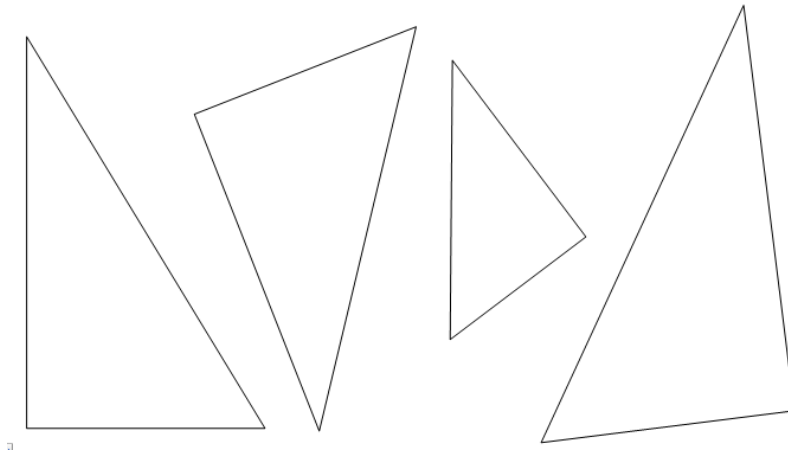
Φύλλο εργασίας

Μετρήσεις μήκους - Ανακάλυψη ενός φυσικού νόμου.

#### *Βήμα 1ο*

Παρακάτω είναι ζωγραφισμένα 4 ορθογώνια τρίγωνα. Μετρήστε με το χάρακά σας τις κάθετες πλευρές και την υποτείνουσα του κάθε τριγώνου και συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα. Τις τιμές θα τις γράψετε με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου και με τις μονάδες τους. Έτσι θα συμπληρωθούν οι 3 πρώτες στήλες του παρακάτω πίνακα.

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο



| Υποτείνουσα<br>$\alpha$ | 1 <sup>η</sup> κάθετος<br>$\beta$ | 2 <sup>η</sup> κάθετος<br>$\gamma$ | $\alpha^2$ | $\beta^2$ | $\gamma^2$ | $\beta^2 + \gamma^2$ | $\alpha^2 / (\beta^2 + \gamma^2)$ |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------|-----------|------------|----------------------|-----------------------------------|
|                         |                                   |                                    |            |           |            |                      |                                   |
|                         |                                   |                                    |            |           |            |                      |                                   |
|                         |                                   |                                    |            |           |            |                      |                                   |
|                         |                                   |                                    |            |           |            |                      |                                   |

### Βήμα 2ο

Χρησιμοποιώντας ένα κομπιουτεράκι συμπληρώστε τις υπόλοιπες στήλες του πίνακα. Προσοχή! Σε όλες τις στήλες θα γράψετε τους αριθμούς με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου κάνοντας τη σωστή προσέγγιση και με τις σωστές μονάδες.

### Βήμα 3ο

Παρατηρώντας τις τιμές της τελευταίας στήλης σε ποιο γενικό συμπέρασμα μπορείτε να καταλήξετε; Γράψτε με δικά σας λόγια το συμπέρασμα στο οποίο καταλήξατε

### Πρόβλημα για το σπίτι – εφαρμογή της νέας γνώσης

Το μήκος μίας σκάλας είναι 1,5m. Στηρίζουμε το πάνω άκρο της σκάλας στο τοίχο και το κάτω άκρο στο πάτωμα σε απόσταση 0,5m από τον τοίχο. Σε πόσο ύψος από το έδαφος ακουμπάει η σκάλα στον τοίχο;

## Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο



Ο Παναγιώτης Μουρούζης έχει σπουδάσει Φυσική στο Παν. Αθηνών. Απέκτησε το μεταπτυχιακό του τίτλο στη Ραδιοηλεκτρολογία από το τμήμα Φυσικής του Παν. Αθηνών. Είναι από τους πρώτους που συνετέλεσαν στην καθιέρωση του θεσμού των Ε.Κ.Φ.Ε στη χώρα μας. Συγγραφέας εργαστηριακών οδηγιών, πλήθους επιστημονικών άρθρων και προδιαγραφών εργαστηρίων του Υπουργείου Παιδείας. Εισηγητής του θεσμού των Υπεύθυνων εργαστηρίων (ΥΣΕΦΕ). Υπεύθυνος του Ε.Κ.Φ.Ε Κέρκυρας διατηρεί τον ιστότοπο του Κέντρου <http://dide.ker.sch.gr/ekfe>

Στη στήλη “Φυσική(ς) ...Ιστορία” παρουσιάζονται εργασίες που αξιοποιούν στιγμιότυπα της ιστορίας των Φυσικών Επιστημών. Τα στιγμιότυπα αυτά πέρα από την επιμορφωτική αξία που μπορεί να έχουν για τους ίδιους τους εκπαιδευτικούς μπορούν ενδεχομένως, εάν εισαχθούν στη διδασκαλία, να προκαλέσουν το ενδιαφέρον των μαθητών και να αναδείξουν επιστημολογικά χαρακτηριστικά των Φυσικών Επιστημών.

### **Ο Όλε Ρέμερ και η περιπέτεια της “Mora Luminis”**

**Ελένη Παλαιολόγου**

Το βιβλίο Φυσικής Γενικής Παιδείας της Γ’ Λυκείου αναφέρει: «Πρώτος μέτρησε χονδρικά την ταχύτητα του φωτός ο Δανός αστρονόμος Ole Roemer (Όλε Ρέμερ, 1644-1710). Ο Roemer υπολόγισε ότι η τιμή της ταχύτητας του φωτός είναι περίπου  $2 \times 10^8$  m/s.» (Γεωργακάκος κ.α, 1999, σ. 16).

Είναι θεμιτό, η επιστημονική γνώση μέσα από μια αναπλαισίωση και μετασχηματισμό να μετατρέπεται σε σχολική. Έτσι μερικές φορές δημιουργούνται ασάφειες ή υπεραπλουστεύσεις. Είναι όμως αυτή η περίπτωση μας;

Αν ανατρέξουμε σε καθ’ όλα έγκυρους συγγραφείς της Ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας, θα εκπλαγούμε από το πόσες διαφορετικές τιμές της ταχύτητας του φωτός αποδίδονται στον Ρέμερ (Rømer). Και δεν είναι μόνο αυτό. Ο Torreti (2012, p. 49) σημειώνει: «Ο Andrzej Wóblewski έχει συγκροτήσει ένα διασκεδαστικό πίνακα με τιμές της ταχύτητας του φωτός που περιλαμβάνει τόσο διαφορετικές τιμές όπως η 193.120 Km/s και η 351.000 Km/s, οι οποίες αποδίδονται στον Ρέμερ σε καθιερωμένα συγγράμματα Φυσικής. Οι ημερομηνίες που δίνονται για την ανακάλυψη του Ρέμερ σ’ αυτά τα βιβλία κυμαίνονται από το 1656 – όταν αυτός ήταν ακόμα μικρό παιδί – μέχρι το 1876 όταν, ακόμα κι αν ο Ρέμερ ήταν ζωντανός, δεν θα ήταν καν σε ηλικία για να κάνει ανακαλύψεις – αλλά τείνουν να συσσωρεύονται στο χρονικό διάστημα 1673-78.» Ακόμη εντυπωσιακότερο είναι το γεγονός, ότι μερικοί συγγραφείς έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές τιμές της ταχύτητας του φωτός στα διαφορετικά κείμενά τους ή ακόμα και δύο διαφορετικές τιμές στο ίδιο βιβλίο. Μεταξύ των παραπλανηθέντων που “τώρα ξέρουν καλύτερα” περιλαμβάνεται και ο Wóblewski, όπως ομολογεί ο ίδιος (Wóblewski, 1985, p. 621) το 1941, ο ιστορικός των επιστημών Carl Boyer δημοσίευσε αντίστοιχο κατάλογο με παλαιότερα συγγράμματα Φυσικής (Boyer, 1941).

Διερευνώντας τα αίτια αυτής της “σύγχυσης”, θα αναδειχθεί η ουσιαστική συμβολή του Ρέμερ ανατρέχοντας σε πρωτογενείς και δευτερογενείς πηγές αλλά και σε σύγχρονους μελετητές έχοντας κατά νου ότι: «*Το ερώτημα προς διερεύνηση είναι πάντοτε η κατανόηση του ιστορικού πλαισίου στο οποίο εντάσσεται μια ανακάλυψη ή εφεύρεση*» (Γαβρόγλου, 2004, σ. 174).

### Ιστορικό πλαίσιο

Ακόμη και την εποχή του Ρέμερ ένα μεγάλο πρόβλημα που σχετιζόταν με την δημιουργία αξιόπιστων χαρτών και ναυσιπλοΐας ήταν ο προσδιορισμός του γεωγραφικού μήκους. Κάποιες αστρονομικές μέθοδοι της εποχής, βασιζόταν στη θεμελιώδη αρχή ότι ένα αστρονομικό συμβάν (π.χ. μια έκλειψη) λόγω της περιστροφής της Γης θα γινόταν αντιληπτό σε διαφορετικούς χρόνους για διαφορετικά γεωγραφικά μήκη. Αν λυνόταν και το πρόβλημα της ακριβούς μέτρησης της χρονικής διαφοράς τους τότε θα ήταν εύκολο να αναχθεί η χρονική διαφορά σε διαφορά μοιρών. Βασιλιάδες και κυβερνήσεις προσέφεραν μεγάλες αμοιβές για την λύση του προβλήματος (Matthews, 2011, pp. 90, 93-94).

Η Βασιλική Ακαδημία των Επιστημών του Παρισιού (Académie Royale des sciences), ιδρύθηκε το 1666 και ένα από τα πρώτα έργα που ανέλαβε, ήταν η δημιουργία ακριβέστερων χαρτών. Εν τω μεταξύ είχε εφευρεθεί και το ρολόι<sup>1</sup> - εκκρεμές του Χόυχενς το 1657, το οποίο ήταν αρκετά αξιόπιστο για μια εφαρμογή προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους (Cohen, 1940, p. 338).

Οι εκλείψεις της Σελήνης, σαν αστρονομικό συμβάν, δεν προσφερόταν τόσο πολύ μια και δεν ήταν τόσο συχνές. Αντίθετα προσφερόταν η μελέτη των εκλείψεων των τεσσάρων γνωστών δορυφόρων του Δία, όπως της Ιούς (το όνομα Ιώ αποδόθηκε αρκετά αργότερα) που παρουσιάζει περίοδο περίπου 42,5 ώρες.

Για ιστορικούς λόγους θα πρέπει να αναφερθεί ότι αυτοί οι δορυφόροι ανακαλύφθηκαν το 1610 από τον Γαλιλαίο. Όπως αναφέρει ο διακεκριμένος μελετητής του Γαλιλαίου Stillman Drake, η ύπαρξή τους «...αντέβαινε στην ιδέα των φυσικών φιλοσόφων ότι η Γη ήταν το κέντρο όλων των ουράνιων κινήσεων ...Οι φιλόσοφοι και οι αστρονόμοι στην πλειοψηφία τους τις χαρακτήρισαν οφθαλμαπάτες και γελοιοποίησαν τον Γαλιλαίο ή τον κατηγορήσαν ότι είναι απατεώνας». Το 1612, ο Γαλιλαίος, διαπίστωσε την ύπαρξη των εκλείψεων και παρουσίασε στην Ισπανική κυβέρνηση, μια μέθοδο προσδιορισμού του γεωγραφικού μήκους, αλλά η παρουσίαση αυτή δεν είχε αίσια κατάληξη (Drake, 1993, σ. 63, 101).

Πολλές δεκαετίες αργότερα, το “αφεντικό” του Ρέμερ, στο αστρονομικό παρατηρητήριο του Παρισιού, ο Κασσίνι (Cassini), ομολογεί ότι δεν είναι μόνο από περιέργεια η μελέτη της Ιούς, αλλά ότι κυρίως γίνεται για την γνώση του γεωγραφικού μήκους (Bobis & Lequeux, 2008, p. 97).

### Τα πιθανά γεγονότα

Ο Ρέμερ βασιζόμενος σε πολυετείς παρατηρήσεις των εκλείψεων της Ιούς, δικές του και συνεργατών του, διαπίστωσε ότι η φαινόμενη περίοδος της ήταν μεγαλύτερη όταν η Γη απομακρυνόταν απ’ ό,τι

όταν η Γη πλησίαζε στο δορυφόρο. Δηλαδή “φαινόμενο Doppler”; Κατά μια άποψη, η μέθοδος “Doppler”, χρησιμοποιήθηκε 166 χρόνια πριν περιγράψει το μηχανισμό της ο Christian Doppler το 1842 (Shea, 1998, p. 561).

Το Σεπτέμβριο του 1676, ο Ρέμερ έκανε μια εκπληκτική ανακοίνωση στη Βασιλική Ακαδημία των Επιστημών: ότι η επόμενη έκλειψη της Ιούς που αναμενόταν στις 9 Νοεμβρίου, θα καθυστερούσε κατά 10 λεπτά από τον υπολογισθέντα χρόνο με βάση προηγούμενες εκλείψεις. Το γεγονός τον επιβεβαίωσε (Cohen, 1940, p. 328).

Το Δεκέμβριο του ίδιου έτους δημοσίευσε την εξήγησή του στο *Journal des Scavans*, η οποία βασιζόταν στην παραδοχή ότι το φως είχε πεπερασμένη ταχύτητα. Το επόμενο έτος δημοσιεύθηκε και στα Αγγλικά, στο *Philosophical Transactions* της Βασιλικής Ακαδημίας (Rømer, 1677; Rømer, 1677 publ. 2008).

Για αναλυτικότερες περιγραφές, οι οποίες ξεφεύγουν από τον σκοπό του παρόντος άρθρου, διαφορετικούς τρόπους προσέγγισης, προβληματισμούς και ερμηνείες ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει σε διάφορες πηγές (Χριστοδουλίδης, 2013, σ. 5-7; Torreti, 2012, pp. 47-50; Holton, 2002, p. 491; Soter & Tyson, 2000; Μουρούζης, 2013) καθώς και το άρθρο των Babonić *et al.* (1991) το οποίο πραγματεύεται τη διαφορά μεταξύ των “*The traditional derivation of Roemer’s formula*” και “*The Doppler interpretation of Roemer’s result*”. Μια πρόταση για διδακτική αξιοποίηση αναφέρεται στο (Berthomieu, n.d.).

Πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι η μόλις δυο σελίδων δημοσιευμένη εργασία του Ρέμερ, δεν περιέχει επαρκείς πληροφορίες για κάποιον που θέλει να διαπιστώσει το πώς έφτασε σε αυτό το συμπέρασμα. Στο άρθρο (Shea, 1998, p. 564), υπάρχει μια καταγραφή και σχολιασμός των εκλείψεων. Ακόμη χειρότερα, οι περισσότερες σημειώσεις του καταστράφηκαν στην μεγάλη φωτιά της Κοπεγχάγης το 1728. Το 1913 ανακαλύφθηκε ένα χειρόγραφο του Ρέμερ με ένα κατάλογο σημειώσεων για τις εκλείψεις των δορυφόρων του Δία για τα έτη 1668-1677. Ο Ρέμερ είχε την πρόθεση να δημοσιεύσει μια πλήρη εργασία με τα δεδομένα που χρησιμοποίησε για να καταλήξει στα συμπεράσματά του, αλλά αυτό δεν έγινε ποτέ. Ανέφερε όμως σε επιστολή του προς τον Χούχενς ότι χρησιμοποίησε τα δεδομένα των ετών 1671, 1672, 1673. (Cohen, 1940, pp. 350-351, 366). Σε αυτό το χειρόγραφο, αναγράφεται και η σημείωση που αφορά την ταχύτητα του φωτός: «*1091 διάμετροι της Γης ανά λεπτό*» (Poulsen, n.d).

### Οι αντιδράσεις

Ο Κασσίνι διαφώνησε με την υπόθεση της πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός. Το ίδιο έκανε και ο Χούκ αλλά και αρκετοί άλλοι. Ανάμεσα σε αυτούς που την αποδέχθηκαν ήταν ο Νεύτων, ο Χάλει, ο Flamsteed και ο Χούχενς (Shea, 1998, p. 561). Είναι αξιοπρόσεκτο το ότι ο Κασσίνι στο παρελθόν είχε πιστέψει στην πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός αλλά αργότερα αναθεώρησε.

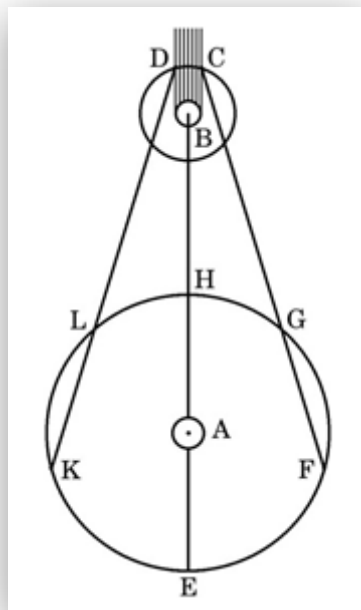
Στο σημείο αυτό θα μνημονεύσουμε ξανά τον Γαλιλαίο. Υποτιμώντας το μέγεθος της ταχύτητας του φωτός, πρότεινε ένα πείραμα το οποίο, υποτίθεται, ότι θα απαντούσε στο ερώτημα της πεπερασμένης ή όχι ταχύτητάς του, επιστρατεύοντας δύο παρατηρητές σε μεγάλη απόσταση που κρατούσαν φανάρια. Με τις σημερινές μας γνώσεις το πείραμα αυτό φαίνεται παιδαριώδες και a priori αποτυχημένο, αλλά την εποχή εκείνη που δημοσίευσε το έργο του “Διάλογοι για δύο νέες Επιστήμες”, (Galilei, 1638 publ. 1914, p. 43) το ημερολόγιο έγραφε 1638.

### Οι εκτιμήσεις του Ρέμερ

Διαβάζοντας την εργασία του Ρέμερ, η οποία είναι γραμμένη σε τρίτο πρόσωπο, σύμφωνα με ό,τι συνήθιζαν μερικές φορές τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, ξεχωρίζουμε δύο εκτιμήσεις για την ταχύτητα του φωτός.

Η πρώτη μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα κάτω όριο της ταχύτητας του φωτός. «...that for the distance of 3000 Leagues, such as is very near the Bigness of the Diameter of the Earth, light needs not one second of time»<sup>2</sup> (Rømer, 1677, p. 893). Δηλαδή κάνει την εκτίμηση, ότι χρειάζεται λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο για να διανύσει το φως απόσταση όση περίπου μία διάμετρος της Γης.

Η δεύτερη είναι μια ασαφής δήλωση που έχει ερμηνευθεί από τους περισσότερους μελετητές ότι το φως (Σχήμα 1) χρειάζεται 22 λεπτά για να διανύσει μία διάμετρο της τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο: «...and that in proportion of twenty two for the hole interval of HE which is the double of the interval that is from hence to the sun» (Rømer, 1677, p. 894). Αυτή η ερμηνεία έχει αμφισβητηθεί, ωστόσο, από πολλούς. Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στον Shea (1998) και στο Χριστοδουλίδη (2013, p. 7).



Σχήμα 1. Το φως ταξιδεύει από το σύστημα Δίας-Ιώ (B, C, D) στη Γη η οποία κατά τη διάρκεια του έτους βρίσκεται στις αντιδιαμετρικές θέσεις H και E. Στη θέση A είναι ο Ήλιος. Πηγή Rømer, 1677, publ.2008.



### Διαπιστώσεις

Από όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Πρώτον, ο Ρέμερ δεν επεδίωκε να αποδείξει ότι το φως έχει πεπερασμένη ταχύτητα, αλλά να συμβάλλει στην επίλυση του μεγάλου προβλήματος της εποχής που ήταν ο προσδιορισμός του γεωγραφικού μήκους.

Δεύτερον, πολύ περισσότερο δεν αναζητούσε μία τιμή της ταχύτητας του φωτός και ποτέ δεν δημοσίευσε μια τέτοια τιμή με σύγχρονους, ποσοτικούς όρους Φυσικής.

Ο Wróblewski αναφέρει αρκετές περιπτώσεις όπου συγγραφείς προσπάθησαν να δώσουν την δική τους ερμηνεία για αυτή τη συμπεριφορά του Ρέμερ γράφοντας ανακρίβειες και κάνοντας άστοχες υποθέσεις. Αν λάβουμε υπ' όψιν το ιστορικό πλαίσιο της εποχής ίσως συμφωνήσουμε μαζί του ότι «...δεν το ήθελε ή το έβρισκε άχρηστο ...Το πραγματικό πρόβλημα ήταν η καταπολέμηση του δόγματος ότι το φως διαδίδεται ακαριαία. Η ακριβής τιμή της ταχύτητας του φωτός δεν είχε και τόση σημασία» (Wróblewski, 1985, p. 623). Και μας δίνει ένα όμορφο παράδειγμα: «αν υποθέσουμε ότι στη σημερινή εποχή, κάποιος ανακοινώνει πως κάποια υλικά σωματίδια βρέθηκαν να κινούνται με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός, τότε πολύ λίγη σημασία θα έχει για το ποια είναι αυτή η ταχύτητα. Αυτό που θα έχει σημασία θα είναι η κατάρριψη του δόγματος της ειδικής θεωρίας της σχετικότητας» (Wróblewski, 1985, p. 626).

### Οι αναφορές των άλλων Φυσικών φιλοσόφων

Το 1677 ο Χόυχενς έγραψε στον Ρέμερ ρωτώντας τον αν τα 22 λεπτά ήταν σωστό νούμερο. Ο Ρέμερ το επιβεβαίωσε και παράλληλα προσπάθησε να του εξηγήσει γιατί η “καθυστέρηση” (“mora luminis”) δεν θα μπορούσε να προέρχεται από άλλους λόγους (Cohen, 1940, p. 348). Στα 1690 ο Χόυχενς στην πραγματεία του *Traité de la lumière (Treatise on Light)*, μεταφέρει αναλυτικά την εργασία του Ρέμερ αποδεχόμενος τα 22 λεπτά που χρειάζεται το φως για να διανύσει μια διάμετρο της τροχιάς της Γης «...in order to traverse the whole diameter of the annual orbit KL, which is double the distance from here to the sun, Light requires about 22 minutes of time» (Huygens, 1690 publ. 2005, p.10). Συνεχίζοντας τους υπολογισμούς του καταλήγει στο συμπέρασμα, ότι η ταχύτητα του φωτός είναι περίπου εξακόσιες χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα του ήχου. Βλέπουμε ότι 14 χρόνια μετά την εργασία του Ρέμερ, η ταχύτητα του φωτός δίνεται πάλι απλά σαν μια αναλογία.

Ο Νεύτων στην πρώτη έκδοση των *Principia* (1687) αναφέρει ότι το φως χρειάζεται περίπου 10 λεπτά για να διανύσει την απόσταση από τον Ήλιο στη Γη. Ωστόσο, το 1706 στην πρώτη έκδοση του *Opticks* (Newton, 1730, p. Defin. 2) άλλαξε την τιμή από 10 λεπτά σε περίπου 7 λεπτά. Στην δεύτερη έκδοση του *Principia* το 1713, αναφέρει ότι για να διανύσει το φως μια ακτίνα της τροχιάς της Γης απαιτούνται 7 ή 8 λεπτά. Αυτή την τιμή βλέπουμε και στην πρώτη Αμερικανική έκδοση του 1864. «...that light is propagated in succession and requires about seven or eight minutes to travel from the sun to earth» (Newton, 1864. 1st American ed., p. 246).

### Καταλήγοντας

Από την ανακοίνωση του Ρέμερ το 1676 μέχρι την δεύτερη έκδοση του *Principia* το 1713 έχουν περάσει 37 χρόνια και ακόμη ακολουθείται η πρακτική να δίνεται η ταχύτητα του φωτός ως αναλογία και όχι με σύγχρονους όρους Φυσικής. Ούτε αυτό όμως έχει καμία σημασία ούτε αν η οποιασδήποτε μορφής εκτίμηση της ταχύτητας είχε μικρό ή μεγάλο σφάλμα.

