

Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση



ISSN 2241-7680

Θεσσαλονίκη

Το εξώφυλλο του περιοδικού φιλοξένησε σε κάθε τεύχος μια φωτογραφία που υποβλήθηκε ηλεκτρονικά στη συντακτική επιτροπή για αυτό το σκοπό. Η φωτογραφία, η οποία ήταν πρωτότυπη και δεν προερχόταν από το διαδίκτυο ή από κάποιο έντυπο, έπρεπε να συνδέεται με ένα φαινόμενο που είναι αντικείμενο πραγμάτευσης των Φυσικών Επιστημών.

Η φωτογραφία του τρέχοντος εξωφύλλου συνίσταται από τα εξώφυλλα που φιλοξενήθηκαν στα 13 τεύχη που προηγήθηκαν.

Η ερμηνεία για τη φωτογραφία του 13^{ου} τεύχους είναι διαθέσιμη στη σελίδα 75.

ISSN 2241-7680

| | |
|---|-------|
| Editorial | 4 |
| Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο | |
| <i>Τι αντιστοιχεί, σε μικροσκοπικό επίπεδο, στη διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων ενός κλειστού κυκλώματος συνεχούς ρεύματος σταθερής τιμής;</i> , Π. Κουμαράς | 5-15 |
| <i>Εργαστηριακή μελέτη της αρχής διατήρησης της ενέργειας με ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο</i> , Θ. Πιερράτος | 17-23 |
| <i>Πειραματική μελέτη της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης</i> , Β. Νούσης | 25-36 |
| Μέσα στην τάξη | |
| <i>Διερεύνηση μορφολογικών χαρακτηριστικών φυτού εσωτερικού χώρου με στόχο την ανάδειξη συμμετριών και εσωτερικών σχέσεων</i> , Σ. Σπανός | 37-44 |
| <i>Η διαπνοή, η μεταφορά νερού και η φωτοσύνθεση στα φυτά μέσω της καθοδηγούμενης Διερεύνησης</i> , Μ. Ξαπλαντέρη & Μ. Κοτσιφάκη | 45-54 |
| <i>Στα άδυστα της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών – Μία διεπιστημονική προσέγγιση</i> , Σ. Γιαγτζόγλου | 55-67 |
| Σκουπιδομαζέματα-επιστημοσκοπίσματα | |
| <i>Συνθήκες έλλειψης βαρύτητας στην τάξη</i> , Π. Τσακμάκη | 69-72 |
| Πρόκειται να συμβούν | 73 |
| Γράψατε για το εξώφυλλο | 75 |
| Ευρετήριο συγγραφέων | 77 |

Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση – ISSN 2241-7680

Εκδοτική ομάδα

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

Διαχείριση δικτυακού τόπου

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

Συντακτική ομάδα

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

Επιμέλεια Εξώφυλλου

Μαΐδου Ανθούλα, Εκπ/κος Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

Επιστημονική Επιτροπή

Αυγολούπης Σταύρος, Καθηγητής του Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Βαλαδάκης Ανδρέας, Δρ. Φυσικής, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Δαπόντες Νίκος, π. Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04
Δομουχτσίδου Γαρυφαλλιά, Δρ. Βιολογίας, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Καλογιαννάκης Μιχάλης, Λέκτορας του Π.Τ.Π.Ε. του Παν. Κρήτης
Κουμαράς Παναγιώτης, Καθηγητής του Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Μαυρόπουλος Αβραάμ, Δρ. Επιστ. Αγωγής, Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04 Στερεάς Ελλάδας
Μουρούζης Παναγιώτης, Φυσικός Ρ/Η, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Κέρκυρας
Παπασταματίου Νίκος, Φυσικός, επίτιμος Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04
Πιερράτος Θεόδωρος, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Υπεύθυνος Ε.Κ.Φ.Ε. Ευόσμου
Πλακίτση Κατερίνα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Π.Τ.Ν. του Παν. Ιωαννίνων
Πολάτογλου Χαρίτων, Καθηγήτρια του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ.