Η πραγματική και ουσιαστική συμβολή του Ρέμερ φαίνεται ότι είναι ότι, σύμφωνα και με τα εύστοχα λόγια του Cohen, «την εποχή που η γενική πεποίθηση ήταν ότι η διάδοση του φωτός ήταν ακαριαία, έδωσε ένα τρόπο εναντίωσης σε αυτήν που έπεισε τους περισσότερους επιστήμονες της εποχής» (Cohen, 1940, p. 358).

Ο Helden υποδεικνύει τα αίτια της “σύγχυσης” συμπληρώνοντας: «Τώρα, εν τούτοις, τρεις αιώνες μετά, όταν η πεπερασμένη ταχύτητα του φωτός έχει γίνει ένα αποδεκτό γεγονός από την επιστήμη, η συμβολή του Ρέμερ δεν θεωρείται σαν μια παρουσίαση της πεπερασμένης διάδοσης, αλλά μάλλον σαν η πρώτη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός. Τα νούμερα συνεπώς, έχουν γίνει σημαντικά και εκεί αρχίζουν τα προβλήματα» (Helden, 1983, p. 138).

Ο Wróblewski, ίσως υπερβολικά, υπογραμμίζει ότι ως συγγραφείς κάνουμε λιγότερο κακό αν ακολουθήσουμε μια μη ιστορική προσέγγιση στην διδασκαλία της Φυσικής από το να ακολουθήσουμε πηγές αμφιβόλου ποιότητας, διότι τότε ξαναγράφουμε την ιστορία (Wróblewski, 1985, p. 620).

Η γνώμη του Holton, στον ίδιο τόνο με τον Cohen, ίσως να αποτελεί μια σημαντική πρόταση για τους συγγραφείς των σχολικών εγχειριδίων: «Η σημασία του έργου του Ρέμερ στο πλαίσιο της επιστήμης του 17<sup>ου</sup> αιώνα δεν έγκειται τόσο στο ότι οδήγησε στον υπολογισμό μιας συγκεκριμένης τιμής για την ταχύτητα του φωτός, αλλά μάλλον στο ότι απέδειξε ότι η διάδοση του φωτός στον ελεύθερο χώρο δεν είναι στιγμιαία, αλλά απαιτεί πεπερασμένο χρόνο» (Holton, 2002, p. 492).

### Παραπομπές

1. Για λεπτομέρειες σχετικά με το ρολόι βλέπε “*O Christian Huygens και το εκκρεμές ρολόι*” στο (Matthews, 2011, pp. 199-243).
2. «Για να διανύσει μία απόσταση 3000 λευγών, όσο είναι περίπου η διάμετρος της Γης, το φως χρειάζεται ούτε ένα δευτερόλεπτο». Υπενθυμίζεται ότι μία λεύγα ισούται με 4452 m (στην ξηρά) ή με τρία ναυτικά μίλια.

### Βιβλιογραφικές αναφορές

Babović, V. M., Davidović, M. & Aničin, B.A (1991). The Doppler interpretation of Rømer’s method. *Am. J. Phys.*, 59(6), 515-519. <http://dx.doi.org/10.1119/1.16811>

Berthomieu, F. (n.d.). *Roemer and the velocity of light*. Ανάκτηση 3 8, 2014, από European Association for Astroomy education: <http://www.eaae-astronomy.org/WG3-SS/WorkShops/Romer.html>

- Bobis, L., & Lequeux, J. (2008). Cassini Romer and the velocity of light. *Journal of Astronomical History and Heritage*, 11(2), 97-105.
- Boyer, C. B. (1941). Early estimates of the velocity of light. *ISIS*, 33, pp. 24-40. <http://dx.doi.org/10.1086%2F358523>
- Cohen, B. (1940). Roemer and the first determination of the velocity of light (1676). *Isis*, 31(2), 327-379. <http://www.jstor.org/stable/225757>
- Drake, S. (1993). *Γαλιλαίος*. (Τ. Κυπριανίδης, Μεταφρ.) Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Galilei, G. (1638, publ. 1914). *Dialogues Concerning Two New Sciences [1638]*. Ανάκτηση 3 13, 2014, από The online Library of Liberty. (Facsi. pdf): <http://oll.libertyfund.org/title/753>
- Helden, A. V. (1983). Roemer's Speed of Light. *Journal for the History of Astronomy*, 14:2(40), 137-140. <http://adsabs.harvard.edu/full/1983JHA....14..137V>
- Holton, G. (2002). *Εισαγωγή στις έννοιες και τις θεωρίες της Φυσικής επιστήμης* (2 εκδ.). (Κ. Χ. Αριστείδης Μπαλτάς, Επιμ., & Λ. Σ. Ηλίας Μαρκολέφας, Μεταφρ.) Αθήνα: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.
- Huygens, C. (1690, publ. 2005). *Treatise on Light*. (S. Thomson, Επιμ.) Ανάκτηση 3 9, 2014, από The Project Gutenberg ebook: <http://www.gutenberg.org/files/14725/14725-h/14725-h.htm>
- Matthews, M. R. (2011). *Χρόνος για φυσικές επιστήμες*. (Φ. Σέρογλου, Επιμ.) Θεσσαλονίκη: Επίκεντρο.
- Newton, I. (1730). *Opticks*. Ανάκτηση 3 9, 2014, από Project Gutenberg ebook: <http://www.gutenberg.org/files/33504/33504-h/33504-h.htm>
- Newton, I. (1864. 1st American ed.). *Newton's Principia*. Ανάκτηση 3 9, 2014, από Open Library: <http://www.archive.org/stream/newtonspmathema00newtrich#page/n251/>
- Poulsen, E. (n.d.). Rømer and the Doppler Principle. Ανάκτηση 4 30, 2014, από The Round Tower: <http://www.rundetaarn.dk/engelsk/observatorium/light.htm>
- Rømer, O. (1677). *A Demonstration Concerning the Motion of Light, Communicated from Paris, in the Journal des Scavans, and here Made English*. Ανάκτηση 3 8, 2014, από Phil. Trans. Royal Society Publishing: <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1677.0024>
- Rømer, O. (1677, publ. 2008). *A Presentation Concerning the Propagation of Light Determined by Monsieur Rømer of the Royal Academy of Sciences*. (D. Rabounski, Επιμ.) Ανάκτηση 3 8, 2014, από The Abraham Zelmanov Journal: <http://zelmanov.ptep-online.com/papers/zj-2008-01.pdf>
- Shea, J. H. (1998). Ole Rømer, the speed of light, the apparent period of Io, the Doppler effect and the dynamics of Earth and Jupiter. *Am. J. Phys.*, 66(7), 561-569. <http://dx.doi.org/10.1119/1.19020>
- Soter, S. & Tyson, N. (2000). *Ole Roemer and the Speed of Light*. Ανάκτηση 3 8, 2014, από American museum of natural History: [http://www.amnh.org/education/resources/rfl/web/essaybooks/cosmic/p\\_roemer.html](http://www.amnh.org/education/resources/rfl/web/essaybooks/cosmic/p_roemer.html)
- Torreti, R. (2012). *Η φιλοσοφία της Φυσικής*. (Α. Αραγεώργης, Επιμ., & Α. Σπανού, Μεταφρ.) Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Wróblewski, A. (1985). de Mora Luminis: A spectacle in two acts with a prologue and an epilogue. *Am. J. Phys.*, 53(7), 620-630. <http://dx.doi.org/10.1119/1.14270>
- Γαβρόγλου, Κ. (2004). *Το παρελθόν των επιστημών ως Ιστορία*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Γεωργακάκος, Π., Σκαλωμένος, Α., Σφαρνάς, Ν., & Χριστακόπουλος, Ι. (1999). *Φυσική Γενικής Παιδείας Γ Λυκείου*. Αθήνα: ΟΕΔΒ.

Μουρούζης, Π. (2013, 10 7). Διάφορα επιστημονικά Άρθρα. Ανάκτηση 4 29, 2014, από Ε.Κ.Φ.Ε Κέρκυρας:  
[http://dide.ker.sch.gr/ekfe/epiloges/6\\_artra/67\\_Romer.doc](http://dide.ker.sch.gr/ekfe/epiloges/6_artra/67_Romer.doc)

Χριστοδουλίδης, Κ. (2013). *Η ειδική θεωρία της σχετικότητας*. Ανάκτηση 3/10/2014, από:  
<http://www.physics.ntua.gr/~cchrist/SIMEIOSEIS/SEMFE.SXETIKOTHTA.2013.PDF/1.ISTORIKI.EISAGOGI.pdf>



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 “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.

### ***“Ανακαλύπτοντας” ένα νόμο της φύσης από την ταρατσα σας***

**Θοδωρής Πιερράτος και Νίκος Κυριαζόπουλος**

Δεν είναι ιδιαίτερα πρωτότυπη η διαπίστωση όσων διδάσκουν τα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο ότι η πλειοψηφία του μαθητικού πληθυσμού δεν τρέφει ιδιαίτερα θετικά αισθήματα για αυτά. Οι αιτίες πολλές. Μία από αυτές αφορά στον τεχνητό χαρακτήρα των καταστάσεων που καλούνται οι μαθητές να διαχειριστούν που πολύ απέχουν από προβλήματα τα οποία μπορεί να προκύψουν στην πράξη.

Επιχειρώντας να αντιστρέψουμε το κλίμα αυτό επιχειρήσαμε να εμπλέξουμε μαθητές ενός Γενικού Λυκείου της Δυτικής Θεσσαλονίκης σε ένα ανοικτού τύπου πρότζεκτ με τίτλο “Ανακαλύψτε ένα νόμο της φύσης από την ταρατσα του σπιτιού σας”. Το πρότζεκτ εντάχθηκε στις εκτός σχολικού ωραρίου δραστηριότητες της Λέσχης Φυσικών Επιστημών του σχολείου η οποία ιδρύθηκε για το σκοπό αυτό και συμμετείχαν 12 μαθητές και μαθήτριες από τη Β’ τάξη του Λυκείου.

Ο βασικός στόχος του πρότζεκτ, ο οποίος τέθηκε από τους συντονιστές εκπαιδευτικούς, ήταν η «ανακάλυψη» εκ μέρους των μαθητών ενός φυσικού νόμου και πιο συγκεκριμένα του 3ου νόμου του Κέπλερ στο σύστημα των τεσσάρων μεγαλύτερων δορυφόρων του πλανήτη Δία, με βάση δικά τους παρατηρησιακά δεδομένα. Για την επίτευξή του τέθηκαν ως επιμέρους στόχοι: η εξοικείωση με τη χρήση φορητού ρομποτικού τηλεσκοπίου, η συστηματική φωτογράφιση του συστήματος Δίας – δορυφόροι, η επεξεργασία των φωτογραφιών με ελεύθερα λογισμικά και η εξαγωγή δεδομένων, η μαθηματική επεξεργασία των δεδομένων για τον υπολογισμό της περιόδου και της ακτίνας περιφοράς των τεσσάρων δορυφόρων και τέλος η αναζήτηση της μαθηματικής σχέσης μεταξύ περιόδου και ακτίνας.

Οι μαθητές πέρα από τον τίτλο του πρότζεκτ και την πληροφόρηση ότι θα ασχοληθούν με τηλεσκοπικές παρατηρήσεις δεν ενημερώθηκαν για τον παραπάνω σχεδιασμό με σκοπό να εμπλακούν σε μία όσο το δυνατόν πιο αυθεντική ανακαλυπτική εργασία. Η πραγματοποίηση των απαραίτητων βημάτων αποφασίστηκε από τους συντονιστές να γίνει κατά την πορεία της εργασίας

μέσω διακριτικής καθοδήγησης υιοθετώντας το μοντέλο της καθοδηγούμενης ανακάλυψης (Banchi & Bell, 2008).

### Εξοικείωση με τη χρήση του τηλεσκοπίου

Οι μαθητές που συμμετείχαν στο πρότζεκτ δεν είχαν ποτέ μέχρι τότε χρησιμοποιήσει τηλεσκόπιο για να παρατηρήσουν τον ουρανό. Έτσι, όταν για πρώτη φορά παρατήρησαν τον πλανήτη Δία μέσα από ένα μικρό τηλεσκόπιο στην αυλή του σχολείου, εντυπωσιάστηκαν. Οι τέσσερις φωτεινές κουκίδες που διατάσσονταν σε μία ευθεία γραμμή στο επίπεδο του ισημερινού του Δία, οι τέσσερις μεγαλύτεροι δορυφόροι του (Εικόνα 1), προσέλκυσαν αμέσως το ενδιαφέρον τους και γέννησαν ερωτήσεις: ποιοι είναι, βρίσκονται πάντα στην ίδια ευθεία, αλλάζει η θέση τους και αν ναι, πόσο γρήγορα;

Για να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα αναδύθηκε εκ των πραγμάτων η ανάγκη να καταγραφεί συστηματικά η θέση των δορυφόρων αυτών. Πολύ γρήγορα οι μαθητές εξοικειώθηκαν, με την καθοδήγηση των συντονιστών εκπαιδευτικών, στη χρήση του τηλεσκοπίου που χρησιμοποιήθηκε: ένα ρομποτικό διοπτρικό τηλεσκόπιο Meade ETX-70AT (Εικόνα 2α) με διάμετρο αντικειμενικού φακού 70 mm και εστιακή απόσταση 350 mm. Η εμπορική αξία του τηλεσκοπίου είναι μικρότερη των 200€.



Εικόνα 1. Ο Δίας και οι τέσσερις μεγαλύτεροι δορυφόροι του στις 19 Δεκεμβρίου 2013. (Φωτογραφία των συγγραφέων).

Για την καταγραφή της σχετικής θέσης των δορυφόρων ως προς το Δία υιοθετήθηκε η επιλογή της φωτογράφισης. Στους μαθητές δόθηκε μια web κάμερα Philips ToUcam PRO II (PCVC 840K) (Εικόνα 2β) η οποία είναι εξοπλισμένη με έναν αισθητήρα CCD διαγώνιας διάστασης 1/3 ίντσας και

ανάλυσης 640x480 εικονοστοιχείων, με μέγεθος κάθε εικονοστοιχείου 5,6x5,6  $\mu\text{m}$  (Kłowska et al., 2003). Οποιαδήποτε, όμως, κάμερα από την οποία μπορεί να αποσπαστεί ο φακός της μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντίστοιχα.



Εικόνα 2α (αριστερά): Το τηλεσκόπιο Meade ETX-70AT. 2β (δεξιά): Η τροποποιημένη web camera Philips ToUcam PRO II με αποσπασμένο το φακό της (δεξιά) και τον προσαρμογέα που επιτρέπει την τοποθέτησή της στο προσοφθάλμιο σύστημα του τηλεσκοπίου (αριστερά). Διακρίνεται ο αισθητήρας CCD.  
(Φωτογραφία των συγγραφέων).

Η κάμερα συνδέθηκε σε φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω θύρας USB και για τον έλεγχό της χρησιμοποιήθηκε η ελληνική έκδοση του ελεύθερου λογισμικού SalsaJ 1.4 ([http://www.euhou.net/docupload/files/software/SALSAJ\\_WINDOWS\\_1\\_4\\_INSTALL.exe](http://www.euhou.net/docupload/files/software/SALSAJ_WINDOWS_1_4_INSTALL.exe)). Για να εξοικειωθούν με τη χρήση της οι μαθητές φωτογράρισαν μέσω του τηλεσκοπίου διάφορα σταθερά αντικείμενα: δέντρα και κτίρια κατά τη διάρκεια της ημέρας, φωτεινές πινακίδες κατά τη διάρκεια της νύκτας. Ακολούθησαν πειραματικές φωτογραφίες του Δία.

### **Συστηματική φωτογράφιση του συστήματος Δίας – δορυφόροι**

Η εξοικείωση των μαθητών με τον εξοπλισμό ξεκίνησε τον Οκτώβριο του 2013 ενώ οι συστηματικές παρατηρήσεις του συστήματος Δίας-δορυφόροι πραγματοποιήθηκαν από τις 22 Νοεμβρίου 2013 έως και τις 20 Δεκεμβρίου 2013 μέσα από την πόλη της Θεσσαλονίκης. Όλες οι παρατηρήσεις έγιναν στο χρονικό διάστημα από τις 21:30 έως τις 22:00 το βράδυ (τοπική ώρα). Οι εξαιρετικές καιρικές συνθήκες επέτρεψαν την πραγματοποίηση 21 παρατηρήσεων σε διάστημα 29 ημερών.

Προκειμένου να αποτυπωθούν με μεγαλύτερη ευκρίνεια οι δορυφόροι του Δία προέκυψε η ανάγκη αντί για απευθείας φωτογράφιση του συστήματος Δίας-δορυφόροι, να καταγραφούν διαδοχικά

βίντεο διάρκειας 5–30 s. Τα βίντεο αυτά εισήχθησαν στο ελεύθερης διανομής λογισμικό Registax 6.1.0.8 (<http://www.astronomie.be/registax/>), προκειμένου να επεξεργαστούν και να προκύψουν οι τελικές φωτογραφίες. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν αυτή που προτείνεται σε σχετική βιβλιογραφία (Lloyd & Nash, 2006).

### Επεξεργασία των φωτογραφιών – εξαγωγή δεδομένων

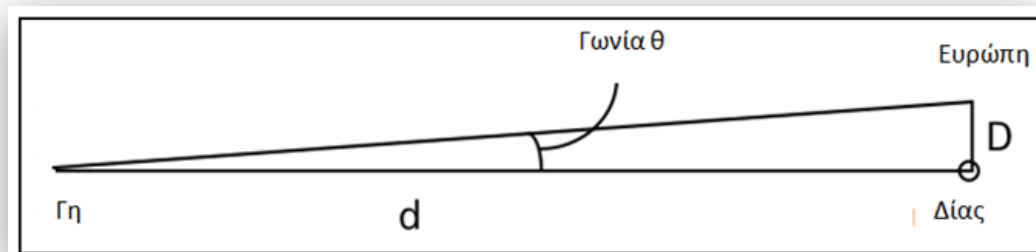
Από την επεξεργασία των βίντεο προέκυψαν 21 φωτογραφίες (Παράρτημα I, διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο <http://physcool.web.auth.gr/>) με τους τέσσερις δορυφόρους να αλλάζουν καθημερινά θέση. Για να ταυτοποιηθούν οι δορυφόροι έγινε σύγκριση των φωτογραφιών με τις θέσεις των δορυφόρων του Δία όπως προκύπτουν από το ελεύθερης διανομής λογισμικό Stellarium 0.10.5 (<http://www.stellarium.org/el/>) για τις ημέρες και ώρες φωτογράφισης.

Οι φωτογραφίες αυτές εισήχθησαν στο λογισμικό SalsaJ με σκοπό να μετρηθεί η φαινόμενη απόσταση των τεσσάρων δορυφόρων από το κέντρο του Δία (Παράρτημα II, Πίνακες 2-5, 4η στήλη, διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο <http://physcool.web.auth.gr/>) και να μετατραπεί τελικά σε πραγματική απόσταση εκφρασμένη σε χιλιόμετρα. Για το λόγο αυτό η φαινόμενη απόσταση μετατράπηκε καταρχάς σε γωνία υπό την οποία φαίνεται το σύστημα δορυφόρος – Δίας λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της κάμερας και του τηλεσκοπίου (Trętowska et al, 2003, σ. 19).

Για να υπολογιστεί η απόσταση  $D$  κάθε δορυφόρου από το Δία, απαιτούνταν πλέον η απόσταση  $d$  Γης – Δία για κάθε βράδυ παρατήρησης, πληροφορία η οποία παρέχεται από το λογισμικό Stellarium κάνοντας «κλικ» πάνω στο Δία. Η απόσταση δορυφόρου – Δία προέκυψε (Σχήμα 1) από τη σχέση:

$$D = d \cdot \varepsilon\varphi\theta$$

Τα δεδομένα των παρατηρήσεων και τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στους Πίνακες 1-5 που περιέχονται στο Παράρτημα II. Οι ημέρες παρατήρησης αναφέρονται κατά αύξοντα αριθμό. Η 1η μέρα είναι η 22η Νοεμβρίου 2013 και η 29η είναι η 20η Δεκεμβρίου 2013. Οι αρνητικές τιμές στις αποστάσεις (Παράρτημα II, Πίνακες 2-5, 4η-6η στήλες) δηλώνουν ότι ο δορυφόρος βρίσκεται αριστερά από το Δία, όπως αποτυπώνεται στις φωτογραφίες. Η απόσταση Γης – Δία δίνεται σε αστρονομικές μονάδες (AU), όπου  $1 \text{ AU} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$ .

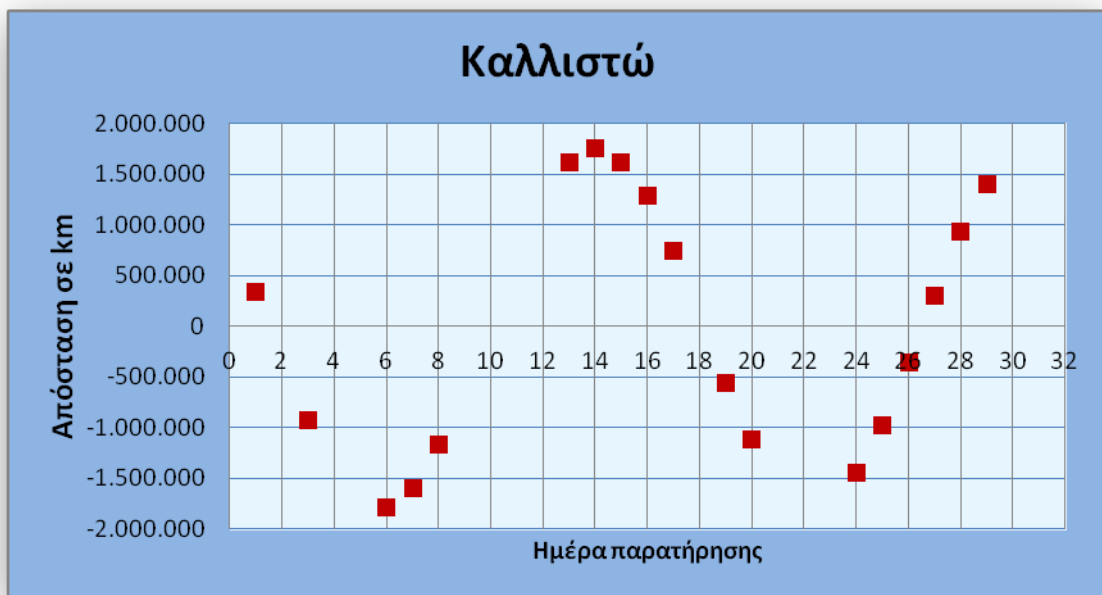


Σχήμα 1: Η γεωμετρία Γης – Δίας – δορυφόρου (για παράδειγμα, της Ευρώπης).



**Επεξεργασία δεδομένων**

Για κάθε δορυφόρο έγιναν οι γραφικές παραστάσεις απόστασης από το κέντρο του Δία - ημέρας παρατήρησης οπότε προέκυψαν τα Διαγράμματα 1α,β - 4α,β που δίνονται στο Παράρτημα II. Ενδεικτικά, στο Διάγραμμα 1 αναπαριστώνται οι διαδοχικές θέσεις της Καλλιστούς ως προς το κέντρο του Δία για όλες τις μέρες παρατήρησης. Οι θέσεις αυτές σχηματίζουν ένα μοτίβο που θυμίζει τη γραφική παράσταση της συνάρτησης  $f(x) = \sin(x)$  την οποία οι μαθητές της Β' Λυκείου είχαν ήδη διδαχθεί στο μάθημα της Άλγεβρας.



Διάγραμμα 1. Η θέση της Καλλιστούς ως προς το κέντρο του Δία με το χρόνο.

Τα ερωτήματα που ανέκυψαν από το Διάγραμμα 1 ήταν τα εξής: Ποιος φυσικός μηχανισμός οδηγεί σε αυτή τη γραφική παράσταση; Ποιες πληροφορίες μπορούν να προκύψουν από αυτήν;

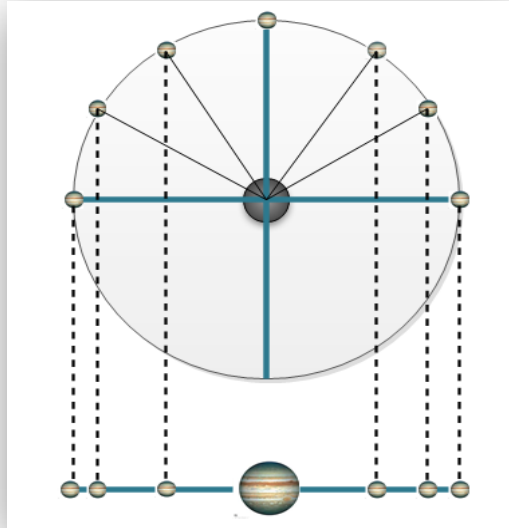
Οι μαθητές γνωρίζοντας ότι η συνάρτηση  $f(x) = \sin(x)$  είναι περιοδική υπέθεσαν ότι η κίνηση κάθε δορυφόρου γύρω από το Δία είναι περιοδική. Ο ακριβής όμως φυσικός μηχανισμός δεν ήταν εύκολο να τους αποκαλυφθεί επειδή δεν είχαν διδαχθεί ακόμη τις αρμονικές ταλαντώσεις.

Έτσι, οι συντονιστές εκπαιδευτικοί εισήγαγαν στο σημείο αυτό την έννοια της απλής αρμονικής ταλάντωσης (Α.Α.Τ.) ως μιας παλινδρομικής περιοδικής κίνησης που γίνεται σε ευθύγραμμη τροχιά γύρω από ένα σημείο, τη θέση ισορροπίας και περιγράφεται μαθηματικά από την εξίσωση:

$$R = R_0 \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$

όπου  $R$  είναι η απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας,  $R_0$  η μέγιστη απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας,  $\omega$  η γωνιακή συχνότητα,  $t$  ο χρόνος και  $\varphi_0$  η αρχική φάση της ταλάντωσης.

Παρουσίασαν επίσης την ιδέα ότι μία Α.Α.Τ. μπορεί να ερμηνευτεί και ως μία προβολή πάνω σε έναν άξονα μιας ομαλής κυκλική κίνησης (de Moraes & Pereira, 2009). Έτσι, αναδύθηκε ένα μοντέλο που εξηγεί τη μορφή του Διαγράμματος 1: κάθε δορυφόρος εκτελεί γύρω από το Δία μία προσεγγιστικά ομαλή κυκλική κίνηση η οποία, λόγω της γεωμετρίας θέασης, μπορεί να θεωρηθεί ως μια Α.Α.Τ. καθώς παρατηρείται από τη Γη (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Η σχεδόν κυκλική κίνηση ενός δορυφόρου όπως φαίνεται πάνω από το επίπεδο της τροχιάς του (πάνω μέρος του σχήματος) και όπως φαίνεται από τη Γη (κάτω μέρος του σχήματος).

Αφού για έναν παρατηρητή στη Γη ο δορυφόρος μοιάζει να εκτελεί Α.Α.Τ. γύρω από το Δία (θέση ισορροπίας), οι ακραίες θέσεις του επιτρέπουν τον υπολογισμό της ακτίνας περιφοράς του γύρω από το Δία (Ribeiro, 2012). Άρα, για να υπολογιστεί η ακτίνα περιφοράς γύρω από το Δία κάθε δορυφόρου, υπολογίστηκε η μέγιστη κατ' απόλυτο τιμή απόσταση στην οποία βρέθηκε ο δορυφόρος από το Δία κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων και θεωρήθηκε (προφανώς εισάγοντας στο σημείο αυτό ενδεχόμενη αβεβαιότητα στη μέτρηση) ότι η απόσταση αυτή είναι, σύμφωνα με το Σχήμα 1, η ακτίνα περιφοράς του δορυφόρου. Στον Πίνακα 1 δίνονται οι τιμές που υπολογίστηκαν, οι πραγματικές τιμές (Moons of Jupiter, 2013) και τα σχετικά σφάλματα λόγω της παραδοχής αυτής που έγινε αλλά και άλλων αβεβαιοτήτων που υπεισέρχονται στις μετρήσεις.

Το επόμενο βήμα ήταν ο υπολογισμός της περιόδου περιφοράς κάθε δορυφόρου. Για την Καλλιστώ και το Γανυμήδη ήταν σχετικά εύκολο να αναζητηθούν στα Διαγράμματα 1γ και 4γ (Παράρτημα II) θέσεις των δύο δορυφόρων στις οποίες επανέρχεται για πρώτη φορά ο δορυφόρος μετά από χρόνο που προφανώς ισούται με την περιόδό του. Επειδή όμως για την Ιώ και την Ευρώπη (Διαγράμματα 2γ και 3γ αντίστοιχα, Παράρτημα II) κάτι τέτοιο δεν ήταν εύκολο αναζητήθηκε ένας πιο ακριβής και αποτελεσματικός τρόπος υπολογισμού της περιόδου.

| Δορυφόρος | R <sub>μέτρηση</sub> (km) | R <sub>πραγματική</sub> (km) | Σχετικό Σφάλμα (%) |
|-----------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| Ιώ        | 396.507                   | 421.700                      | 5,97               |
| Ευρώπη    | 639.258                   | 671.034                      | 4,74               |
| Γανυμήδης | 1.026.254                 | 1.070.412                    | 4,13               |
| Καλλιστώ  | 1.789.741                 | 1.882.709                    | 4,94               |

Πίνακας 1: Οι ακτίνες περιφοράς, πραγματικές και όπως μετρήθηκαν, των τεσσάρων μεγαλύτερων δορυφόρων του Δία.

Καταρχάς, η εξίσωση (1) μετατράπηκε σε γραμμική, θεωρώντας την αντίστροφη συνάρτηση του συνημίτονου,  $\text{syn}^{-1}$ :

$$\text{syn}^{-1}\left(\frac{R}{R_0}\right) = \omega t + \varphi_0 \quad (2)$$

Η γραφική αναπαράσταση της εξίσωσης (2) σε άξονες  $\text{syn}^{-1}(R/R_0) - t$  είναι μία ευθεία γραμμή, όταν αναπαριστάται κατά το χρονικό διάστημα που η κατεύθυνση της κίνησης παραμένει σταθερή (όταν ο δορυφόρος κινείται, για παράδειγμα, από αριστερά προς τα δεξιά στη φωτογραφία), η κλίση της οποίας ισούται με  $\omega$ . Όταν η κίνηση αλλάζει κατεύθυνση (όταν ο δορυφόρος κινείται από δεξιά προς αριστερά στη φωτογραφία), η τιμή της κλίσης αλλάζει πρόσημο αλλά παραμένει σταθερή κατ' απόλυτο τιμή. Με δεδομένο ότι η γωνιακή συχνότητα συνδέεται με την περίοδο περιφοράς με τη σχέση  $\omega=2\pi/T$ , αρκεί να κατασκευαστεί για κάθε δορυφόρο το διάγραμμα της σχέσης (2), για τμήματα της κίνησης που η κατεύθυνσή της είναι σταθερή και να υπολογιστεί από την κλίση της ευθείας που θα προκύψει, η περίοδος περιφοράς του αντίστοιχου δορυφόρου.

Για κάθε δορυφόρο έγιναν οι γραφικές παραστάσεις απόστασης - ημέρας παρατήρησης οπότε προέκυψαν τα Διαγράμματα 1α,β - 4α,β που δίνονται στο Παράρτημα II. Από τα διαγράμματα αυτά εντοπίστηκαν για κάθε δορυφόρο χρονικές περίοδοι, κατά τις οποίες η κίνηση του δορυφόρου διατηρούσε σταθερή κατεύθυνση. Για αυτές τις χρονικές περιόδους έγινε η γραφική παράσταση της εξίσωσης (2) σε άξονες  $\text{syn}^{-1}(R/R_0) - t$ . Με τη βοήθεια του Excel Microsoft Office χαράχτηκαν οι ευθείες ελαχίστων τετραγώνων και υπολογίστηκε η κλίση κάθε ευθείας, δηλαδή η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής  $\omega$  του δορυφόρου γύρω από το Δία. Αν και οι τιμές της κλίσης, κατ' απόλυτο τιμή έπρεπε θεωρητικά να είναι ίσες για όλα τα χρονικά διαστήματα κίνησης ενός δορυφόρου, προέκυψαν μικρές αποκλίσεις. Έτσι, για τον υπολογισμό της  $\omega$  προσφύγαμε στο μέσο όρο των διαφορετικών τιμών. Στον Πίνακα 2 δίνονται οι τιμές της περιόδου περιφοράς που υπολογίστηκαν, οι πραγματικές τιμές (Moons of Jupiter, 2013) και τα σχετικά σφάλματα των μετρήσεων.

| Δορυφόρος | Τ <sub>μετρησι</sub> (ημέρες) | Τ <sub>πραγματική</sub> (ημέρες) | Σχετικό Σφάλμα (%) |
|-----------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Ιώ        | 2,29                          | 1,77                             | 29,37              |
| Ευρώπη    | 4,03                          | 3,55                             | 13,52              |
| Γανυμήδης | 7,41                          | 7,15                             | 3,63               |
| Καλλιστώ  | 17,32                         | 16,69                            | 3,77               |

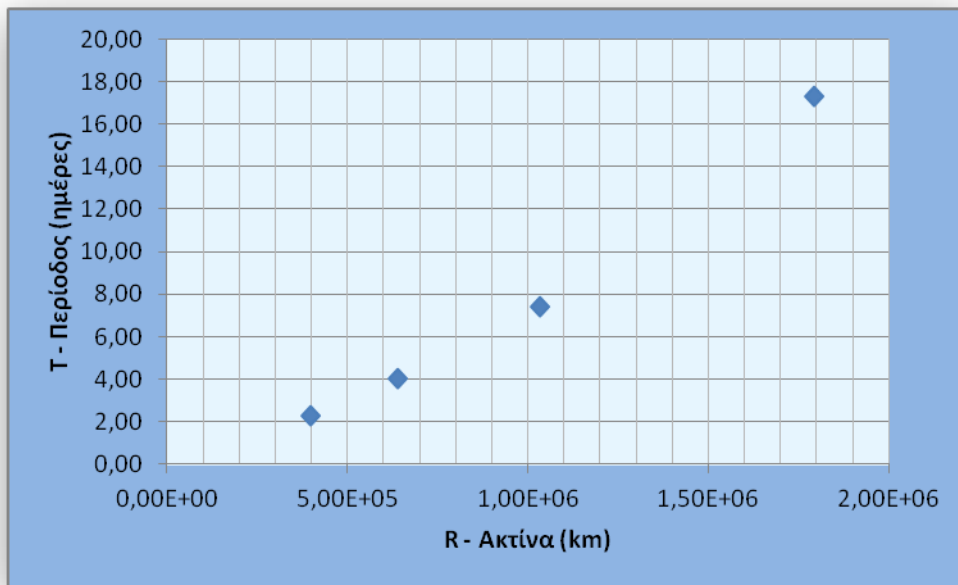
Πίνακας 2: Οι περίοδοι περιφοράς, πραγματικές και όπως μετρήθηκαν, των τεσσάρων μεγαλύτερων δορυφόρων του Δία.

### Αναζητώντας έναν φυσικό νόμο

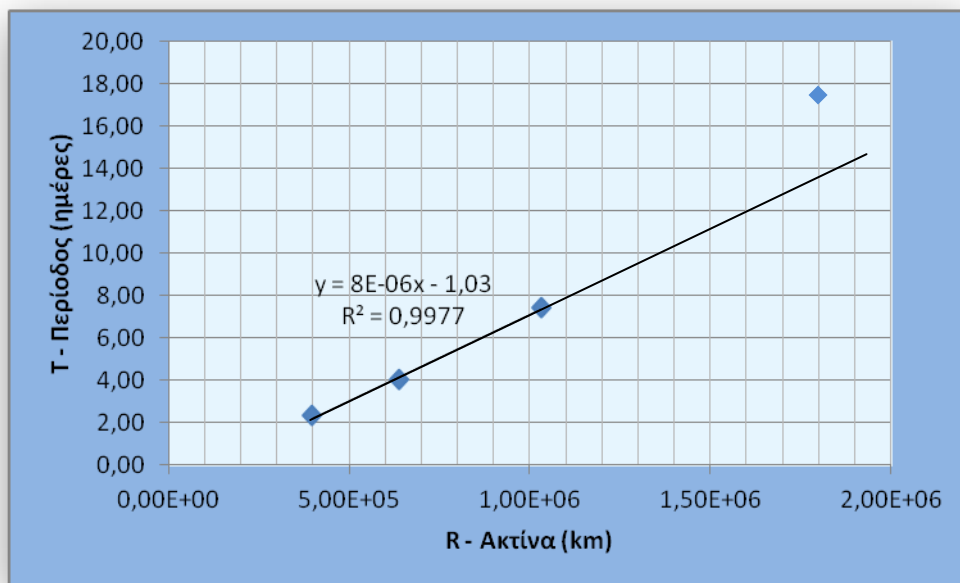
Με δεδομένα πλέον την ακτίνα και την περίοδο περιφοράς καθενός από τους τέσσερις δορυφόρους ζητήθηκε από τους μαθητές να διερευνήσουν αν υπάρχει κάποια σχέση που συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη.

Αρχικά οι μαθητές διατύπωσαν την υπόθεση «όσο αυξάνεται η απόσταση από το Δία τόσο μεγαλώνει η περίοδος περιφοράς», πρότειναν δηλαδή μία γραμμική σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών. Ζητήθηκε από τους μαθητές να αναπαραστήσουν σε άξονες T-R τα δεδομένα τους για να εκτιμήσουν την «ακρίβεια» της υπόθεσής τους (Διάγραμμα 2). Επειδή από τη διασπορά των σημείων στο Διάγραμμα 2 δεν μπορούσαν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα, ζητήθηκε να τοποθετήσουν εκ νέου τα δεδομένα για οποιουσδήποτε τρεις δορυφόρους, να χαράξουν με τη βοήθεια του Excel μία ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και στη συνέχεια να επιχειρήσουν να ελέγξουν την προβλεπτική ισχύ του νόμου τους προβλέποντας την περίοδο περιφοράς του τέταρτου δορυφόρου με δεδομένη την ακτίνα περιφοράς του. Ενδεικτικά, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα των τριών κοντινότερων στο Δία δορυφόρων προέκυψε το Διάγραμμα 3. Με δεδομένη την μετρημένη ακτίνα περιφοράς της Καλλιστούς ( $R=1,79 \cdot 10^6$  km) η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων προβλέπει ότι η περίοδος της θα είναι 13,27 ημέρες, χρονικό διάστημα πολύ μικρότερο από την υπολογισμένη τιμή των 17,32 ημερών. Άρα, ο γραμμικός διαφαινόμενος νόμος των μαθητών δεν περνάει τον έλεγχο και φαίνεται να καταρρίπτεται.

Στο σημείο αυτό διατυπώθηκε η άποψη από μερίδα μαθητών ότι αυτό μπορεί να οφείλεται στα σφάλματα των δικών τους μετρήσεων. Για να ελέγξουν την υπόθεση αυτή επανέλαβαν την παραπάνω διαδικασία για τα δεδομένα από επίσημες πηγές (Moons of Jupiter, 2013) καταλήγοντας σε αντίστοιχα συμπεράσματα και απορρίπτοντας την υπόθεση ότι η περίοδος είναι ανάλογη της ακτίνας περιφοράς.



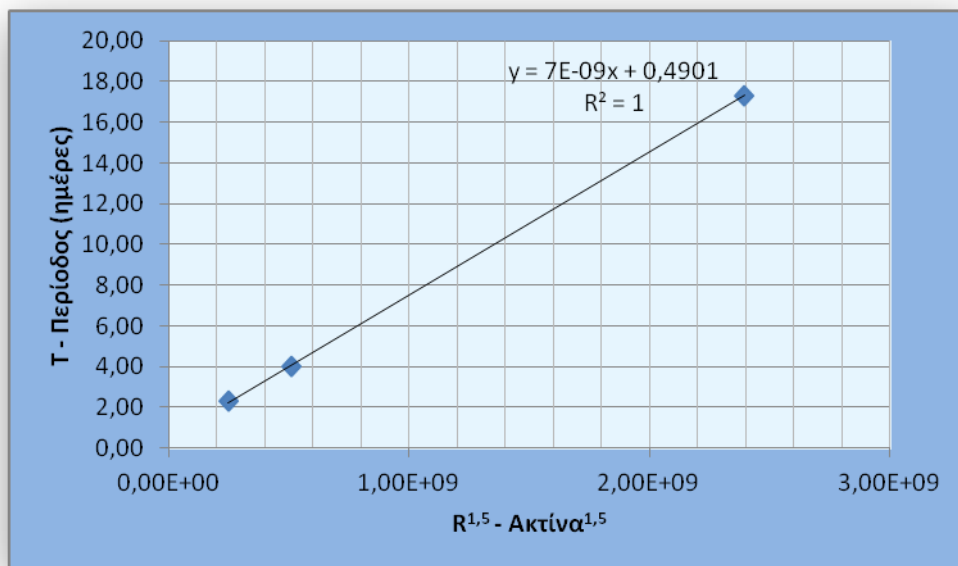
Διάγραμμα 2. Αναπαράσταση της περιόδου και της ακτίνας περιφοράς των τεσσάρων δορυφόρων, όπως υπολογίστηκαν από τα παρατηρησιακά δεδομένα των μαθητών.



Διάγραμμα 3. Ο γραμμικός «νόμος» που φαίνεται να διέπει τα χαρακτηριστικά της κίνησης των τριών κοντινότερων δορυφόρων του Δία.

Προσπαθώντας να βελτιώσουν την προβλεπτική ισχύ του υπό ανακάλυψη νόμου τους, ζητήθηκε από τους μαθητές να επεκτείνουν το γραμμικό μοντέλο και να διερευνήσουν, με την παραπάνω

μεθοδολογία, ενδεχόμενες σχέσεις της μορφής  $T=R^n$ , όπου  $n$  φυσικός αριθμός. Μετά από αρκετές δοκιμές στο Excel, παρατηρήθηκε ότι για  $n=1,5$  προκύπτει μία σχέση η οποία οδηγεί με ικανοποιητική ακρίβεια στην πρόβλεψη της περιόδου του τέταρτου δορυφόρου. Ενδεικτικά, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα τριών δορυφόρων (Ιώς, Ευρώπη, Καλλιστώ) προέκυψε το Διάγραμμα 4. Με δεδομένη την μετρημένη ακτίνα περιφοράς του Γανυμήδη ( $R=1,05 \cdot 10^6$  km) η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων προβλέπει ότι η περίοδός του θα είναι 7,84 ημέρες, χρονικό διάστημα ικανοποιητικά κοντά στην υπολογισμένη τιμή των 7,41 ημερών.



Διάγραμμα 4. Ο μη γραμμικός «νόμος» που περιγράφει τα χαρακτηριστικά της κίνησης τριών δορυφόρων του Δία.

Για να επιβεβαιώσουν το νόμο τους ζητήθηκε από τους μαθητές να τον εφαρμόσουν και στα αντίστοιχα δεδομένα που είναι διαθέσιμα από επίσημες πηγές, με αποτέλεσμα να διαπιστώσουν την ακρίβεια του νόμου που «ανακάλυψαν». Στο σημείο αυτό οι συντονιστές εκπαιδευτικοί παρουσίασαν τη θεωρία του 3ου νόμου του Κέπλερ ως ένα εύρημα που περιγράφει τις κινήσεις δορυφόρων/πλανητών σε κεντρικά πεδία δυνάμεων.

### Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο του παραπάνω πρότζεκτ οι μαθητές εκτέθηκαν σε μία γνήσια ανακαλυπτική διαδικασία στην οποία παρήγαγαν μόνοι τους πρωτότυπα παρατηρησιακά δεδομένα. Η χρήση των μαθηματικών εργαλείων και των εμπλεκόμενων εννοιών της Φυσικής προέκυψε ομαλά και εξ ανάγκης για τη διαχείριση και την περιγραφή πραγματικών προβληματικών καταστάσεων. Το γεγονός αυτό είχε ως συνέπεια οι μαθητές να ενσωματώσουν τα εργαλεία αυτά στο γνωστικό τους οπλοστάσιο με τρόπους

που φάνηκε να είναι πιο εύληπτοι σε σχέση με ό,τι παρατηρείται στην παραδοσιακή τάξη. Ταυτόχρονα, έδειξαν ιδιαίτερο ενθουσιασμό και διάθεση να εργαστούν μολονότι η εργασία ήταν ιδιαίτερα απαιτητική τόσο σε επίπεδο αστρονομικών παρατηρήσεων όσο και επεξεργασίας των δεδομένων.

Η καθοδήγηση από τους συντονιστές εκπαιδευτικούς αν και διακριτική ήταν κρίσιμη σε διάφορα σημεία της εργασίας λόγω του ιδιαίτερου τεχνικού χαρακτήρα του πρότζεκτ. Σε καμία περίπτωση όμως δεν επιχειρήθηκε να «κάνουν μάθημα»: συνεργάστηκαν με τους μαθητές και συζήτησαν τις απόψεις τους προσπαθώντας να φωτίσουν τυχόν αδύναμα σημεία. Σε πολλές περιπτώσεις τους άφησαν να κάνουν λάθη και να «χάσουν χρόνο» προτού τους προσανατολίσουν προς πιο σωστή κατεύθυνση συνήθως μέσα από ερωτήσεις του τύπου «τι νομίζετε ότι θα γινόταν εάν...».

Από τη στιγμή που οι μαθητές συμμετείχαν εθελοντικά στη δράση αυτή εκτός σχολικού ωραρίου ενώ και ο αριθμός τους ήταν μικρός σε σχέση με μία συνηθισμένη τάξη, δύσκολα μπορούν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα ως προς την διδακτική αποτελεσματικότητα τέτοιου τύπου δράσεων ώστε να προταθούν μεθοδολογικά ως γενικές διδακτικές προσεγγίσεις για τα παραδοσιακά μαθήματα Φυσικών Επιστημών στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο. Η εξαντλητική όμως περιγραφή των διαδικασιών που επιχειρήθηκε παραπάνω καθώς και το υλικό που είναι διαθέσιμο στα Παραρτήματα, ευνοεί την επανάληψη εκ μέρους συναδέλφων εκπαιδευτικών του εγχειρήματος, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει στην εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων ως προς την διδακτική αξία τέτοιων πρότζεκτ.

Σε κάθε περίπτωση η ενεργοποίηση των μαθητών που συμμετείχαν, η έντονα συναισθηματική προσέγγιση της γνώσης και η αλλαγή στάσης τους απέναντι στα μαθήματα των Φυσικών Επιστημών δύσκολα μπορεί να υπερεκτιμηθεί.

### Βιβλιογραφία

- Banchi, H. and Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and children* October 2008, 26-29.
- de Moraes, I. G. and Pereira J. A. M. (2009). Using simple harmonic motion to follow the Galilean moons—testing Kepler's third law on a small system *Phys. Educ.* **44** 241
- Jupiter fact sheet. (2013, Δεκέμβριος 2). Ανακτήθηκε από:  
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/jupiterfact.html>
- Lloyd, P. & Nash, D. (2006). Registax 4 User Manual V1.0. Ανακτήθηκε από:  
[http://www.astronomie.be/Registax/RegiStax4UserManual\\_Revision1.pdf](http://www.astronomie.be/Registax/RegiStax4UserManual_Revision1.pdf)
- Lucas, J. (w.d.). *The SalsaJ Software manual*. Ανακτήθηκε από:  
<http://www.euhou.net/docupload/files/software/manuel/SalsaJ.pdf>
- Moons of Jupiter. (2013, Νοέμβριος 18). Ανακτήθηκε από: [http://en.wikipedia.org/wiki/Moons\\_of\\_Jupiter](http://en.wikipedia.org/wiki/Moons_of_Jupiter)
- Ribeiro, C. I. (2012). Io and its simple harmonic motion. *Phys. Educ.* **47** 268

Trętowska, A., Nowotko, L., Sowiński, T., Śliwa, W., Wrochna, G. & Fita, P. (2003). *CCD Observatory in school. Guide for students, teacher and parents. Version 4.1.* Ανακτήθηκε από: [http://www.euhou.net/docupload/files/Tools/Webcam/beginners/ccd\\_en\\_v415.pdf](http://www.euhou.net/docupload/files/Tools/Webcam/beginners/ccd_en_v415.pdf)



Ο Θοδωρής Πιερράτος έχει σπουδάσει Φυσική στο Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.. Απέκτησε το μεταπτυχιακό του στη Φυσική από το Τμ. Φυσικής του Παν. Κρήτης και πήρε το διδακτορικό του στη Διδακτική της Φυσικής από το Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.. Υπηρετεί στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση ως υπεύθυνος του Ε.Κ.Φ.Ε. Ευόσμου. Αποτυπώνει τις δραστηριότητές του στο ιστολόγιο <http://fysikapeiramatika.blogspot.gr/>



Ο Νίκος Κυριαζόπουλος έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Εργάζεται στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στο 2<sup>ο</sup> Γε.Λ. Ελευθερίου-Κορδελιού. Τα επιστημονικά ενδιαφέροντα του σχετίζονται με την εφαρμογή της πληροφορικής στη σχολική διδασκαλία της Φυσικής αλλά και με θέματα ερασιτεχνικής αστρονομίας.



## ***Είμαι το νερό, το πολυτιμότερο αγαθό του πλανήτη μας***

**Μαρία Χατζηγεωργίου και Γιάννης Πολίτης**

Ο χαρακτηρισμός του πλανήτη μας ως υδάτινου δεν είναι τυχαίος. Το 71% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από νερό το οποίο αποτελεί το κύριο συστατικό των οργανισμών του πλανήτη, παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της επιφάνειας της Γης, στη ρύθμιση του κλίματος, στη διάλυση των ρύπων και είναι προϋπόθεση για την ανάπτυξη της γεωργίας, της βιομηχανίας, των μεταφορών και για όλες σχεδόν τις ανθρώπινες δραστηριότητες (Βούτσινος κ.α., 2009).

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται ένα εκπαιδευτικό σενάριο που επιχειρεί, μέσα από δύο φύλλα εργασίας, τη διεπιστημονική διδακτική προσέγγιση του νερού σύμφωνα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της Γεωγραφίας της Α΄ Γυμνασίου. Συγκεκριμένα, η διδακτική προσέγγιση του θέματος εντάσσεται στο κεφάλαιο Β3-Υδρόσφαιρα και συγκεκριμένα στις υποενότητες Β3.1 (Το νερό στη φύση) Β3.2 (Ωκεανοί και θάλασσες).

Κατά το παρελθόν, πολλές διδακτικές προτάσεις και προσεγγίσεις έχουν υλοποιηθεί για την αειφορική διαχείριση του νερού. Πολλά περιβαλλοντικά προγράμματα έχουν λάβει χώρα σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης, ξεκινώντας από το νηπιαγωγείο όπου τα παιδιά της ηλικίας αυτής «χτίζουν» συνήθειες και στάσεις ζωής και οικοδομούν τον τρόπο σκέψης τους για το περιβάλλον (Ζούζια & Μπακάλη 2005). Γι' αυτό το λόγο, το παρόν διδακτικό σενάριο αποσκοπεί όχι μόνο στην ενημέρωση επί του γνωστικού αντικείμενου του υδρολογικού ισοζυγίου αλλά εμφατικά και στην οικολογική αφύπνιση όλων των μαθητών που διδάσκονται το μάθημα της Γεωγραφίας και όχι μόνο μερικών ευαισθητοποιημένων που συμμετέχουν σε κάποιο περιβαλλοντολογικό πρόγραμμα που σχετίζεται με το νερό.

Οι προτεινόμενες δραστηριότητες έχουν ως στόχους οι μαθητές και οι μαθήτριες:

A1. Να αντιληφθούν ότι η υδρόσφαιρα περιλαμβάνει το νερό σε όλες τις μορφές του. A2. Να διακρίνουν τις φυσικές καταστάσεις με τις οποίες εμφανίζεται και να σχολιάζουν τη γεωγραφική κατανομή του στην επιφάνεια της Γης. A3. Να εντάσσουν τα ποτάμια και τις λίμνες στα δομικά

στοιχεία μέσα από τα οποία διενεργείται ο κύκλος του νερού. Α4. Να αναγνωρίζουν τις χρήσεις του και να τις συνδέουν με την αιεφόρο ανάπτυξη.

Β1. Να εντοπίζουν στο χάρτη τους ωκεανούς και τις μεγάλες θάλασσες. Β2. Να περιγράφουν τη θέση και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους. Β3. Να περιγράφουν τους κυριότερους σχηματισμούς της μορφολογίας του βυθού. Β4. Να αναπτύξουν οικολογική συνείδηση με το να ενημερωθούν για τις αιτίες και τις βλαβερές συνέπειες της ρύπανσης των υδάτων. Β5. Να αναζητούν και να συσχετίζουν δεδομένα σε πολυμεσικά περιβάλλοντα.

Γ1. Να τηρούν τους κανόνες ασφάλειας στο εργαστήριο Πληροφορικής. Γ2. Να αναπτύξουν κριτική σκέψη και θετική στάση απέναντι στην επιστημονική μέθοδο. Γ3. Να σέβονται την προσωπικότητα των συμμαθητών τους και να εργάζονται ομαδοσυνεργατικά.

### Μεθοδολογία σχεδιασμού διδακτικού σεναρίου

#### *Το θεωρητικό πλαίσιο*

Θεωρητικό πλαίσιο της συγκεκριμένης διδακτικής πρότασης αποτελεί ο κοινωνικός εποικοδομητισμός, ο οποίος θεωρεί ότι η νοητική ανάπτυξη του μαθητή είναι μια διαδικασία αδιάρρηκτα συνδεδεμένη με την ιστορικοκοινωνική διάσταση και το πολιτισμικό πλαίσιο, μέσα στο οποίο αυτή συντελείται. Επομένως, η γνώση οικοδομείται από τους μαθητές και τις μαθήτριες σταδιακά με βάση τις προϋπάρχουσες γνώσεις, ιδέες και εμπειρίες τους, δεν μεταδίδεται έτοιμη από τον εκπαιδευτικό και επιπλέον οικοδομείται αποτελεσματικότερα μέσα στο κοινωνικό πλαίσιο της ομάδας μαθητών (Ματσαγγούρας, 1999). Αρκετές έρευνες καταδεικνύουν ότι η εφαρμογή της συνεργατικής μάθησης είναι μια αποτελεσματική διδακτική πρακτική που επιτρέπει σημαντικά γνωστικά οφέλη, ιδιαίτερα σε απαιτητικά μαθήματα, όπως αυτά των Φυσικών Επιστημών (Καρτσιώτου κ.α., 2012).

Το παρόν σχέδιο μαθήματος προτείνεται να υλοποιηθεί σε περιβάλλον ομαδοσυνεργατικής μάθησης, όπου οι μαθητές έχουν ενεργό ρόλο στη μαθησιακή διαδικασία και εργάζονται σε μικρές ομάδες ετερογενείς ως προς το φύλο, την επίδοση, την εθνικότητα (Σταυρίδου, 2000; Αλεξανδρή & Σταγιάς, 2010). Στο σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη και οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τη διαθεσιμότητα του νερού στον πλανήτη μας και τις χρήσεις του προκειμένου να ανατραπουν οι λανθασμένες απόψεις μέσα από την εκπαιδευτική διαδικασία (Driver et al., 1998).

Οι μαθητές έχουν οικοδομήσει τις γνώσεις τους για τα θέματα αυτά κατά κύριο λόγο μέσα από τα μέσα ενημέρωσης, την οικογένειά τους, το σχολείο και γενικότερα το φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον τους. Έχουν, όμως, δυσκολία να ερμηνεύσουν επιστημονικές έννοιες που σχετίζονται με τον υδρολογικό κύκλο του νερού. Από τη διδασκαλία του συγκεκριμένου κεφαλαίου, επί σειρά ετών, μας έχει γίνει αντιληπτό ότι τα παιδιά δυσκολεύονται με την ορολογία των λέξεων: απορροή, ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, κατείσδυση, υφαλοκρηπίδα. Αρκετά συχνά, ο υδρολογικός κύκλος ως διαδικασία δεν έχει γίνει κατανοητή από τους μαθητές και δεν έχει γίνει αντιληπτή η σημασία και

ο ρόλος του στη βιόσφαιρα. Άγνοια ή διάφορες παρανοήσεις, σχετικές με το είδος και την ποιότητα του πόσιμου νερού, έχουν καταγραφεί, όπως για παράδειγμα ότι το φυσικό μεταλλικό νερό ονομάζεται έτσι «γιατί περιέχει μέταλλα» (Κιμιώνης, 2009). Επίσης, πολλοί μαθητές δεν μπορούν να αντιληφθούν την ύπαρξη και την αξία του υπόγειου νερού και καταλήγουν σε λανθασμένα συμπεράσματα σχετικά με τα αποθέματα του νερού στον πλανήτη μας (Λέκκας, 1998). Έτσι, θεωρούν ότι το νερό είναι διαθέσιμο όταν, όπου και στην ποσότητα που το θέλουν και επειδή το υπόγειο νερό δεν είναι ορατό, αποτελεί ένα μυστήριο ή δεν απασχολεί κανέναν.

*Η προστιθέμενη αξία της εφαρμογής της επιστημονικής μεθόδου και των Τ.Π.Ε.*

Στο παρόν σχέδιο μαθήματος καλούνται οι μαθητές να ασκηθούν στον τρόπο με τον οποίο σκέπτονται, εργάζονται και λύνουν τα προβλήματα οι επιστήμονες ακολουθώντας τα βήματα της επιστημονικής μεθόδου. Η χρήση των Νέων Τεχνολογιών (ΤΠΕ) οδηγεί σε ένα ολιστικό μοντέλο μάθησης κατά το οποίο δεν απομονώνεται η μάθηση από το πλαίσιο στο οποίο λαμβάνει χώρα (Ράπτης & Ράπτη, 2006). Επομένως, η ενσωμάτωση των ΤΠΕ στην εκπαιδευτική διαδικασία έχει θετικές επιπτώσεις στον τρόπο οικοδόμησης της γνώσης, στο περιεχόμενο διδασκαλίας, στη σχέση δασκάλου-μαθητή και στη διασύνδεση της θεωρίας με την πράξη. Οι μαθητές έρχονται σε επαφή με τις ΤΠΕ και τις δυνατότητες που μπορούν να τους προσφέρουν. Κατακτούν σε ικανοποιητικό βαθμό τις γνώσεις και δεξιότητες που απαιτούν οι στόχοι που έχουν τεθεί σύμφωνα με το γνωστικό αντικείμενο και το αναλυτικό πρόγραμμα. Κατακτούν στόχους που σχετίζονται με την ικανότητα χρήσης των ΤΠΕ δηλαδή αποκτούν μιας μορφής τεχνολογικό εγγραμματισμό (Μπασίνα & Μπενάκου, 2010).

*Τεχνικές προδιαγραφές*

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία συντάχθηκε ένα διαθεματικό σενάριο-σχέδιο μαθήματος όπου υλοποιούνται όλοι οι στόχοι που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το σενάριο αυτό προτείνεται να πραγματοποιηθεί σε ομάδες στο εργαστήριο Πληροφορικής. Εναλλακτικά, μπορεί να εφαρμοστεί στην αίθουσα διδασκαλίας με έναν υπολογιστή και ένα βιντεοπροβολέα παραχωρώντας στις ομάδες τον απαραίτητο κοινό χρόνο για επεξεργασία των ερωτημάτων στα φύλλα εργασίας. Εάν εφαρμοστεί στο εργαστήριο Πληροφορικής, οι μαθητές τοποθετούνται ανά δύο ή τρεις σε κάθε υπολογιστή, στην επιφάνεια εργασίας του οποίου είναι εγκατεστημένα ή διαθέσιμα στο φυλλομετρητή (browser) τα παρακάτω:

- Το εκπαιδευτικό λογισμικό *Γεωλογία- Γεωγραφία Α' - Β' Γυμνασίου*
- Το εκπαιδευτικό λογισμικό *Ο θαυμαστός κόσμος της Χημείας Β'-Γ' Γυμνασίου*
- Τεστ αξιολόγησης με το λογισμικό *Hot Potatoes 6.2*
- Η ελληνική πύλη παιδείας που αφορά τη γεωγραφία: <http://geogr.eduportal.gr>

- Βίντεο που είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: [www.midwayfilm.com](http://www.midwayfilm.com)
- Βίντεο της προσομοίωσης του κύκλου του νερού που είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: [http://www.youtube.com/watch?v=0\\_c0ZzZfC8c](http://www.youtube.com/watch?v=0_c0ZzZfC8c)

Τα δύο παραπάνω λογισμικά επιλέχθηκαν γιατί είναι διερευνητικού χαρακτήρα και δίνουν την ευκαιρία στους μαθητές να γνωρίσουν το ανθρωπογενές περιβάλλον μέσω δραστηριοτήτων με πολυμεσικό υλικό, μικρόκοσμοις, δοκιμασίες, παιχνίδια, παρουσιάσεις και άλλες υπερμεσικές εφαρμογές που προορίζονται κυρίως για μαθητές Γυμνασίου. Επιπλέον, είναι φιλικά στη χρήση τους, τόσο για τον καθηγητή όσο και για το μαθητή.

Το παρόν σενάριο υλοποιείται σε δύο φύλλα εργασίας που δίδονται στους μαθητές διαδοχικά στην αρχή κάθε διδακτικής ώρας. Τα φύλλα αυτά περιέχουν τις απαραίτητες οδηγίες για τον τρόπο χρήσης και πλοήγησης στα παραπάνω λογισμικά και στους δικτυακούς τόπους. Οι αρχικές ερωτήσεις τίθενται με σκοπό να προκαλέσουν το ενδιαφέρον των μαθητών και να αποτελέσουν αφορμή για εισαγωγή στο θέμα.

Στο 1ο Φύλλο εργασίας (το οποίο είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://physcool.auth.gr>, ως υποστηρικτικό υλικό του παρόντος άρθρου) οι μαθητές καλούνται α. να αναγνωρίσουν την αξία του υδρολογικού κύκλου στη φύση μέσα από το άκουσμα ενός τραγουδιού και την απάντηση σε μια ερώτηση κρίσης, β. να τον μελετήσουν μέσα από την υποενότητα «Ο κύκλος του νερού» του εκπαιδευτικού λογισμικού «Γεωλογία- Γεωγραφία Α'-Β' Γυμνασίου» συμπληρώνοντας τα κενά ενός κειμένου που τους δίνεται. Ακολουθεί η μελέτη του υδρολογικού κύκλου τόσο εικονικά όσο και πραγματικά στο εργαστήριο με την κατασκευή ενός μοντέλου. Έπεται συζήτηση και εμβάθυνση σε έννοιες όπως η ογκομέτρηση της ποσότητας της βροχής, η εξάτμιση του καθαρού νερού αλλά όχι των διαλυμένων ουσιών σε αυτό και η ανισοκατανομή των βροχοπτώσεων στον πλανήτη μας. Το φύλλο εργασίας ολοκληρώνεται με τη μελέτη της υποενότητας «Το νερό στη ζωή μας» του εκπαιδευτικού λογισμικού «Ο θαυμαστός κόσμος της Χημείας Β'-Γ' Γυμνασίου» ζητώντας από τους μαθητές να απαντήσουν σε 3 ερωτήματα σύνθεσης και κριτικής ικανότητας. Στο Πίνακα 1 παρουσιάζεται η αντιστοιχία των προαναφερθέντων διδακτικών στόχων ανά δραστηριότητα.

| Δραστηριότητες | Διδακτικοί στόχοι |
|----------------|-------------------|
| 1              | A1, A2, A3        |
| 2, 3           | A2, A3, Γ1, Γ3    |
| 4              | Γ2                |
| 5              | A4, B5, Γ2, Γ3    |
| 6              | A4                |

Πίνακας 1. Διδακτικοί στόχοι ανά δραστηριότητα του 1<sup>ου</sup> φύλλου εργασίας.

Στο 2ο φύλλο εργασίας οι μαθητές καλούνται αρχικά να απαντήσουν σε δύο ερωτήματα μέσα από την παρατήρηση των εικόνων που τους δίνονται. Ακολουθεί ένας πίνακας με τους ωκεανούς της Γης που για να τον συμπληρώσουν σωστά απαιτείται η μελέτη της υποενότητας «Ανάγλυφο, διαίρεση του κόσμου» του εκπαιδευτικού λογισμικού «Γεωλογία- Γεωγραφία Α'-Β' Γυμνασίου». Ακολουθεί μια εκφραστική πρωτότυπη δραστηριότητα όπου οι μαθητές προσπαθούν να κατασκευάσουν μόνοι τους με απλά υλικά που διαθέτουν στην τάξη ή στο εργαστήριο με γνώμονα τη φαντασία και τις γνώσεις που κατέχουν, το υποθαλάσσιο ανάγλυφο ενός ωκεανού είτε πάνω στον εργαστηριακό πάγκο είτε στο πάτωμα της αίθουσας. Στη συνέχεια απαντούν σε δύο σχετικές ερωτήσεις. Έπειτα, οι μαθητές καλούνται να διαπραγματευτούν το θέμα της υδάτινης ρύπανσης μέσα από τη μελέτη της υποενότητας «Η ρύπανση του νερού» από το εκπαιδευτικό λογισμικό «Ο θαυμαστός κόσμος της Χιμείας Β'-Γ' Γυμνασίου», το οποίο χρησιμοποιείται ακριβώς λόγω της απλότητας και σαφήνειας που το διακρίνει ακόμη και για τους μαθητές της Α' τάξης, και να απαντήσουν σε 3 ερωτήματα. Ολοκληρώνεται η διδακτική πρόταση με την προβολή ενός ολιγόλεπτου βίντεο από ένα απομακρυσμένο νησί στο Βόρειο Ειρηνικό Ωκεανό όπου γίνονται φανερές οι επιπτώσεις της θαλάσσιας ρύπανσης στους παρυδάτιους οργανισμούς. Καλούνται να απαντήσουν σε δύο τελευταίες ερωτήσεις κρίσεως και ανακεφαλαίωσης της ενότητας. Στο τέλος της 2ης διδακτικής ώρας ακολουθεί σύντομη αξιολόγηση για τον έλεγχο της εμπέδωσης των εννοιών.

| <b>Δραστηριότητες</b> | <b>Διδακτικοί στόχοι</b> |
|-----------------------|--------------------------|
| 1, 2, 3               | B1, B2, B3, Γ1           |
| 4                     | B3, Γ2, Γ3               |
| 5, 6                  | B4, B5, Γ1, Γ2, Γ3       |

Πίνακας 2. Διδακτικοί στόχοι ανά δραστηριότητα του 2<sup>ου</sup> φύλλου εργασίας.

Η αξιολόγηση των μαθητών ως προς τις γνώσεις που αποκόμισαν από τη διδασκαλία της Υδρόσφαιρας προτείνεται να γίνει με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού λογισμικού Hot Potatoes 6.2. Προκειμένου να αποφευχθεί η μονοτονία στον τρόπο ελέγχου των γνώσεων των μαθητών συντάχτηκε από τους εκπαιδευτικούς φύλλο αξιολόγησης με πέντε ερωτήσεις πολλαπλών επιλογών, για τις οποίες δόθηκε προσοχή ώστε να ελέγχουν κατά το δυνατό το σύνολο των όσων διδάχτηκαν, καθώς και μιας ερώτησης-γρίφου που θα αναδείξει την ομάδα με την πειστικότερη απάντηση, υπό τη μορφή παιχνιδιού. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του σεναρίου σε πραγματικές τάξεις, οι ομάδες των μαθητών, κάνοντας χρήση του Η/Υ του εργαστηρίου της Πληροφορικής, στο τελευταίο

πεντάλεπτο της 2ης διδακτικής ώρας, απάντησαν με μεγάλη προθυμία και πραγματικό ζήλο στις πέντε ερωτήσεις, ενώ στη συνέχεια έσπευσαν να βρουν την καλύτερη δυνατή απάντηση στο γρίφο.

### Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε παγκόσμιο επίπεδο τα προβλήματα διαχείρισης του νερού δεν αφορούν τόσο τα συνολικά αποθέματα του νερού, αλλά τη διαθεσιμότητά του στον κατάλληλο τόπο, χρόνο και σωστή μορφή (Σούλιος, 1986; Λέκκας, 1998; Παυλόπουλος & Γαλάνη, 2009), έγινε προσπάθεια μέσα από την παραπάνω διδακτική πρόταση να προσεγγιστεί διδακτικά όσο το δυνατόν πληρέστερα ο σημαντικός αυτός φυσικός πόρος και να αναδειχθούν τα χαρακτηριστικά εκείνα που θα ενδυναμώσουν την περιβαλλοντολογική συνείδηση των μαθητών.

Με τις πειραματικές δραστηριότητες (1ο φύλλο εργασίας) έγινε προσπάθεια οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι η μείωση της θερμοκρασία της ατμόσφαιρας με το ύψος μπορεί να προκαλέσει την αλλαγή της κατάστασής του και το σχηματισμό σύννεφων, βροχής, χαλαζιού και χιονιού. Επίσης, καταβλήθηκε η αντίσταση που παρατηρήθηκε από πλευράς μαθητών να πιστέψουν ότι μόνο το καθαρό νερό εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα όταν διαπίστωσαν μόνοι τους τη συλλογή του άχρωμου, γλυκού νερού στο ποτήρι ζέσεως (επέκταση του πειράματος, 1ο φύλλο εργασίας).

Οι εικονικές προσομοιώσεις του λογισμικού της γεωγραφίας και των διαδικτυακών εφαρμογών προκάλεσαν το ενδιαφέρον τους και τους ενεργοποίησαν. Μέσα από την πλοήγηση τους στο λογισμικό της χημείας ενημερώθηκαν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες συχνά έχουν ως συνέπεια τη ρύπανση των υδάτων, κάτι που αποτελεί βασική αιτία υποβάθμισης της ποιότητας της ζωής. Έτσι, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ορθολογική χρήση των υδατικών πόρων αποβλέπει στην αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων.

Ως προς τις δραστηριότητες, η αναπαράσταση του υποθαλάσσιου ανάγλυφου (Εικόνα 1) έτυχε διστακτικής υποδοχής αρχικά, διάθεση που αντιστράφηκε στη συνέχεια και κατά τη διενέργεια της κατασκευής λόγω του δημιουργικού της χαρακτήρα. Μετά τη λήξη του χρόνου της άσκησης με μεγάλη σοβαρότητα άρχισαν να συγκρίνουν και να σχολιάζουν τα έργα τους στις ομάδες, υποδηλωτικό της αλλαγής στάσης τους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή του διδακτικού σεναρίου στους μαθητές του Ζαννείου Π.Π. Γυμνασίου Πειραιά στο πλαίσιο του μαθήματος Γεωλογία-Γεωγραφία Α΄ Γυμνασίου και η τμηματική εφαρμογή του στο Π.Π.ΓεΛ Ιωνιδείου Σχολής Πειραιά στο κεφάλαιο των υδατικών πόρων στο μάθημα επιλογής της Α΄ Λυκείου, Γεωλογία-Διαχείριση Φυσικών Πόρων, φαίνεται να άσκησε θετική επίδραση στον τρόπο σκέψης των μαθητών και συνέβαλλε δραστικά στην οικολογική τους διάθεση. Προέβησαν σε δράσεις και ανέλαβαν πρωτοβουλίες για την εξοικονόμηση του νερού και του περιορισμού της αλόγιστης σπατάλης του στο σχολείο τους (Εικόνα 2). Στο διάστημα που ακολούθησε, συστάθηκε ομάδα μαθητών που παρακολουθούσε τακτικά αν στάζουν ή αν έχουν ξεχαστεί ανοιχτές οι βρύσες μέσα στη διάρκεια της ημέρας ή αν τα καζανάκια στις τουαλέτες παρουσιάζουν κάποια διαρροή, σε

κάθε δε περίπτωση ειδοποιούσαν την επιστάτρια του σχολείου να μεριμνήσει σχετικά. Άλλα παιδιά ευαισθητοποιήθηκαν και παρήγαγαν ενημερωτικό υλικό, μικρές αφίσες που προέτρεπαν τους συμμαθητές τους να κάνουν λελογισμένη χρήση του νερού, το οποίο ανάρτησαν σε εμφανή σημεία του σχολείου.



Εικόνα 1: Το υποθαλάσσιο ανάγλυφο όπως το φαντάστηκε μια ομάδα μαθητών και το κατασκεύασε στο πάτωμα του εργαστηρίου πληροφορικής κατά το σχ. έτος 2013-14 (Ζάννειο Π. Π. Γυμνάσιο Πειραιά). (Φωτογραφία των συγγραφέων).



Εικόνα 2: Αφίσες που δημιουργήθηκαν από τους μαθητές/ριες και τοποθετήθηκαν στις τουαλέτες, στα εργαστήρια Φ.Ε. και τον πίνακα ανακοινώσεων των σχολείων (Ζάννειο Π.Π. Γυμνάσιο Πειραιά & Π.Π.Γ.Ε.Λ Ιωνιδείου Σχολής Πειραιά) κατά το σχολικό έτος 2013-14. (Φωτογραφίες των συγγραφέων).

### Βιβλιογραφία

- Αλεξανδρή Ε., Στάγιας Ι. (2010). Διαδικτυακό Σύστημα Διαχείρισης Μάθησης. Περιβαλλοντική Εκπαίδευση: Νερό-υδάτινα μονοπάτια ζωής. Πρακτικά του 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Εκπαιδευτικού Συνεδρίου Ημαθίας «Ψηφιακές και Διαδικτυακές Εφαρμογές στην Εκπαίδευση» σελ.1444-1455, 23-25 Απριλίου, Βέροια-Νάουσα.
- Βούτσιος Γ., Κοσμάς Κ., Καλκάνης Γ. & Σούτσας Κ. (2009). Σχολικό εγχειρίδιο: Γεωλογία-Διαχείριση Φυσικών Πόρων Α' Λυκείου, σελ.95-99, εκδόσεις ΟΕΔΒ, Αθήνα
- Ζούζια Β. & Μπακάλη Μ. (2005). Το νερό, Δώρο της Φύσης. Στα Πρακτικά το 1<sup>ου</sup> Συνεδρίου Σχολικών Προγραμμάτων Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης, σελ. 990-996, 23-25 Σεπτεμβρίου, Κόρινθος
- Καρτσιώτου Θ., Τουμπεκτοής Σ., Κλειτσιώτης Κ., Καρποζήλου Α. (2012). Χρήση των ΤΠΕ στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση στα γνωστικά αντικείμενα των Φυσικών Επιστημών και της Γεωγραφίας. Στα Πρακτικά εργασιών του 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή «Τεχνολογίες της Πληροφορίας και Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση» Παν/μιο Θεσσαλίας, σελ. 1-15, 28-30 Σεπτεμβρίου, Βόλος
- Κιμιώνης Γ. (2009). Η προσέγγιση θεμάτων Γεωγραφίας-Γεωλογίας μέσα από την Περιβαλλοντική Εκπαίδευση. Δυνατότητες και Προοπτικές. Στα Πρακτικά του 6<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, σελ. 384-391, Παν/μιο Δυτ. Μακεδονίας, 7-10 Μαΐου, Φλώρινα
- Λέκκας Ε. (1998). Γεωλογία και Περιβάλλον, Γ' έκδοση, σελ.77-88 Εκδόσεις Access, Αθήνα
- Ματσαγγούρας Η. (1999). Θεωρίες Μάθησης, εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα
- Μπασίνα Β. & Μπενέκου Π. (2010). Διδακτικό σενάριο «Το νερό πηγή ζωής» και ΤΠΕ. Μια διδακτική πρόταση. Στα Πρακτικά του 2<sup>ου</sup> Πανελληνίου Εκπαιδευτικού Συνεδρίου Ημαθίας «Ψηφιακές και Διαδικτυακές εφαρμογές στην εκπαίδευση» σελ. 471-479, 23-25 Απριλίου, Βέροια
- Παυλόπουλος Κ. & Γαλάνη Α. (2009). Σχολικό εγχειρίδιο: Γεωλογία-Γεωγραφία Α' Γυμνασίου, σελ.48-53, εκδόσεις ΟΕΔΒ, Αθήνα
- Ράπτης Α. & Ράπτη Α. (2006) Μάθηση και Διδασκαλία στην εποχή της πληροφορίας-Ολική Προσέγγιση Τόμος Α', σελ.141-155, Αθήνα: Αριστοτέλης Ράπτης
- Σούλιος Γ. (1986). Γενική Υδρογεωλογία, Α' τόμος, σελ.19-22, University Studio Press, Θεσσαλονίκη
- Driver R., Squires A., Rushworth P. & Wood-Robinson V. (1998). Οικοδομώντας τις έννοιες της Φυσικών Επιστημών- Μια παγκόσμια σύνοψη των ιδεών των μαθητών, εκδόσεις ΤΥΠΩΘΗΤΩ, Αθήνα.





Η Μαρία Χατζηγεωργίου είναι καθηγήτρια Φυσικών Επιστημών στο Ζάννειο Πρότυπο Πειραματικό Γυμνάσιο Πειραιά. Είναι γεωλόγος-μετεωρολόγος και έχει αποκτήσει ένα αρχικό μεταπτυχιακό δίπλωμα σπουδών στα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας και Προστασίας Περιβάλλοντος από το Πανεπιστήμιο Πειραιά και το ΕΜΠ κι ένα ακολούθως στο Γεωλογικό και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον για το Σχεδιασμό στα Έργα Υποδομής από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.



Ο Ιωάννης Πολίτης είναι καθηγητής Φυσικών Επιστημών στο Πρότυπο Πειραματικό Λύκειο και Γυμνάσιο της Ιωνιδείου Σχολής Πειραιά. Είναι χημικός-οινολόγος και έχει εργαστεί ως ερευνητής σε βασική κι εφαρμοσμένη έρευνα στην Ιατρική Σχολή Αθηνών. Έχει, επίσης, σπουδάσει Ιταλική Γλώσσα και Φιλολογία στο Ε.Κ.Π.Α. και διδάσκει Ιταλικά ως δεύτερη ξένη γλώσσα. Σύντομα ολοκληρώνει τις σπουδές του ως Γεωπόνος στο τμήμα Επιστήμης Τροφίμων του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

## **Παίζοντας με τις φουσαλίδες: εμπάθυνση σε ένα “απλό” πείραμα μελέτης της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης**

**Αναστάσιος Νέζης**

Όλοι όσοι διδάσκουμε Φυσική είτε στη Β΄ Γυμνασίου είτε στην Α΄ Λυκείου, είμαστε λίγο – πολύ εξοικειωμένοι με το πείραμα της φουσαλίδας (Αντωνίου κ.α., 2006, σ. 34): ένας λεπτός σωλήνας από τα όργανα Χημείας ή ένα καλαμάκι, με μήκος περίπου 30 cm κλείνεται και από τις δύο πλευρές με λίγη πλαστελίνη (ή ακόμη καλύτερα με λίγη σιλικόνη), αφού έχουμε βάλει μέσα χρωματιστό νερό, τόσο ώστε να μείνει ένας μικρός κενός χώρος που θα λειτουργήσει ως “φουσαλίδα”. Σημειώνουμε πάνω στον σωλήνα σημάδια (π.χ. ανά 4 cm) με μαρκαδόρο και στη συνέχεια τον τοποθετούμε κεκλιμένα, όπως στη φωτογραφία 1.



Φωτογραφία 1. Η ευθύγραμμη κίνηση μίας φουσαλίδας (Αντωνίου κ.α., 2006, σ. 34)

Μετρώντας τις χρονικές στιγμές διέλευσης της φουσαλίδας από κάθε σημάδι και κάνοντας στη συνέχεια ένα διάγραμμα θέσης – χρόνου υποδεικνύουμε σε πρώτη φάση (για το γυμνάσιο) την ομαλότητα της κίνησης μέσω της ευθείας γραμμής που σχηματίζουν τα πειραματικά δεδομένα στο διάγραμμα. Στη συνέχεια (στο λύκειο) υπολογίζουμε την κλίση αυτής της ευθείας και άρα την ταχύτητα κίνησης της φουσαλίδας.

### Η παρατήρηση

Αφορμή για το άρθρο αυτό στάθηκε μια παρατήρηση που προκλήθηκε από την ερώτηση ενός μαθητή στη διάρκεια του μαθήματος. Κάνοντας μετωπικά το παραπάνω πείραμα μέσα σε μια τάξη της Α' λυκείου και έχοντας τις ομάδες των μαθητών να τοποθετούν τους σωλήνες τους σε μια στήλη βιβλία, διαφορετικού πλήθους βιβλίων για κάθε ομάδα, παρατηρήσαμε αυτό που όλοι περιμέναμε: την αύξηση της ταχύτητας της φυσαλίδας «ανάλογα» με το ύψος της στήλης, δηλαδή «ανάλογα» με την κλίση του σωλήνα.

Κάποιος μαθητής ρωτάει τότε: «Δηλαδή, αν τοποθετήσουμε τον σωλήνα κατακόρυφα θα πάει πιο γρήγορα;» (εννοώντας τη φυσαλίδα). Η απάντησή μου αυθόρμητα ήταν «ναι» και ταυτόχρονα πήρα ένα σωλήνα από ένα πάγκο για να το δείξω. Και ιδού η έκπληξη! Η φυσαλίδα στην κατακόρυφη θέση πήγαινε υπερβολικά αργά, τόσο, όσο σχεδόν και στην πολύ μικρή κλίση που μια ομάδα μαθητών είχε δημιουργήσει με ένα μόνο βιβλίο...

### Τα ερωτήματα

Τι συνέβαινε; Μήπως ήταν τυχαίο; Όχι! Αρκετές επαναλήψεις του φαινομένου επιβεβαίωσαν την παρατήρηση. Μήπως η υπόθεση ότι η φυσαλίδα θα κινείται με όλο και μεγαλύτερη ταχύτητα (αυξανόμενης της κλίσης) ισχύει μέχρι και λίγο πριν τις  $90^{\circ}$  και καταρρέει στις  $90^{\circ}$ ; Ή μήπως η ταχύτητα αυξάνεται στην αρχή, φτάνει σε μια μέγιστη τιμή και μετά μειώνεται σταδιακά μέχρι τις  $90^{\circ}$ ; Ποια θα ήταν τότε η γωνία μέγιστης ταχύτητας; Μήπως οι  $45^{\circ}$ , όπως συμβαίνει για παράδειγμα και με το βεληνεκές μιας πλάγιας βολής; Γιατί η φυσαλίδα εμφανίζει τέτοια συμπεριφορά;

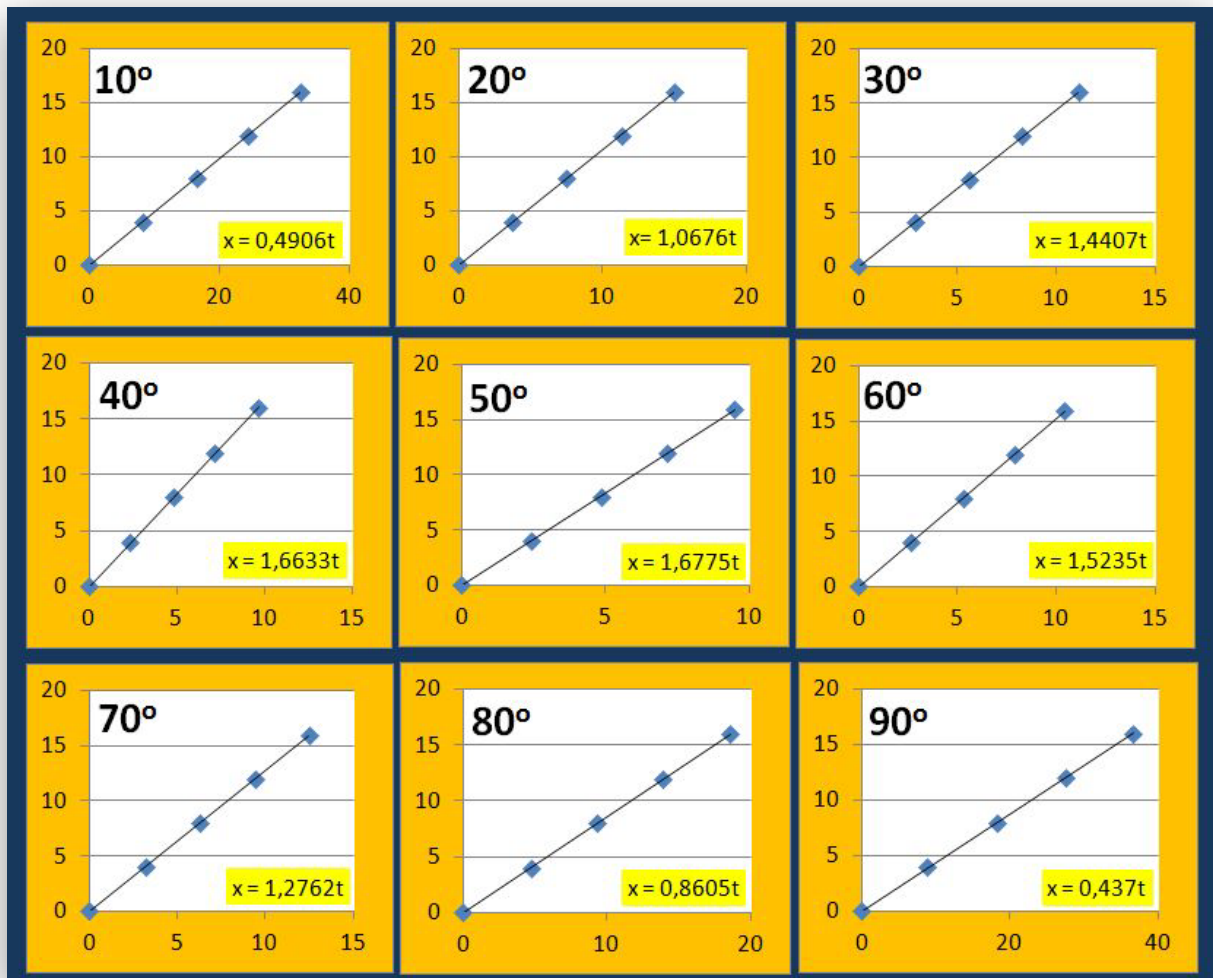
### Η διερεύνηση

Για να απαντηθούν όλα αυτά τα ερωτήματα αποφασίστηκε να γίνει μεθοδική διερεύνηση της μεταβολής της ταχύτητας με την κλίση του σωλήνα. Αρχικά κατασκευάστηκε με απλά υλικά (χαρτόνι από μια κούτα και θερμοκόλλα) μία πειραματική διάταξη σταθεροποίησης των σωλήνων σε γωνίες από  $10^{\circ}$  έως  $90^{\circ}$ , με βήμα  $10^{\circ}$  (Φωτογραφία 2).

Στη συνέχεια έγιναν μετρήσεις ταχυτήτων γεμίζοντας τους σωλήνες με νερό στο οποίο διαλύθηκε ελάχιστη ποσότητα στιγμιαίου καφέ για να χρωματιστεί. Για κάθε κλίση πραγματοποιήθηκαν τρία σετ μετρήσεων του χρόνου που απαιτήθηκε για να φτάσει διαδοχικά η φυσαλίδα στις θέσεις  $x=4, 8, 12$  και  $16$  cm και υπολογίστηκε, για κάθε θέση, ο μέσος όρος του χρόνου. Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται για τις εννέα διαφορετικές πειραματικές διατάξεις (διαφορετικές γωνίες κλίσεις) οι αναπαραστάσεις των πειραματικών δεδομένων θέσης - χρόνου καθώς και οι αντίστοιχες ευθείες ελαχίστων τετραγώνων<sup>1</sup>.



Φωτογραφία 2. α. Η πειραματική διάταξη σταθεροποίησης των σωλήνων στη φάση του σχεδιασμού (αριστερά) και β. ολοκληρωμένη (δεξιά). (Φωτογραφίες του συγγραφέα).



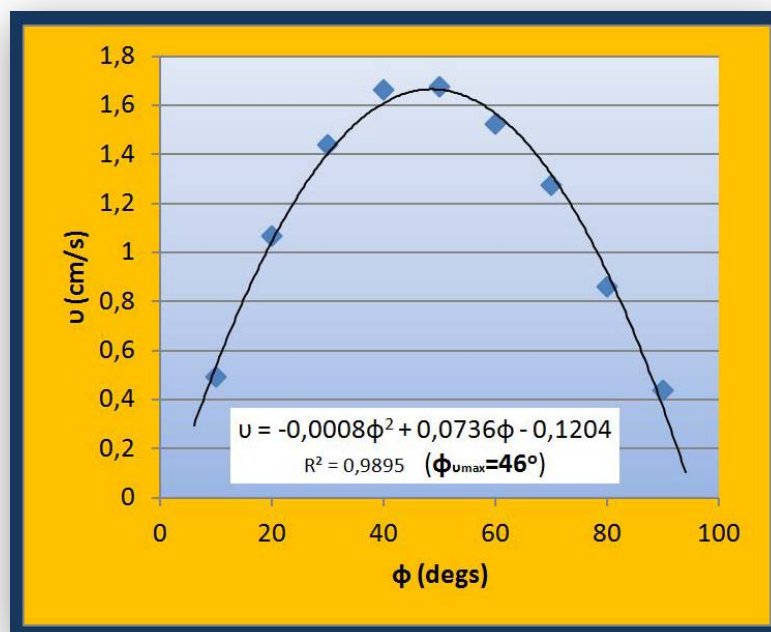
Διάγραμμα 1. Μετρήσεις θέσης - χρόνου για εννιά διαφορετικές γωνίες κλίσης και οι ευθείες ελαχίστων τετραγώνων που τις περιγράφουν.

Από την κλίση κάθε ευθείας ελαχίστων τετραγώνων προκύπτει άμεσα η ταχύτητα της φυσαλίδας σε cm/s. Έτσι, για παράδειγμα, η ταχύτητα της φυσαλίδας για γωνία κλίσης  $80^\circ$  είναι 0,8605 cm/s. Οι ταχύτητες που υπολογίστηκαν με αυτόν τον τρόπο για τις διάφορες γωνίες δίνονται στον Πίνακα 1.

| $\phi$ (degs) | $u$ (cm/s) |
|---------------|------------|
| 10            | 0,4906     |
| 20            | 1,0676     |
| 30            | 1,4407     |
| 40            | 1,6633     |
| 50            | 1,6775     |
| 60            | 1,5235     |
| 70            | 1,2762     |
| 80            | 0,8605     |
| 90            | 0,437      |

Πίνακας 1. Οι τιμές της ταχύτητας της φυσαλίδας που μετρήθηκαν για γωνίες κλίσης από  $10^\circ$ - $90^\circ$ .

Στο Διάγραμμα 2 δίνεται η γραφική αναπαράσταση των δεδομένων του Πίνακα 1 καθώς και η καμπύλη δευτέρου βαθμού (παραβολή) που φαίνεται να ικανοποιούν τα δεδομένα αυτά. Όπως είναι φανερό, η ταχύτητα αυξάνεται, αποκτά μέγιστη τιμή και στη συνέχεια μειώνεται καθώς η γωνία κλίσης μεταβάλλεται σταδιακά από  $10^\circ$  έως  $90^\circ$ .



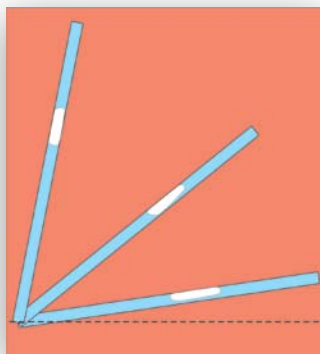
Διάγραμμα 2. Αναπαράσταση της ταχύτητας της φυσαλίδας για γωνίες κλίσης από  $10^\circ$ - $90^\circ$  και χάραξη καμπύλης παλινδρόμησης.

Για να βρεθεί η γωνία στην οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη ταχύτητα μηδενίστηκε η πρώτη παράγωγος της συνάρτησης δευτέρου βαθμού που προέκυψε από την καμπύλη παλινδρόμησης. Η τιμή της γωνίας που προέκυψε είναι  $\varphi=46^\circ$ .

### Μεταβάλλοντας το είδος του υγρού

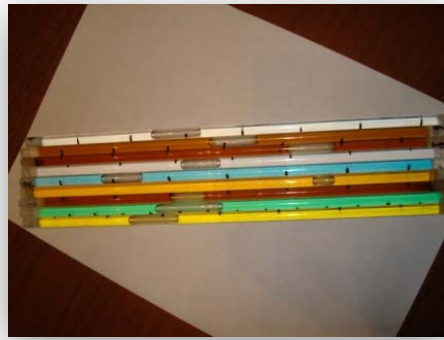
Μπορεί να θεωρηθεί αυτό το αποτέλεσμα ως γενικό συμπέρασμα; Άραγε η ταχύτητα μεγιστοποιείται όταν η γωνία είναι περίπου  $45^\circ$  σε κάθε περίπτωση, για διαφορετικού μεγέθους φουσαλίδες ή για διαφορετικά υγρά;

Για να ελεγχτεί καταρχήν αν υπάρχει εξάρτηση της ταχύτητας από το μέγεθος της φουσαλίδας παρατηρήθηκε προσεκτικά το σχήμα της φουσαλίδας καθώς αυξανόταν η κλίση (πράγμα όχι και τόσο εύκολο, άρα όχι και τόσο ακριβές). Η εικόνα που παρατηρήθηκε αποτυπώνεται γραφικά στο Σχήμα 1, για μικρή, μεσαία και μεγάλη κλίση. Όπως φαίνεται, σε μικρές κλίσεις η φουσαλίδα ήταν μακρόστενη και άφηνε αρκετό υγρό να ρέει από κάτω της. Σε μεσαίες κλίσεις έπαιρνε ένα «σφηνοειδές» σχήμα στο οποίο παρατηρήθηκε, με τη βοήθεια των μικροσωματιδίων του στιγμιαίου καφέ, γρήγορη ροή του υγρού στο κάτω μέρος της. Στις μεγάλες κλίσεις τέλος, η φουσαλίδα είχε το μικρότερο μήκος της, καθώς καταλάμβανε σε διατομή όλη τη διαθέσιμη διατομή του σωλήνα και η ροή του υγρού γινόταν από τα πλάγια με μεγάλη δυσκολία.

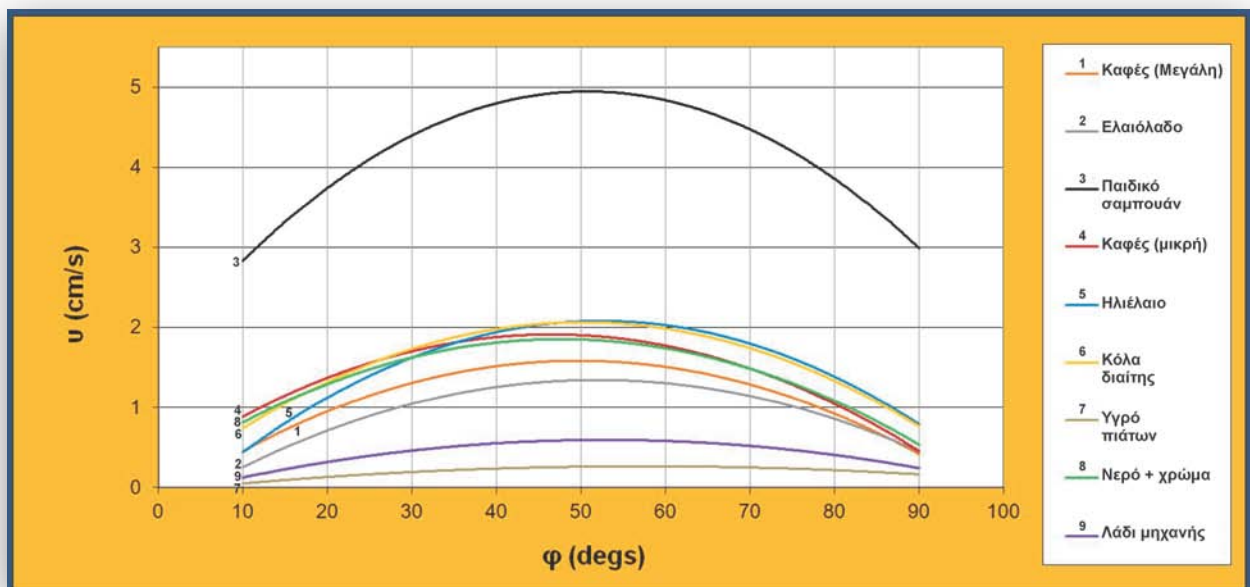


Σχήμα 1. Γραφική αναπαράσταση του σχήματος και του μεγέθους της φουσαλίδας όπως έγιναν αντιληπτά για διάφορες κλίσεις του σωλήνα.

Για να μελετηθεί η επίδραση του είδους του υγρού στην ταχύτητα της φουσαλίδας φτιάχτηκαν εννέα επιπλέον σωλήνες με διαφορετικά υγρά (Φωτογραφία 3). Ακολουθώντας την πειραματική πορεία που περιγράφηκε παραπάνω και ύστερα από πάρα πολλά πειράματα<sup>2</sup> και πάρα πολλές μετρήσεις (ο αριθμός τους πλησίασε τις 1000) προέκυψε το Διάγραμμα 3. Σε αυτό αναπαριστάται η ταχύτητα της φουσαλίδας σε συνάρτηση με τη γωνία κλίσης του σωλήνα για τα εννέα διαφορετικά υγρά.



Φωτογραφία 3. Εννέα σωλήνες γεμισμένοι με διαφορετικά υγρά και με διαφορετικού μεγέθους φυσαλίδες. (Φωτογραφία του συγγραφέα).



Διάγραμμα 3. Η καταγραφείσα εξάρτηση της ταχύτητας της φυσαλίδας από τη γωνία κλίσης του σωλήνα για εννέα διαφορετικά υγρά.

Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 3 η συμπεριφορά όλων των φυσαλίδων είναι παρόμοια, με ελαφρές διαφοροποιήσεις ως προς την εξάρτηση της ταχύτητας από τη γωνία και μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις ως προς το μέτρο της ταχύτητας. Η ταχύτητα αυξάνεται μέχρι μια ορισμένη γωνία και στη συνέχεια μειώνεται πάλι. Φαίνεται ότι υπάρχει μία τάση η μέγιστη ταχύτητα να λαμβάνει χώρα για γωνίες ελαφρώς μεγαλύτερες από  $45^\circ$  και αρκετά κοντά στις  $50^\circ$ . Αντίστοιχα, το μέτρο της ταχύτητας διαφοροποιείται αισθητά για διαφορετικά υγρά, παρουσιάζοντας τη μεγαλύτερη τιμή για το παιδικό σαμπουάν και τη μικρότερη για το υγρό πιάτων.



### Προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση

Η διερεύνηση του φαινομένου που μελετήθηκε ήταν αυστηρά πειραματική αφήνοντας ανοικτά και αναπάντητα πολλά ερωτήματα. Ενδεικτικά:

1. Γιατί αυξομειώνεται η ταχύτητα; Πώς σχετίζεται με το σχήμα της φυσαλίδας και την παραμόρφωσή της, καθώς αυξάνεται η γωνία;
2. Τελικά από τι εξαρτάται η γωνία μέγιστης ταχύτητας και πόση είναι αυτή; Είναι σταθερή για όλα τα υγρά ή εξαρτάται με κάποιον τρόπο από τις ιδιότητές τους;
3. Για το ίδιο υγρό πώς εξαρτάται η σχέση της ταχύτητας της φυσαλίδας με τη γωνία κλίσης από το μέγεθος – μήκος της φυσαλίδας;
4. Για το ίδιο μέγεθος φυσαλίδας πώς εξαρτάται η σχέση της ταχύτητας της φυσαλίδας με τη γωνία κλίσης από τη μεταβολή στην πυκνότητα ή/και το ιξώδες του υγρού;

Αναλυτικές μελέτες για την κίνηση της φυσαλίδας έχουν επιχειρήσει να περιγράψουν το θεωρητικό πλαίσιο του φαινομένου που περιγράφηκε εδώ, υπό το πρίσμα της μηχανικής των ρευστών. Οι μελέτες αυτές έχουν δείξει ότι η κίνηση της φυσαλίδας εξαρτάται από πλήθος παραγόντων (Zukoski, 1966; Bozzano & Dente, 2001; Clanet et al., 2004; Glauser & Wickenhauser, 2009; Hor et al., 2011): τη σχέση διαμέτρου του σωλήνα με το μήκος της φυσαλίδας, τη σχέση του υλικού του σωλήνα με το είδος του υγρού, το ιξώδες, την επιφανειακή τάση, το σχήμα της διατομής του σωλήνα και φυσικά την κλίση του σωλήνα.

Είναι μάλλον εντυπωσιακό πόση βαθιά και δύσκολη Φυσική μπορεί να βρίσκεται πίσω από τόσο “απλά” και εύκολα πειράματα. Αρκεί μία ερώτηση ή μία παρατήρηση ενός μαθητή για να αναδείξει τον διανοητικό πλούτο που μπορεί να κρύβει η ενασχόληση με καθημερινά πράγματα. Μήπως πρέπει να ακούμε πιο προσεκτικά τους μαθητές μας; Ίσως μας βοηθήσει να γίνουμε καλύτεροι πέρα από τη διδασκαλία μας και στην επιστήμη μας.

### Ευχαριστίες

Ευχαριστώ πολύ τον ανώνυμο κριτή της εργασίας για την υπόδειξη των άρθρων που έχουν επιχειρήσει την ανάλυση και την θεωρητική περιγραφή των φαινομένων που περιγράφηκαν στην παρούσα εργασία.

### Παραπομπές

1. Βιντεοσκοπημένα στιγμιότυπα των μετρήσεων έχουν αναρτηθεί στη διεύθυνση:  
<http://youtu.be/Wy9YVFY77CY>
2. Όλες οι μετρήσεις και αναλυτικοί πίνακες και διαγράμματα έχουν αναρτηθεί στη διεύθυνση:  
[http://issuu.com/tasosne/docs/bubble\\_s\\_velocity](http://issuu.com/tasosne/docs/bubble_s_velocity)

### Βιβλιογραφία

- Clanet, C., Heraud, P., Searby, G. (2004). *On the motion of bubbles in vertical tubes of arbitrary cross-sections: some complements to the Dumitrescu-Taylor problem*, J. Fluid Mech., vol. 519, pp. 359-376.
- Hor, N., Hua, J., Lawrence, C., Spelt, P. (2011). *Numerical simulation of large bubbles in channels using a front-tracking method*, 8<sup>th</sup> Inter. Conference on CFD in Oil & Gas, Metallurgical and Process Industries, SINTEF/NTNU, Trondheim Norway, 21-23 June 2011.
- Zukoski, E.E. (1966). *Influence of viscosity, surface tension, and inclination angle on motion of long bubbles in closed tubes*, J. Fluid Mech. vol. 25, part 4, pp. 821-837.
- Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης Π., Καμπούρης Κ., Παπαμιχάλης Κ., Παπατσίμπα, Α. (2006). Φυσική της Β' Γυμνασίου. Διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGYM-B200/455/2985,11970/>
- Glauser, S., Wickenhauser, M. (2009). *Bubble Movement in Downward-inclined Pipes*, J. of Hydraulic Engineering, Nov. 2009, 135, pp. 1012-1015.
- Bozzano, G., Dente, M. (2001). *Shape and terminal velocity of single bubble motion: a novel approach*, Computer and Chemical Engineering 25, pp. 571-576.



Ο Τάσος Νέζης ζει και εργάζεται ως εκπαιδευτικός της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης στη Σαλαμίνα. Τα ενδιαφέροντά του κινούνται γύρω από την εισαγωγή του πειράματος μικρής διάρκειας στην καθημερινή σχολική πραγματικότητα. Τα τελευταία χρόνια ασχολείται με προπονήσεις μαθητικών ομάδων για τους διαγωνισμούς EUSO. Διατηρεί το κανάλι [www.youtube.com/tasosne](http://www.youtube.com/tasosne)

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.

### **«Φωτίζοντας» την επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων**

**Παρασκευή Τσακμάκη**

Η Χημεία είναι χρώματα, είναι μυρωδιές, είναι ήχοι και εκρήξεις. Πολλές φορές όμως η έλλειψη αντιδραστηρίων, οργανωμένων εργαστηρίων ή ακόμη και η επικινδυνότητα μερικών πειραμάτων, αποτελεί τροχοπέδη στην εργαστηριακή προσέγγιση του μαθήματος. Λύση σε αυτή την κατάσταση δίνει συνήθως, μέχρι ενός σημείου, η αξιοποίηση των χημικών ουσιών που γεμίζουν την κουζίνα και το μπάνιο κάθε σύγχρονου σπιτιού. Εδώ θα παρουσιαστεί μια πολύ απλή, ασφαλής και γρήγορη στην εκτέλεση πειραματική επίδειξη της επίδρασης της θερμοκρασίας στην ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων. Στο επίκεντρό της βρίσκονται οι αποκαλούμενες φωτεινές ράβδοι (light sticks ή glow sticks).

#### **Οι φωτεινές ράβδοι**

Μία φωτεινή ράβδος είναι μία μικρής διάρκειας αυτόνομη και αυτοδύναμη πηγή φωτός. Αποτελείται από ένα διαφανή πλαστικό σωλήνα (Εικόνα 1) που περιέχει κατάλληλα διαχωρισμένες χημικές ουσίες, οι οποίες όταν αναμιχθούν παράγουν φως μέσω του μηχανισμού της χημειοφωταύγειας, χωρίς δηλαδή να απαιτείται εξωτερική πηγή ενέργειας. Από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί η ράβδος (με την ανάμιξη των χημικών ουσιών) το φως που παράγεται δεν μπορεί να σβηστεί και να ξαναανάψει κατά το δοκούν: η ράβδος θα φωτίζει μέχρι να εξαντληθούν οι αντιδρώντες χημικές ουσίες, να ολοκληρωθεί η χημική αντίδραση και να σταματήσει το φαινόμενο της χημειοφωταύγειας, κάτι που μπορεί να διαρκέσει μέχρι και οκτώ ώρες. Επομένως, κάθε ράβδος αφού ενεργοποιηθεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία μόνο φορά.



Εικόνα 1. Φωτεινές ράβδοι διαφόρων χρωματισμών πριν την ενεργοποίησή τους. Οι ράβδοι έχουν διαφορετικό χρώμα λόγω των διαφορετικών χρωστικών ουσιών (αρωματικών ενώσεων) που περιέχουν. (Φωτογραφία της συγγραφέα).

### *Πώς λειτουργούν*

Μέσα στον πλαστικό σωλήνα της ράβδου περιέχεται μίγμα οξαλικού διφαινυλεστέρα και μιας χρωστικής (αρωματική ένωση) που δίνει στη ράβδο το χρώμα της. Επίσης, μέσα στον πλαστικό σωλήνα υπάρχει ένας μικρότερος γυάλινος σωλήνας που περιέχει υπεροξείδιο του υδρογόνου. Για να ενεργοποιηθεί η ράβδος αρκεί να καμφθεί ο πλαστικός σωλήνας. Τότε σπάει ο εσωτερικός γυάλινος σωλήνας και το υπεροξείδιο του υδρογόνου ερχόμενο σε επαφή με το παραπάνω μίγμα δίνει το έναυσμα για μια χημική αντίδραση που παράγει φως.

Σε ό,τι αφορά το διαφορετικό χρώμα των φωτεινών ράβδων, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι χρωστικές που χρησιμοποιούνται είναι συζυγείς αρωματικές ενώσεις (αρένια). Ο βαθμός συζυγίας αντικατοπτρίζεται στο διαφορετικό χρώμα του φωτός που εκπέμπεται, όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπίπτει από τη διεγερμένη στη θεμελιώδη κατάσταση (Welsh, 2011).

Η χημεία που βρίσκεται πίσω από τις εμπλεκόμενες αντιδράσεις είναι αρκετά περίπλοκη. Ο μηχανισμός τους είναι, περιληπτικά, ο εξής (Glow sticks, 2014; How light sticks works, 2014; Welsh, 2011):

1. Αρχικά το υπεροξείδιο του υδρογόνου αντιδρά με τον οξαλικό διφαινυλεστέρα και παράγει μία φαινόλη και έναν ασταθή εστέρα.
2. Ο ασταθής εστέρας διασπάται σε μία επιπλέον φαινόλη και ένα κυκλικό υπεροξείδιο.
3. Το υπεροξείδιο αντιδρά με ένα μόριο χρωστικής ελευθερώνοντας ενέργεια.

4. Ένα ηλεκτρόνιο της χρωστικής απορροφά την ενέργεια και διεγείρεται σε μια διεγερμένη κατάσταση.

5. Το ηλεκτρόνιο αποδιεγείρεται και εκπέμπει την ενέργεια που απορρόφησε υπό τη μορφή φωτός.

Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται μπορεί να βρει αναλυτικά τις χημικές εξισώσεις των αντιδράσεων στις παραπάνω αναφορές.

Απελευθερώνοντας ελάχιστα ποσά θερμότητας, όντας φθηνές και ασφαλείς (ακόμη και σε περίπτωση διαρροής τα υγρά δεν είναι τοξικά – αρκεί ξέπλυμα με νερό), οι φωτεινές ράβδοι χρησιμοποιούνται τα τελευταία 15 χρόνια σε διάφορες εφαρμογές, από στρατιωτικές μέχρι για φωτισμό σε καταδύσεις και κατασκηνώσεις. Πιο πρόσφατα οι φωτεινές ράβδοι έχουν βρει εφαρμογή στη νυχτερινή διασκέδαση δημιουργώντας φαντασμαγορική ατμόσφαιρα στα χαμηλού φωτισμού κλαμπ καθιστώντας τες γνωστές και οικείες στους περισσότερους από τους μαθητές μας. Συνεπώς, θα μπορούσε να πει κανείς ότι, από τα καταστήματα παιχνιδιών που μπορούμε να τα αγοράσουμε (σε πακέτα των 10 με συνολικό κόστος περίπου 2€ ή μέσω διαδικτύου σε πακέτα των 100 με κόστος περίπου 9 λεπτά ανά ράβδο), ήρθε η ώρα να μπουν και στην τάξη.

### **Η διδακτική προσέγγιση**

Οι χημικές αντιδράσεις του μηχανισμού χημειοφωταύγειας είναι ευαίσθητες στη θερμοκρασία. Το γεγονός αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί κατά τη διδασκαλία της εξάρτησης της ταχύτητας μιας χημικής αντίδρασης από τη θερμοκρασία στο μάθημα της Χημείας στο Λύκειο.

#### *A. Πρόκληση ενδιαφέροντος – εξοικείωση με το φαινόμενο*

Επιδεικνύουμε στην ολομέλεια μία φωτεινή ράβδο και την ενεργοποιούμε. Αναμένεται ότι αρκετοί από τους μαθητές μας θα αναγνωρίσουν το αντικείμενο, αν όχι περιγράψουμε σύντομα πού συναντάμε τέτοιες φωτεινές ράβδους και πού μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Στη συνέχεια, αν δεν έχει ήδη τεθεί το ερώτημα από τους ίδιους τους μαθητές, προκαλούμε μία σύντομη συζήτηση στην ολομέλεια της τάξης ζητώντας τους να προτείνουν ενδεχόμενους μηχανισμούς του πώς λειτουργεί η φωτεινή ράβδος. Προσπαθούμε να εστιάσουμε την προσοχή των μαθητών σε συγκεκριμένα σημεία:

1. Η ράβδος φαίνεται να είναι γεμισμένη με κάποιο υγρό.
2. Για να ενεργοποιηθεί χρειάστηκε να καμφθεί.
3. Κατά την κάμψη της έχουμε την αίσθηση ότι κάτι σπάζει μέσα στον πλαστικό σωλήνα.
4. Το φως που εκπέμπεται είναι μία μορφή ενέργειας και η ράβδος δε φαίνεται να διαθέτει κάποια φανερή πηγή ενέργειας.
5. Η ράβδος παρότι φωτοβολεί δεν φαίνεται, καθώς την κρατάμε, να αλλάζει αισθητά τη θερμοκρασία της.

Με δεδομένο και το γεγονός ότι βρισκόμαστε σε μάθημα Χημείας, κάποιοι μαθητές προτείνουν ότι πρόκειται για κάποιο χημικό φαινόμενο. Αν δεχθούμε ότι μέσα στον πλαστικό σωλήνα υπάρχει κάποιος μικρότερος γυάλινος, γιατί το φαινόμενο ξεκινάει όταν σπάει ο γυάλινος σωλήνας; Αναμένεται ότι οι μαθητές θα προτείνουν ότι γίνεται ανάμιξη αρχικά διαχωρισμένων χημικών ουσιών, αυτής ή αυτών που υπάρχουν σε μορφή διαλύματος στον πλαστικό σωλήνα και αυτής ή αυτών που υπάρχουν μέσα στο γυάλινο σωλήνα, και ξεκινάει μία χημική αντίδραση.

Πώς εξηγείται τότε η παραγωγή ενέργειας υπό μορφή φωτός; Οι μαθητές ενώ είναι εξοικειωμένοι με την έννοια των εξώθερμων αντιδράσεων και άρα γνωρίζουν ότι σε μία χημική αντίδραση μπορεί να απελευθερωθεί ενέργεια, δυστυχώς, στην Α' τάξη του Λυκείου δεν είναι εξοικειωμένοι ακόμη με τον ατομικό μηχανισμό παραγωγής φωτός. Προσπαθούμε να εξηγήσουμε ότι η ενέργεια που απελευθερώνεται σε μία χημική αντίδραση, πέρα από θερμότητα ή φωτεινή ενέργεια και θερμότητα (π.χ. σε μία καύση) μπορεί να μετατραπεί σχεδόν αποκλειστικά σε φωτεινή ενέργεια με έναν μηχανισμό που είναι γνωστός ως χημιοφωταύγεια. Για να διαπιστώσουν ότι αυτό δεν είναι τόσο σπάνιο τους ζητάμε να προβληματιστούν για το πώς λάμπουν οι πυγολαμπίδες στο σκοτάδι ή αντίστοιχα διάφορα θαλάσσια πλάσματα, όπως π.χ. κάποια είδη μεδουσών, μέσα στο νερό.

Στο σημείο αυτό για να εμπλέξουμε τους μαθητές σε μία διερευνητικού τύπου πειραματική εργασία τους θέτουμε ένα πρόβλημα, επιχειρώντας να είναι ένα πρόβλημα εν δυνάμει και της δικής τους καθημερινής ζωής.

### *B. Διατύπωση προβλήματος (σύνδεση με την καθημερινή ζωή)*

Ενδεικτικά ένα πρόβλημα που θα μπορούσε να τεθεί είναι το εξής:

Τρεις φίλοι βρίσκονται για καλοκαιρινές διακοπές σε μια πανέμορφη ελληνική παραλία κάνοντας ελεύθερη κατασκήνωση. Ανάμεσα στα υπόλοιπα αντικείμενα του εξοπλισμού τους διαθέτουν μερικές φωτεινές ράβδους τις οποίες έχουν φέρει μαζί τους ο καθένας για διαφορετικό σκοπό.

Ο πρώτος, ο Α, θέλει να κάνει νυχτερινή κατάδυση και σκοπεύει να χρησιμοποιήσει μία φωτεινή ράβδο ως αδιάβροχο φακό. Για το σκοπό αυτό η πηγή φωτός του δε χρειάζεται να είναι ιδιαίτερα φωτεινή ούτε όμως και αρκετά αδύναμη, δεν τον ενδιαφέρει δηλαδή πόσο έντονα φωτοβολεί.

Ο δεύτερος, ο Β, θέλει να χρησιμοποιήσει τη ράβδο για να διαβάζει το βράδυ 1-2 ώρες πριν κοιμηθεί. Για να έχει καλές συνθήκες φωτισμού η πηγή φωτός του πρέπει να εκπέμπει όσο το δυνατόν πιο έντονο φως.

Ο τρίτος, ο Γ, θέλει να χρησιμοποιήσει τη ράβδο ως λάμπα νυκτός. Για τα σκοπό αυτό δεν απαιτείται ιδιαίτερα έντονο φως, αλλά ενδιαφέρει η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διάρκεια φωτισμού ώστε να καλύπτεται η διάρκεια της νύκτας.

Να προτείνετε στους τρεις φίλους διαδικασίες που μπορούν να ακολουθήσουν για να επιτύχουν ο καθένας τη χρήση που επιθυμεί.

### *Γ. Διατύπωση υποθέσεων*

Καθοδηγούμε τους μαθητές να διατυπώσουν υποθέσεις που είναι δυνατόν να ελεγχθούν πειραματικά. Έστω λοιπόν ότι οι ράβδοι μπορούν καταρχήν υπό κατάλληλες συνθήκες να παράγουν διαφορετικής έντασης φωτισμό. Με δεδομένο ότι το φως που παράγεται είναι αποτέλεσμα μιας εν εξελίξει χημικής αντίδρασης, πώς θα ήταν δυνατόν μία φωτεινή ράβδος να παράγει λιγότερο ή περισσότερο φως;

Μια προφανής απάντηση που ενδέχεται να δώσουν οι μαθητές είναι η χρήση κατά περίπτωση διαφορετικού αριθμού ράβδων. Έτσι, για παράδειγμα, ο Β αρκεί να χρησιμοποιήσει περισσότερες ράβδους από ό,τι ο Α ή ο Γ. Η λύση αυτή βέβαια πέρα από τετριμμένη δεν συνάδει με τις απαιτήσεις του προβλήματος που απαιτεί τη χρήση μίας ράβδου κατά περίπτωση.

Επιχειρούμε να συμφωνήσουμε με τους μαθητές ότι η μεταβολή στην ένταση του φωτός μπορεί να επιτευχθεί επιδρώντας στην ταχύτητα με την οποία εκτελείται η χημική αντίδραση που το παράγει: πιο γρήγορη αντίδραση θα οδηγήσει σε εντονότερο φως, ενώ πιο αργή σε πιο αμυδρό. Καθώς δεν μπορούμε να παρέμβουμε στο εσωτερικό του πλαστικού σωλήνα μιας φωτεινής ράβδου αλλάζοντας π.χ. τις ποσότητες των χημικών ουσιών, η μόνη παρέμβαση που μπορούμε να κάνουμε για να μπορέσουμε ενδεχομένως να επέμβουμε στην ταχύτητα της αντίδρασης είναι η μεταβολή των “περιβαλλοντολογικών” συνθηκών της ράβδου. Μολονότι οι μαθητές θα μπορούσαν να αναφέρουν αρκετές τέτοιες πειραματικά ελέγξιμες μεταβολές (π.χ. να τη θέσουμε σε περιστροφή, να την καλύψουμε με ύφασμα, κ.α.) τους καθοδηγούμε προς τη διατύπωση της μεταβολής της θερμοκρασίας του περιβάλλοντός τους. Στο πλαίσιο αυτό μία εύλογη υπόθεση που μπορεί να διατυπωθεί και να ελεγχθεί στο εργαστήριο είναι η εξής:

*Η φωτεινή ράβδος εκπέμπει περισσότερο φως όταν εκτεθεί σε θερμό περιβάλλον και λιγότερο φως όταν εκτεθεί σε ψυχρό περιβάλλον, ανεξάρτητα από το χρώμα της.*

Προφανώς αποδεκτή θα ήταν και η διατύπωση της υπόθεσης της αντίστροφης συσχέτισης θερμοκρασίας-έντασης φωτισμού.

### *Δ. Η πειραματική διερεύνηση*

Ζητάμε από τους μαθητές, οι οποίοι είναι χωρισμένοι σε ομάδες των 3-4 ατόμων, να ελέγξουν πειραματικά την παραπάνω υπόθεση. Παρέχοντας οδηγίες ασφαλείας, τονίζουμε ότι πρέπει κάμπτοντας τις ράβδους να προσπαθήσουν να μην τις διαρρήξουν ώστε να μην υπάρξει διαρροή των χημικών ουσιών. Σε μία τέτοια περίπτωση να πλύνουν άμεσα τα χέρια τους με άφθονο νερό.

Τα υλικά που παρέχονται ανά ομάδα είναι τα εξής:

- 4 φωτεινές ράβδοι ίδιου χρώματος
- 150 mL ζεστού νερού θερμοκρασίας περίπου 50 °C
- 150 mL κρύου νερού θερμοκρασίας περίπου 10 °C
- 150 mL νερού θερμοκρασίας δωματίου (περίπου 20 °C)

## Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκορπίσματα

- 3 πλαστικά ποτηράκια θερμοανθεκτικά (για να μην παραμορφωθούν από το ζεστό νερό)
- Ρολόι ή χρονόμετρο

Αναμένεται ότι η διαδικασία που θα ακολουθηθεί θα είναι, με ελαφρές τροποποιήσεις, η εξής:

1. Τα τρία πλαστικά ποτηράκια γεμίζονται με ζεστό, χλιαρό και κρύο νερό αντίστοιχα.

2. Ενεργοποιούνται ταυτόχρονα 4 φωτεινές ράβδοι του ίδιου χρώματος ανά ομάδα. Οι τρεις βυθίζονται στα τρία ποτηράκια και η τέταρτη (ράβδος αναφοράς) παραμένει στον πάγκο εργασίας (στο θρανίο) για να συγκρίνεται με τις υπόλοιπες (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Οι τρεις ράβδοι μόλις βυθίζονται στα ποτηράκια με νερό διαφορετικής θερμοκρασίας. (Φωτογραφία της συγγραφέα).

3. Μετά από περίπου μισό λεπτό η φωτεινότητα των ράβδων έχει διαφοροποιηθεί εντυπωσιακά, σε ό,τι αφορά το μέρος τους που εμβαπτίζεται στο νερό (Εικόνα 3): η ράβδος στο χλιαρό νερό έχει διατηρήσει τη φωτεινότητά της, η ράβδος στο κρύο νερό παρουσιάζει εξασθενημένη φωτεινότητα, ενώ η ράβδος στο ζεστό νερό φωτοβολεί ιδιαίτερα έντονα<sup>1</sup>.

Οι μεταβολές αυτές της φωτεινότητας δεν εξαρτώνται από το χρώμα της φωτεινής ράβδου αφού η ίδια συμπεριφορά συναντάται<sup>2</sup> και με ράβδους άλλου χρώματος (Εικόνα 4).





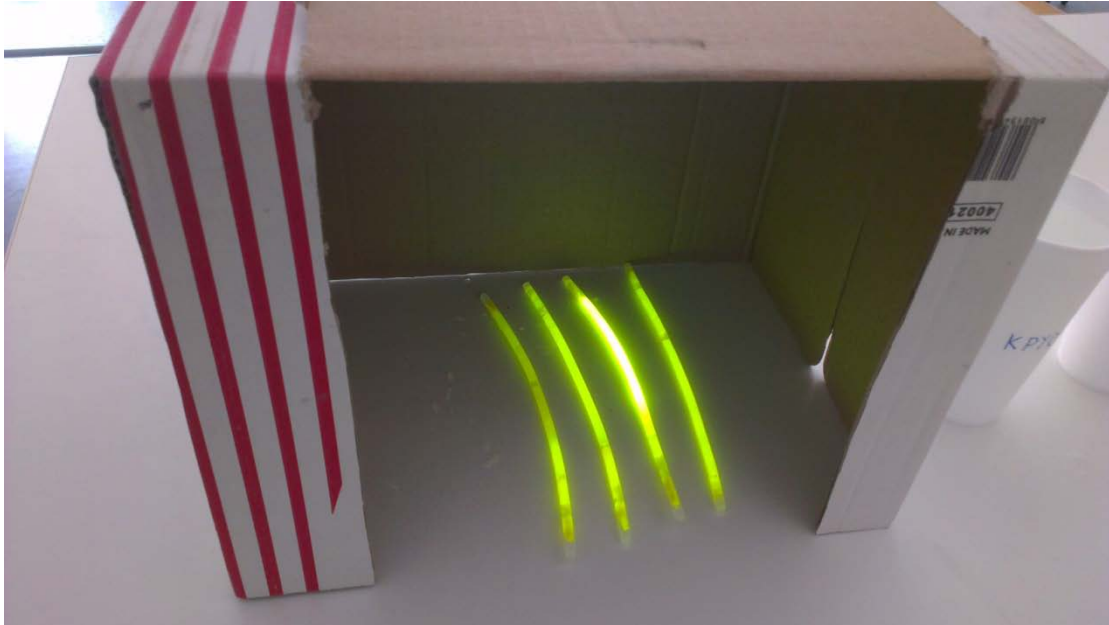
Εικόνα 3. Οι τρεις ράβδοι και η ράβδος αναφοράς (κάτω) μετά από μισό λεπτό παραμονή μέσα σε νερό διαφορετικής θερμοκρασίας. (Φωτογραφία της συγγραφέα).



Εικόνα 4. Διαφορετικού χρώματος ράβδοι εμφανίζουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά όταν εμβαπτιστούν σε νερό διάφορων θερμοκρασιών. (Φωτογραφία της συγγραφέα).

4. Οι φωτεινές ράβδοι αφήνονται για περίπου 3 λεπτά μέσα στα ποτηράκια και στη συνέχεια οι μαθητές τις βγάζουν και συγκρίνουν τις φωτεινότητές τους. Είναι επιθυμητό, αν και όχι απαραίτητο, η σύγκριση να πραγματοποιηθεί σε όσο το δυνατόν πιο σκοτεινό χώρο για να είναι πιο εμφανείς οι

διαφορές της έντασης του φωτός που εκπέμπεται από τις φωτεινές ράβδους. Ενδεικτικά μπορεί να δοθεί σε κάθε μία ομάδα ένα χαρτονένιο κουτί (π.χ. από τη συσκευασία του φωτοτυπικού χαρτιού) για να σκεπάσουν και να σκιαώσουν όσο γίνεται τις φωτεινές ράβδους και να τις παρατηρήσουν από το πλάι (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Σύγκριση της φωτεινότητας των ράβδων στο σκοτεινό χώρο που δημιουργεί ένα κουτί από πακέτα χαρτιού φωτοτυπίας. Από αριστερά προς τα δεξιά οι ράβδοι έχουν προέλθει από: κρύο νερό, χλιαρό νερό, ζεστό νερό, ράβδος αναφοράς. (Φωτογραφία της συγγραφέα).

5. Οι μαθητές για να ελέγξουν άμεσα την επίδραση της θερμοκρασίας στις παρατηρήσεις που έχουν κάνει μέχρι στιγμής, αλλάζουν τη θέση των ράβδων στα 3 ποτηράκια<sup>3</sup>. Παρατηρούν ότι ανεξάρτητα από πού προέρχεται μία ράβδος, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μικρότερο από μισό λεπτό, συμπεριφέρεται ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται: λάμπει έντονα στο ζεστό νερό, λάμπει αμυδρά στο κρύο νερό, λάμπει με ενδιάμεση φωτεινότητα στο χλιαρό νερό.

### *Ε. Συμπεράσματα - Περαιτέρω διερεύνηση*

Ολοκληρώνοντας τη διδακτική διαπραγμάτευση ζητάμε από τους μαθητές να διατυπώσουν υπό μορφή συμπεράσματος τις πειραματικές παρατηρήσεις που έκαναν προσπαθώντας να χρησιμοποιήσουν τη γλώσσα της Χημείας. Συνοψίζοντας, καταλήγουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας αύξησε την ταχύτητα της χημικής αντίδρασης που παράγει, μέσω του μηχανισμού της χημειοφωταύγειας, φωτεινή ενέργεια.

Για να θεμελιωθεί ακόμη καλύτερα το συμπέρασμα αυτό μπορεί να δοθεί στους μαθητές ως εργασία για το σπίτι η διερεύνηση του ρόλου του χρόνου σε αυτό το φαινόμενο. Ενδεικτικά ερωτήματα που μπορεί να κληθούν να απαντήσουν μετά από πειραματική διερεύνηση είναι τα εξής:

Ποια φωτεινή ράβδος θα φωτοβολεί για περισσότερο χρόνο, αυτή σε ζεστό νερό ή αυτή σε κρύο;

Ποιο συμπέρασμα προκύπτει από αυτό για το ενεργειακό περιεχόμενο μίας χημικής αντίδρασης; Είναι ανεξάντλητο; Μπορεί να τροποποιηθεί;

Πώς μπορεί να εξασφαλιστεί πειραματικά η έκθεση σε σταθερή υψηλή θερμοκρασία; Πώς σε χαμηλή;

Τι συνέπειες έχουν όλα αυτά στο πρόβλημα των τριών κατασκευωτών;

### **Συμπεράσματα**

Συνήθως η διδακτική προσέγγιση που χρησιμοποιείται για τη διαχείριση της ενότητας που αναφέρεται στην εξάρτηση της ταχύτητας μίας αντίδρασης από τη θερμοκρασία είναι αυτή της προσφυγής στον μικρόκοσμο, χρησιμοποιώντας στην καλύτερη περίπτωση κάποια προσομοίωση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Θεωρούμε ότι η παραδοσιακή αυτή προσέγγιση αυτή έχει αξία ως εργαλείο ανάπτυξης ενός ερμηνευτικού μοντέλου του υπό συζήτηση φαινομένου. Η αξία αυτή ωστόσο θα ήταν πρόσθετη αν είχε προηγηθεί η πειραματική διερεύνηση ανάδειξης του ίδιου του βασικού φαινομένου.

Στο πλαίσιο αυτό παρουσιάστηκε η παραπάνω διδακτική πρόταση η οποία αξιοποιεί ένα φθηνό υλικό, εύκολα προσβάσιμο στους μαθητές και εκπαιδευτικούς: των φωτεινών ράβδων. Μολονότι οι χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι πέρα από τις δυνατότητες διαπραγμάτευσης των μαθητών του Λυκείου, θεωρούμε ότι η φαινομενολογία του πειράματος είναι αρκετή για την πειραματική ανάδειξη του χημικού μηχανισμού που θέλουμε να χειριστούμε διδακτικά και ταυτόχρονα πολύ εντυπωσιακή για να προσελκύσουμε το ενδιαφέρον τους.

### **Παραπομπές**

1. Ένα σύντομο βίντεο που δείχνει τις διαφοροποιήσεις στη φωτεινότητα των φωτεινών ράβδων είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://youtu.be/GmeuYfa5XRY>
2. Ένα σύντομο βίντεο που επιδεικνύει τις διαφοροποιήσεις στη φωτεινότητα των φωτεινών ράβδων διαφορετικού χρώματος, είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://youtu.be/XDz3u0G5zBY>
3. Ένα σύντομο βίντεο που επιδεικνύει πώς μεταβάλλεται η φωτεινότητα των φωτεινών ράβδων όταν μεταφέρονται από το ένα ποτήρι στο άλλο, σε ό,τι αφορά το μέρος τους που εμβαπτίζεται στο νερό, είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση: <http://youtu.be/yunc-pZwadc>

### **Βιβλιογραφικές αναφορές**

Glow sticks (2014, Μάρτιος 12). Ανακτήθηκε από: [http://en.wikipedia.org/wiki/Glow\\_stick](http://en.wikipedia.org/wiki/Glow_stick)

How light sticks works (2014, Απρίλιος 1). Ανακτήθηκε από:  
<http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/light-stick.htm/printable>

Welsh, E. (2011). *What is chemiluminescence?* Science in School, Issue 19, pp.62-66.



Η Παρασκευή Τσακμάκη είναι Φυσικός, απόφοιτος του Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ. Έκανε τις μεταπτυχιακές της σπουδές στη Φυσική Συμπυκνωμένης Ύλης στο Τμ. Φυσικής του Πανεπιστημίου Κρήτης. Εργάζεται στη Δημόσια Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Τα ενδιαφέροντά της εντοπίζονται κυρίως στην εργαστηριακή διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

### **Το έξυπνο μπουκάλι**

**Αθανάσιος Γκουτζαμάνης και Άννα Κουμαρά**

Στη δραστηριότητα που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία, ένα μικρό μπουκάλι νερού κινείται στη γυμνή επιφάνεια του τραπεζιού, διασχίζει ένα μέρος της και όταν φτάσει στην άκρη του τραπεζιού, στο “χείλος του γκρεμού”, σταματάει επιδεικνύοντας αξιοσημείωτη ευφυΐα! Είναι αρκετά έξυπνο για να αποφύγει το πέσιμο! Μπορεί να το κάνει για κάθε είδους οριζόντια επιφάνεια τραπεζιού, λιγότερο ή περισσότερο λεία. Μπορεί ακόμη και να αναγνωρίζει αν στην επιφάνεια έχουν χυθεί λάδια ή όχι. Βεβαίως απαιτεί από εσάς να το προπονήσετε. Δείτε το βίντεο που είναι διαθέσιμο στη διεύθυνση <https://www.youtube.com/watch?v=pVTz-Op9al&feature=youtu.be>. Έχετε κάποια εξήγηση; Κάποια πρόταση για διδακτική αξιοποίηση; Σε κάθε περίπτωση, εντυπωσιάζει τα παιδιά, και όχι μόνο, και τα εμπλέκει σε ένα παιχνίδι με πολύ Φυσική. Ας πάρουμε, όμως, τα πράγματα με τη σειρά.

### **Η κατασκευή του «έξυπνου μπουκαλιού» και η «προπόνησή» του**

Για να φτιάξετε τη διάταξη του έξυπνου μπουκαλιού θα χρειαστείτε:

- δύο άδεια μπουκάλια νερού των 500ml με τα καπάκια τους,
- νερό,
- τέμπερα (προαιρετικά, απλά για να φαίνεται το νερό από μακριά),
- σπάγκο μήκους 70 – 80 cm,
- ένα τραπέζι

Η διαδικασία κατασκευής είναι μάλλον απλή:

Δέστε τη μια άκρη του σπάγκου γύρω από το λαιμό του ενός μπουκαλιού και την άλλη γύρω από το λαιμό του άλλου μπουκαλιού. Κανονίστε το μήκος του σπάγκου μεταξύ των δύο μπουκαλιών να είναι περίπου 50 – 60 cm, ανάλογα με το ύψος του τραπεζιού που θα χρησιμοποιήσετε, ώστε όταν τα μπουκάλια βρίσκονται στην άκρη του τραπεζιού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2, το κρεμασμένο μπουκάλι να μην ακουμπάει στο δάπεδο.

## Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκορπίσματα

Γεμίστε εντελώς το ένα μπουκάλι (μπουκάλι Α) με νερό και διαλύστε λίγη τέμπερα. Στη συνέχεια αδειάστε το 1/3 του περιεχομένου του στο άλλο μπουκάλι (μπουκάλι Β). Έτσι το μπουκάλι Α είναι περίπου κατά τα 2/3 γεμάτο με νερό και το μπουκάλι Β, περίπου κατά το 1/3 γεμάτο με νερό. Από εδώ και πέρα είστε έτοιμοι να ξεκινήσετε την προπόνηση του έξυπνου μπουκαλιού σας. Το ρόλο αυτό θα παίξει το μπουκάλι Α.



Εικόνα 1. Τα δύο μπουκάλια έχουν πάρει τη θέση τους στο τραπέζι. (Φωτογραφία των συγγραφέων).

Κρατήστε το μπουκάλι Α ξαπλωμένο οριζόντια πάνω στην επιφάνεια του τραπεζιού σε τέτοια απόσταση από την άκρη του τραπεζιού ώστε το μπουκάλι Β να κρέμεται κατακόρυφο στο κενό, με το καπάκι του στο ύψος της επιφάνειας του τραπεζιού (Εικόνα 1). Ελευθερώστε το μπουκάλι Α. Ανάλογα με τη συμπεριφορά που θα επιδείξει θα ανταποκριθείτε κι εσείς ως εξής:

- Αν το μπουκάλι Α δεν κινείται όταν το ελευθερώσετε, αδειάστε λίγο νερό από το μπουκάλι Α στο μπουκάλι Β.
- Αν το μπουκάλι Α πέφτει στο “γκρεμό” αδειάστε λίγο νερό από το μπουκάλι Β στο μπουκάλι Α.
- Επαναλάβετε τα προηγούμενα βήματα μέχρις ότου πετύχετε να ξεκινά το μπουκάλι Α και να σταματά ακριβώς στην άκρη του τραπεζιού.

## Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκορπίσματα

Ο συνδυασμός των ποσοτήτων νερού στα μπουκάλια που απαιτείται για να σταματά το μπουκάλι Α στην άκρη του τραπεζιού, εξαρτάται από το συντελεστή τριβής του μπουκαλιού στην επιφάνεια του τραπεζιού, δηλαδή από το πόσο λεία είναι η επιφάνεια του τραπεζιού ή αν έχουν χυθεί σε αυτήν νερό, λάδια ή κάποιο άλλο υγρό. Μπορείτε να επαναλάβετε τα παραπάνω βήματα έχοντας χύσει λίγο νερό στο τραπέζι για να διαπιστώστε τις διαφορές στη συμπεριφορά του έξυπνου μπουκαλιού.



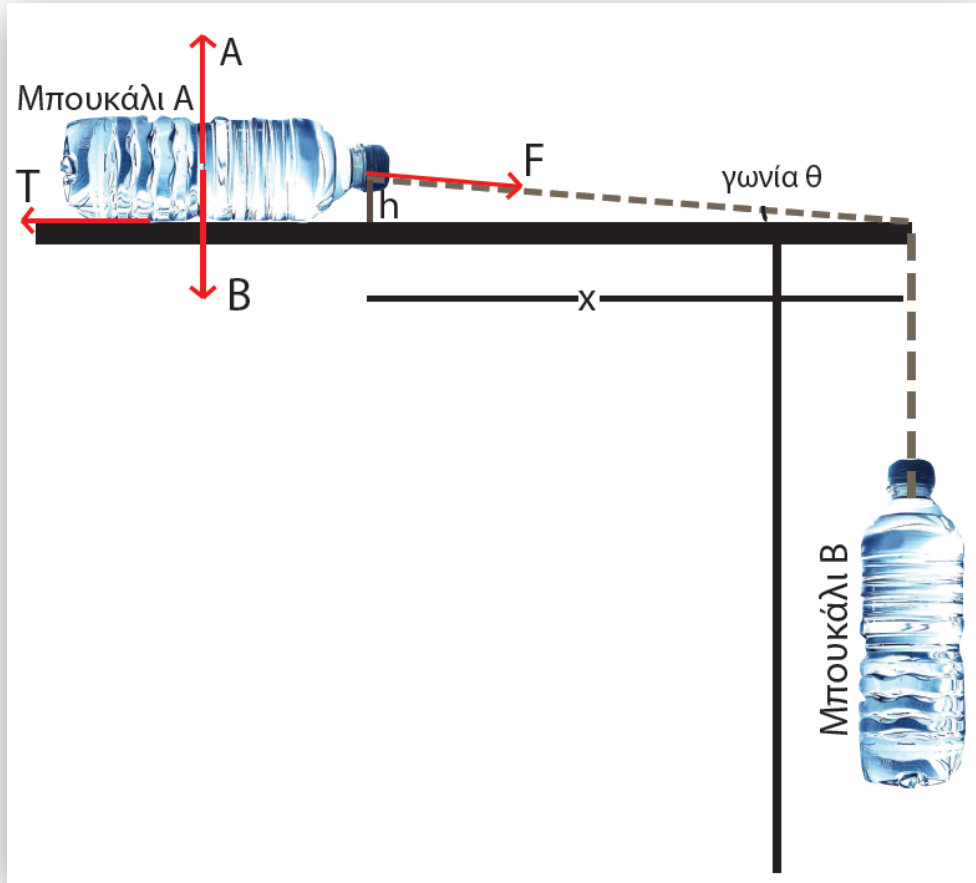
Εικόνα 2. Το έξυπνο μπουκάλι έχει σταματήσει στο χείλος του γκρεμού. Προσέξτε ότι το μπουκάλι που αιωρείται δεν ακουμπάει στο έδαφος. (Φωτογραφία των συγγραφέων).

### **Ερμηνεία της “ευφύιας” του μπουκαλιού**

Στο μπουκάλι Α, αυτό που βρίσκεται στην οριζόντια επιφάνεια του τραπεζιού, ενεργούν οι εξής δυνάμεις (Σχήμα 1):

- η δύναμη **F** από το νήμα
- το βάρος **B** από τη Γη

- η αντίδραση **A** από το τραπέζι
- η τριβή **T** από την επιφάνεια του τραπεζιού



Σχήμα 1: Οι δυνάμεις που δρουν στο μπουκάλι A

Ας δούμε πιο αναλυτικά τις δυνάμεις αυτές.

### Η δύναμη **F**

Η δύναμη **F** έχει τη διεύθυνση του νήματος, το οποίο εκτείνεται από το σημείο που ακουμπάει στο χείλος του τραπεζιού μέχρι το σημείο στο λαιμό του μπουκαλιού A όπου το νήμα είναι δεμένο. Η διεύθυνση αυτή (εκτός από τη στιγμή που το μπουκάλι A βρίσκεται στο χείλος του τραπεζιού) είναι “πλάγια”. Η γωνία  $\theta$  που σχηματίζει το νήμα με την οριζόντια επιφάνεια του τραπεζιού υπολογίζεται από τη σχέση  $\epsilon\phi\theta = h/x$ , όπου  $h$  η κατακόρυφη απόσταση του σημείου που δένεται το σκοινί στο λαιμό του μπουκαλιού A από την επιφάνεια του τραπεζιού και  $x$  η απόσταση, του ίδιου σημείου, από το σημείο στο χείλος του τραπεζιού, όπου ακουμπά το νήμα που συνδέει τα δυο μπουκάλια (Σχήμα 1).

Η δύναμη **F** αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μια οριζόντια με μέτρο  $F_{op} = F \cdot \sigma\upsilon\eta\theta$  και σε μια κατακόρυφη με μέτρο  $F_{κατ} = F \cdot \eta\mu\theta$ . Η  $F_{op}$  είναι αυτή που τείνει να κινήσει το μπουκάλι A.



Όταν το μπουκάλι A βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το χείλος του τραπεζιού η γωνία  $\theta$  τείνει στο μηδέν και η  $F_{op}$  λαμβάνει μεγάλη τιμή. Καθώς το μπουκάλι A κινείται προς το χείλος του τραπεζιού η γωνία  $\theta$  μεγαλώνει και η  $F_{op}$  συνεχώς μικραίνει. Αντίστοιχα η  $F_{κατ}$ , η οποία ως κάθετος στην επιφάνεια του τραπεζιού επηρεάζει την τιμή της τριβής του μπουκαλιού στο τραπέζι, λαμβάνει τη μικρότερη τιμή της όταν το μπουκάλι βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση και συνεχώς η τιμή αυτή μεγαλώνει καθώς το μπουκάλι κινείται προς το χείλος του τραπεζιού.

### *Το βάρος B*

Αν  $m_1$  είναι η μάζα του μπουκαλιού A και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας τότε το μέτρο του βάρους του μπουκαλιού είναι  $B = m_1 \cdot g$ .

### *Η αντίδραση A*

Το μπουκάλι δεν κινείται στη κατακόρυφη διεύθυνση, άρα η συνισταμένη δύναμη σε αυτή τη διεύθυνση είναι ίση με μηδέν. Σε αυτή τη διεύθυνση ασκούνται δύο ομόρροπες δυνάμεις με φορά προς τα κάτω: το βάρος **B** και κατακόρυφη συνιστώσα  $F_{κατ}$  της δύναμης **F**. Άρα, η αντίδραση από το τραπέζι, η οποία εξισορροπεί τη συνισταμένη τους ισούται με  $(m_1 \cdot g + F \cdot \eta \mu \theta)$ .

### *Η τριβή T*

Το μέτρο της τριβής ολίσθησης, και με σχετική ακρίβεια και το μέτρο της μέγιστης τιμής της στατικής τριβής, δίνεται από τη σχέση  $T = \mu \cdot A = \mu \cdot (m_1 \cdot g + F \cdot \eta \mu \theta)$  όπου  $\mu$  ο συντελεστής τριβής και  $A$  η αντίδραση του τραπεζιού. Η τριβή μεγαλώνει όσο το μπουκάλι πλησιάζει στην άκρη του τραπεζιού διότι μεγαλώνοντας η γωνία  $\theta$  μεγαλώνει η τιμή για το  $\eta \mu \theta$ .

Το μέτρο της συνολικής δύναμης που δρα στο μπουκάλι A κατά τον άξονα x, και είναι υπεύθυνη για την κίνησή του στον άξονα αυτό, είναι  $F_{συν} = F_{op} - T = F \cdot \sigma \nu \eta \theta - \mu \cdot (m_1 \cdot g + F \cdot \eta \mu \theta)$ . Στην παραπάνω ανάλυση δεν έχει ληφθεί υπόψη η τριβή του σκονιού στην κόψη του τραπεζιού και αυτό γιατί στόχος της εργασίας είναι περισσότερο μια ποιοτική ερμηνεία και όχι μια άκρως ποσοτική αντιμετώπιση που στοχεύει σε μετρήσεις. Σύμφωνα με τα παραπάνω, αρχικά η δύναμη  $F_{συν}$  έχει θετική τιμή και το μπουκάλι A κινείται επιταχυνόμενα. Στη συνέχεια καθώς πλησιάζει προς την άκρη του τραπεζιού, και η γωνία  $\theta$  συνεχώς αυξάνεται, η  $F_{συν}$  λαμβάνει αρνητική τιμή και το μπουκάλι B κινείται επιβραδυνόμενα. Κατάλληλος συνδυασμός των ποσοτήτων του νερού που τοποθετούνται στα μπουκάλια A και B οδηγεί στο να σταματάει το μπουκάλι A στο “χείλος του γκρεμού”. Προφανώς ο συνδυασμός των ποσοτήτων νερού σε κάθε μπουκάλι εξαρτώνται από το πόσο λεία, βρεγμένη ή λαδωμένη είναι η επιφάνεια του τραπεζιού (συντελεστής τριβής  $\mu$ ) και από το πόσο ψηλά είναι δεμένο το σκοινί ( $h$  στο Σχήμα 1). Όταν χρησιμοποιείται μπουκάλι, όπως εδώ, το ύψος  $h$  δεν αλλάζει εύκολα. Αν το σκοινί δεθεί στο επάνω μέρος του λαιμού απλά το μπουκάλι γυρίζει και το δέσιμο

βρίσκεται πάλι στο κάτω μέρος του λαιμού. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί ένα χάρτινο κουτί από γάλα και να κολληθεί το σκονί στην πρόσθια πλευρά του όσο πάνω ή κάτω θέλει κανείς. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται η εξάρτηση των ποσοτήτων του νερού που απαιτείται σε κάθε μπουκάλι για τη λειτουργία του «έξυπνου» κουτιού και από το ύψος  $h$ .

Σημείωση: Η δύναμη  $F$  δεν ισούται με το βάρος του μπουκαλιού  $B$ , όπως εκ πρώτης όψεως κάποιος θα μπορούσε να υποθέσει, διότι αυτό το βάρος προκαλεί πέρα από την κίνηση του μπουκαλιού  $A$  και την κίνηση του μπουκαλιού  $B$ . Το μέτρο της δύναμης  $F$  δίδεται από τη σχέση:

$$F = \frac{m_1 m_2 g (\mu + 1)}{m_1 + m_2 (\text{συν}\theta - \mu \eta \mu\theta)}$$

Η σχέση αυτή προκύπτει από τις εξισώσεις κίνησης για κάθε μπουκάλι:

Για το μπουκάλι  $A$  η εξίσωση κίνησης είναι:

$$F \cdot \text{συν}\theta - \mu \cdot (m_1 \cdot g + F \cdot \eta \mu\theta) = m_1 \cdot a \quad (1),$$

Για το μπουκάλι  $B$  η εξίσωση κίνησης είναι:

$$-F + m_2 \cdot g = m_2 \cdot a \quad (2)$$

Αντικαθιστώντας στην (1) την τιμή του  $a$ , που προκύπτει από τη 2,  $a = \frac{m_2 g - F}{m_2}$ , προκύπτει η παραπάνω σχέση για τη δύναμη  $F$ .

### Προτάσεις για διδακτική αξιοποίηση

Το παραπάνω πείραμα ως εργαστηριακή άσκηση για φοιτητές στα γενικά εργαστήρια Φυσικής του Α' έτους Τμημάτων Φυσικής ή παρεμφερών Σχολών, το έχουμε παρουσιάσει σε παλιότερη εργασία μας (Γκουτζαμάνης κ.α., 2006). Σε επίπεδο Λυκείου θεωρούμε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

α) στη διδασκαλία διανυσμάτων. Συγκεκριμένα, μπορεί να δειχτεί στη διδασκαλία του αντίστοιχου κεφαλαίου με στόχο την πρόκληση του ενδιαφέροντος των παιδιών.

β) στη διδασκαλία τριβής. Στη διδασκαλία της τριβής στη Φυσική της Α' Λυκείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να δειχτεί η εξάρτηση της τριβής από το λείο ή το τραχύ της επιφάνειας πάνω στην οποία γλιστρά το μπουκάλι. Για παράδειγμα, μπορεί να δειχτεί ότι: το μπουκάλι  $A$  (με σταθερά όλα τα άλλα) σταματά στην άκρη του τραπεζιού όταν η επιφάνεια είναι τραχιά, ενώ δεν σταματά αν η επιφάνεια αντικατασταθεί με λεία ή αν η στην επιφάνεια σκορπιστεί νερό ή λάδι.

### Βιβλιογραφία

Γκουτζαμάνης, Α., Κουμαρά, Α., και Πολάτογλου Χ. (2006). *Ποσοτική επεξεργασία και αξιοποίηση του εναλλακτικού πειράματος «το έξυπνο μπουκάλι» στο πλαίσιο μιας εργαστηριακής άσκησης*. Πρακτικά. 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ε.Δι.Φ.Ε., σ. 867- 874, 7-9 Απριλίου, Βόλος.



Ο Θανάσης Γκουτζαμάνης είναι Φυσικός. Κατέχει μεταπτυχιακό τίτλο στη Νανοτεχνολογία, όπου ασχολήθηκε με τη μελέτη της μαγνητικής υπερθερμίας. Είναι υποψήφιος Διδάκτορας στο Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ. με θέμα τη μελέτη της έννοιας της πίεσης και της τάσης και τη διδακτική αξιοποίηση αυτών.



Η Άννα Κουμαρά είναι Φυσικός με μεταπτυχιακό τίτλο στη Νανοτεχνολογία. Ασχολήθηκε με τη διδακτική προσέγγιση της Νανοτεχνολογίας στη Μέση Εκπαίδευση. Διδάσκει Φυσική και Χημεία σε Φροντιστήριο Μέσης Εκπαίδευσης στην Έδεσσα.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

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)

### **1ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή για το Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες.**

Το Εργαστήριο Μαθησιακής Τεχνολογίας και Διδακτικής Μηχανικής του Τ.Ε.Π.Α.Ε.Σ. του Πανεπιστημίου Αιγαίου και το Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών του Π.Τ.Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Αιγαίου, υπό την αιγίδα της Σχολής Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου, ανακοινώνουν τη διοργάνωση του 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή με τίτλο: **«Ανάπτυξη Εκπαιδευτικού Υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες»**, που θα πραγματοποιηθεί στις 17-18 Οκτωβρίου 2014 στις εγκαταστάσεις της Σχολής Ανθρωπιστικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου στη Ρόδο.

Μέσω του Συνεδρίου επιχειρείται η υποστήριξη και ανάπτυξη θέσεων και προτάσεων, ενώ παράλληλα δίνεται η ευκαιρία σε εκπαιδευτικούς, επιστήμονες και ερευνητές να προβάλλουν τις απόψεις τους και να προτείνουν νέες ιδέες σε σχέση με το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και τις

Φυσικές Επιστήμες. Το Συνέδριο αυτό στοχεύει τόσο στη βελτίωση της ποιότητας του παρεχόμενου εκπαιδευτικού έργου όσο και στη διευκόλυνση της πρόσβασης των μελών της εκπαιδευτικής κοινότητας σε εκπαιδευτικό υλικό σύγχρονων ερευνών. Παράλληλα, ανταποκρίνεται στην αναγκαιότητα για συνεχή και συστηματική επιμόρφωση των εκπαιδευτικών, αλλά και την εξοικείωσή τους με τη μεθοδολογία παραγωγής, χρήσης και αξιολόγησης του εκπαιδευτικού υλικού στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες.

Στο Συνέδριο έχει προσκληθεί και θα συμμετέχει ο Professeur **Pierre Léna**, Αστροφυσικός, μέλος της Γαλλικής Ακαδημίας των Επιστημών και Πρόεδρος του Εργαστηρίου **La main à la pâte** (<http://www.fondation-lamap.org/>).

Πληροφορίες σχετικά με την υποβολή εργασιών και τις σημαντικές ημερομηνίες του Συνεδρίου είναι διαθέσιμες στο δικτυακό τόπο: <http://ltee.org/sekpy2014>

### **8οι Πανελλήνιοι Αγώνες Κατασκευών και Πειραμάτων Φυσικών Επιστημών**

Το Εργαστηριακό Κέντρο Φυσικών Επιστημών (Ε.Κ.Φ.Ε.) Αιγάλεω και η Ελληνική Συντονιστική Επιτροπή του Ευρωπαϊκού προγράμματος «Οι Φυσικές Επιστήμες στο Προσκήνιο - Ευρώπη» (Science on Stage - Europe), διοργανώνουν τους 8<sup>ους</sup> Πανελλήνιους Αγώνες Κατασκευών και Πειραμάτων Φυσικών Επιστημών με θέμα: «Δια φωτίζοντας την εκπαίδευση των Φυσικών Επιστημών» («Illuminating Science Education»).

Οι 8<sup>οι</sup> Πανελλήνιοι Αγώνες θα πραγματοποιηθούν στις 7 και 8 Νοεμβρίου 2014 στο εργαστήριο Φυσικών Επιστημών και στο αμφιθέατρο του Ε.Κ.Φ.Ε. Αιγάλεω, στο σχολικό συγκρότημα του 6<sup>ου</sup> Γενικού Λυκείου Αιγάλεω (πρώην ΕΠΛ), Μίνωος και Προόδου 1, Αιγάλεω (Αθήνα).

Όσοι ενδιαφέρονται να συμμετέχουν στους Αγώνες πρέπει να στείλουν τη συμμετοχή τους μέχρι 10 Οκτωβρίου 2014.

Για περισσότερες πληροφορίες επικοινωνήστε με την Υπεύθυνη του Ε.Κ.Φ.Ε. Αιγάλεω στην ηλεκτρονική διεύθυνση: [etsitop@otenet.gr](mailto:etsitop@otenet.gr)

### **8ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιστορίας, Φιλοσοφίας και Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών**

Το Εργαστήριο Διδακτικής των Θετικών Επιστημών του ΤΕΕΑΠΗ του Πανεπιστημίου Πατρών διοργανώνει το 8ο Πανελλήνιο Συνέριο Ιστορίας, Φιλοσοφίας και Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών στις 16-18 Νοεμβρίου 2014 στο Συνεδριακό Κέντρο Πανεπιστημίου

Πατρών - Μουσείο Επιστημών και Τεχνολογίας.

Το 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ιστορίας, Φιλοσοφίας και Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (ΙΦΔΦΕ) πραγματοποιήθηκε το 2001 στη Θεσσαλονίκη και έκτοτε αποτελεί διαθεματικό σημείο αναφοράς για ερευνητές, φοιτητές και εκπαιδευτικούς που δραστηριοποιούνται τόσο στα ακαδημαϊκά πεδία της Ιστορίας, Φιλοσοφίας και Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, όσο και στο σχολείο, διερευνώντας τις δυνατότητες συνεννόησης και συνεργασιών μεταξύ των ανθρώπων που υπηρετούν τους χώρους αυτούς.

Τα δυο τελευταία συνέδρια (6ο και 7ο) πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια ή παράλληλα με σχετικά διεθνή συνέδρια (11th International History, Philosophy and Science Teaching Conference στη Θεσσαλονίκη και 5th International Conference of the European Society of History of Science στην Αθήνα) φέρνοντας σε άμεσο διάλογο Έλληνες και ξένους ερευνητές και εκπαιδευτικούς. Φέτος, το 2014, το 8ο συνέδριο ΙΦΔΦΕ (επανα)θέτει το βασικό ερευνητικό και εκπαιδευτικό ερώτημα που απασχολεί τη συγκεκριμένη κοινότητα, δηλαδή το αν και με ποιους τρόπους η Ιστορία και η Φιλοσοφία των φυσικών επιστημών είναι δυνατόν να συμβάλλει στην αναβάθμιση της διδασκαλίας τους στις διάφορες εκπαιδευτικές βαθμίδες, στην υποβοήθηση της επιμόρφωσης των εκπαιδευτικών καθώς και στην αποτελεσματική επικοινωνία των φυσικών επιστημών στο ευρύ κοινό σε χώρους άτυπης και μη τυπικής εκπαίδευσης (μουσεία

επιστημών και τεχνολογίας, τύπος, τηλεόραση και διαδίκτυο, εκδόσεις, εκπαίδευση εκτός σχολείου). Απ' την άλλη μεριά παραμένουν ισχυρές οι θέσεις ερευνητών και εκπαιδευτικών, από την εποχή ακόμη που ο T. Kuhn διατύπωσε σχετικές απόψεις, που επισημαίνουν τους κινδύνους στρέβλωσης της Ιστορίας των φυσικών επιστημών κατά το μετασχηματισμό της σε εκπαιδευτικό υλικό. Πώς εξελίσσεται η διαμάχη αυτή και ποια μορφή λαμβάνει στον ελληνικό χώρο; Πώς εξελίσσεται διεθνώς και στην Ελλάδα η έρευνα και διδασκαλία στο χώρο αυτό; Ιδιαίτερα στον ελληνικό χώρο, στον οποίο συγκυριακά αναπτύχθηκαν κατά καιρούς φιλόδοξες και καινοτόμες προσπάθειες, υπάρχουν ρεύματα έρευνας ή/και πρακτικές που να συστηματοποιούν την ήδη υπάρχουσα εμπειρία και να καλλιεργούν νέες μεθοδολογίες σχεδιασμού και ανάπτυξης σχετικού εκπαιδευτικού υλικού;

Παράλληλα, στο συνέδριο είναι δυνατόν να φιλοξενηθούν εργασίες που αναφέρονται σε όλες τις πλευρές της **πολιτισμικής διάστασης της επιστημονικής γνώσης** στις τυπικές και μη τυπικές μορφές εκπαίδευσης. Οι σχέσεις της σχολικής ή εκλαϊκευμένης επιστημονικής γνώσης με προβλήματα της καθημερινής ζωής, με τεχνολογικά ζητήματα, με περιβαλλοντικά θέματα και με δραστηριότητες των τεχνών αποτελούν χαρακτηριστικά στοιχεία αυτής της διάστασης και πιθανά αντικείμενα πραγμάτευσης των εργασιών αυτών. Υφίσταται διεθνώς και στην Ελλάδα ένα ερευνητικό ρεύμα ή/και πρακτικές διδασκαλίας και εκλαϊκευσης της πολιτισμικής

διάστασης της επιστημονικής γνώσης; Η ανάδειξη της πολιτισμικής διάστασης της επιστημονικής γνώσης στο σχολείο και στη μη τυπική εκπαίδευση μπορεί να συμβάλει στον επαναπροσδιορισμό των σχέσεων ανάμεσα στις φυσικές επιστήμες και τον πολιτισμό, δεδομένου ότι οι σχέσεις αυτές φαίνεται να έχουν διαρραγεί πλήρως στη σύγχρονη εποχή μας;

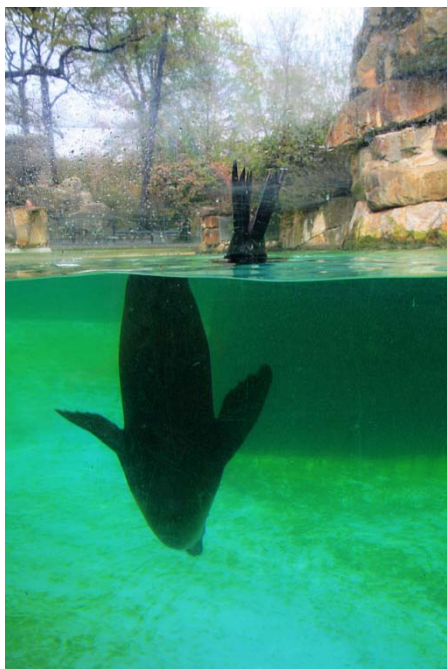
Το συνέδριο απευθύνεται σε ερευνητές της ιστορίας, φιλοσοφίας και διδακτικής των φυσικών επιστημών και συναφών επιστημών, σε εκπαιδευτικούς και στελέχη της εκπαίδευσης όλων των βαθμίδων, σε επαγγελματίες της επικοινωνίας της εικόνας και της κουλτούρας (δημοσιογράφους, στελέχη μουσείων), σε φοιτητές παιδαγωγικών ή άλλων πανεπιστημιακών τμημάτων που ενδιαφέρονται για την διάδοση των φυσικών επιστημών στην κοινωνία και την εκπαίδευση, καθώς και στο ευρύ κοινό που ενδιαφέρεται για τα σχετικά ζητήματα και αποτελεί τον αποδέκτη της προσπάθειας για τη δημόσια κατανόηση της επιστήμης.

Πληροφορίες σχετικά με την υποβολή εργασιών και τις σημαντικές ημερομηνίες του Συνεδρίου είναι διαθέσιμες στο δικτυακό τόπο:

<http://www.hipst.gr/>

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή





Στο εξώφυλλο του 2ου τεύχους δημοσιεύτηκε η φωτογραφία του κ. Παναγιώτη Λάζου που ο ίδιος τιτλοφόρησε “Βερολινέζα φώκια”. 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. Γιατί άραγε συμβαίνει κάτι τέτοιο;

Δεχθήκαμε 6 συνολικά απαντήσεις από αναγνώστες του περιοδικού. Σύμφωνα με τον κ. Λάζο το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί εξής:

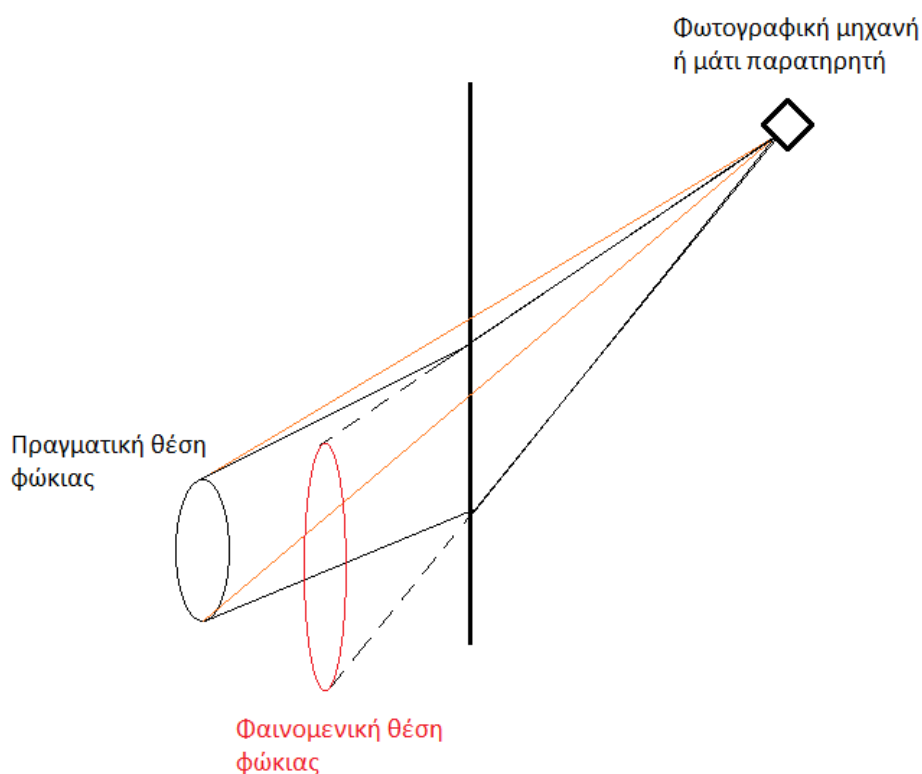
«Ο «υπεύθυνος» για όσα παράξενα παρατηρούμε στη φωτογραφία δεν είναι άλλος από τη διάθλαση του φωτός. Το φως, που ανακλά το βυθισμένο στο νερό τμήμα του σώματος της φώκιας, πριν εισέλθει στον φακό της φωτογραφικής μηχανής αλλάζει μέσο διάδοσης κινούμενο αρχικά στο νερό, μετά στο γυαλί του ενυδρείου και τελικά στον αέρα. Υπόκειται, έτσι, σε δύο διαθλάσεις. Στη συγκεκριμένη λήψη η φωτογραφική μηχανή «βλέπει» υπό γωνία το γυαλί του ενυδρείου και κατά συνέπεια η γωνία πρόσπτωσης του φωτός από το σώμα της φώκιας είναι μικρότερη των  $90^\circ$  και το φως εκτρέπεται.

Σύμφωνα με το νόμο του Snell στη διαχωριστική επιφάνεια νερού-γυαλιού η διαθλώμενη ακτίνα πλησιάζει την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια διότι το νερό έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από όλα τα είδη γυαλιού<sup>1</sup>. Στη διαχωριστική επιφάνεια γυαλιού-αέρα συμβαίνει το αντίστροφο και επειδή η διαφορά των δεικτών διάθλασης γυαλιού-αέρα είναι μεγαλύτερη από εκείνη των δεικτών διάθλασης

<sup>1</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_refractive\\_indices](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_refractive_indices)

νερού-γυαλιού, το φως τελικά απομακρύνεται από την κάθετη στις διαχωριστικές επιφάνειες όπως φαίνεται στο σχήμα και εκτρέπεται.

Προφανώς, το φως που προσπίπτει στη φωτογραφική μηχανή από το τμήμα του σώματος της φώκιας που βρίσκεται έξω από το νερό δεν εκτρέπεται καθόλου. Το αποτέλεσμα είναι η «άφιξη» του φωτός υπό διαφορετικές γωνίες και ο φαινομενικός τεμαχισμός του σώματος.



Ταυτόχρονα, παρατηρείται μια μεγέθυνση του σώματος της φώκιας. Η αιτία, όπως φαίνεται και στο σχήμα είναι πως η γωνία υπό την οποία βλέπουμε τη φαινομενική θέση της φώκιας είναι μεγαλύτερη από τη γωνία υπό την οποία βλέπουμε την πραγματική θέση της.»

Ευχαριστούμε όλους και όλες που έστειλαν τις απαντήσεις τους. Περιμένουμε με ανυπομονησία τις απαντήσεις σας και για τη φωτογραφία του εξώφυλλου του 3ου τεύχους!

### **Ευρετήριο συγγραφέων (Τεύχος 1, Δεκέμβριος 2013 – Τεύχος 3, Ιούνιος 2014)**

Στο τεύχος του Ιουνίου κάθε χρονιάς θα δημοσιεύεται ευρετήριο των συγγραφέων που φιλοξενήθηκαν στα 4 τελευταία τεύχη του περιοδικού (Σεπτεμβρίου, Δεκεμβρίου, Μαρτίου και Ιουνίου).

*Dewey, J.*, 1ο, 9-18  
*Hewitt, P.*, 2ο, 9-25  
*Αυγολούπης, Σ.*, 2ο, 35-40  
*Βαλαδάκης, Α.*, 1ο, 29-35  
*Βουρλιάς, Κ.*, 1ο, 63-68  
*Γαργανουράκης, Β.*, 2ο, 77-83  
*Γκουτζαμάνης, Α.*, 3ο, 77-83  
*Δομουχτσίδου, Γ.*, 1ο, 69-75  
*Κανδεράκης, Ν.*, 1ο, 37-43  
*Κασσέτας, Α.*, 1ο, 45-51  
*Κουμαρά, Α.*, 3ο, 77-83  
*Κουμαράς, Π.*, 1ο, 53-61 & 2ο, 41-48  
*Κυριαζόπουλος, Ν.*, 3ο, 37-48  
*Λάζος, Π.*, 2ο, 57-65  
*Μουρούζης, Π.*, 3ο, 21-28  
*Νέζης, Α.*, 3ο, 59-66  
*Παλαιολόγου, Ε.*, 2ο, 89-92 & 3ο, 29-36  
*Πετρίδης, Π.*, 2ο, 49-56  
*Πιερράτος, Θ.*, 3ο, 37-48  
*Πολίτης, Γ.*, 3ο, 49-57  
*Πράμας, Χ.*, 1ο, 27-34  
*Σέρογλου, Φ.*, 1ο, 63-68  
*Σιάτρας, Α.*, 2ο, 85-88  
*Σκουμιάς, Μ.*, 3ο, 9-19  
*Τσαγλιώτης, Ν.*, 1ο, 77-78  
*Τσακμάκη, Π.*, 3ο, 67-76  
*Φασουλόπουλος, Γ.*, 1ο, 19-27  
*Χατζηγεωργίου, Μ.*, 3ο, 49-57  
*Χατζηνικήτα, Β.*, 3ο, 9-19  
*Χρονάκης, Α.*, 2ο, 67-76