Πράμας Χρήστος, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Σχ. Σύμβουλος Π/βάθμιας Εκπ/σης Σεργρών
Πριμεράκης Γιώργος, Δάσκαλος Π/βάθμιας Εκπ/σης
Ρούμελης Νικόλαος, Δρ. Χημείας, Σχ. Σύμβουλος ΠΕ04 Κυκλάδων
Σκουμιός Μιχάλης, Λέκτορας του Π.Τ.Δ.Ε. του Παν. Αιγαίου
Σολομωνίδου Χριστίνα, π. Καθηγήτρια του Π.Τ.Δ.Ε. του Παν. Θεσσαλίας
Σπανός Σεραφείμ, Δρ. Φυσικής, Εκπ/κός Δ/βάθμιας Εκπ/σης
Σταυρίδου Ελένη, π. Καθηγήτρια του Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ.
Τσαγλιώτης Νεκτάριος, Δάσκαλος Π/βάθμιας Εκπ/σης
Τσιτοπούλου-Χριστοδουλίδη Ευγενία, Υπεύθυνη Ε.Κ.Φ.Ε. Αιγιάλεω
Φανουράκη Ελευθερία, Δρ. Βιολογίας, Υπεύθυνη 1ου Ε.Κ.Φ.Ε. Ηρακλείου
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.
Χαραλάμους Μάριος, Δρ. Διδακτικής της Φυσικής, Εκπ/κός Π/βάθμιας Εκπ/σης Κύπρου

Editorial – Μάρτιος 2017

Αγαπητές αναγνώστριες,

Αγαπητοί αναγνώστες,

Το Δεκέμβριο του 2013 ξεκινήσαμε την ηλεκτρονική έκδοση του περιοδικού *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση* έχοντας ως σκοπό να συνεισφέρουμε στη βελτίωση της Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών στην Ελλάδα, από το Νηπιαγωγείο μέχρι και το Λύκειο, και την ενθάρρυνση της επικοινωνίας και της ανταλλαγής απόψεων μεταξύ των μελών της εκπαιδευτικής κοινότητας. Για το λόγο αυτό επιδιώξαμε, μέσα από τις στήλες του περιοδικού, τη δημοσίευση μιας ποικιλίας θεμάτων που θεωρήσαμε ότι απασχολούν τον εκπαιδευτικό της τάξης.

Από το 1ο τεύχος μέχρι και το τρέχον 14ο τεύχος στο περιοδικό δημοσιεύτηκαν 112 άρθρα από 69 διαφορετικούς συγγραφείς. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, που παρέχονται από το Google Analytics, το δικτυακό τόπο του περιοδικού επισκέφθηκαν περίπου 19000 διαφορετικοί χρήστες πραγματοποιώντας περίπου 27000 περιόδους σύνδεσης και προβάλλοντας περισσότερες από 49000 σελίδες.

Δυστυχώς, για λόγους που υπερβαίνουν τη διάθεσή μας, το παρόν 14ο τεύχος ολοκληρώνει τον κύκλο ηλεκτρονικής έκδοσης του περιοδικού· τουλάχιστον την πρώτη περίοδο λειτουργίας του. Ο αντίκτυπος του στην εκπαιδευτική κοινότητα και η επίτευξη των στόχων του δεν μπορεί ούτε να αποτυπωθεί σε αριθμούς και ούτε φυσικά είναι εύκολο να μετρηθεί. Ελπίζουμε, ωστόσο, ότι η ελεύθερη πρόσβαση στα δεκατέσσερα τεύχη που θα εξακολουθήσουν να παραμένουν διαθέσιμα στο δικτυακό τόπο του περιοδικού να επικουρήσει στην κατεύθυνση αυτή.

Ευχαριστούμε πολύ όλους όσοι εμπιστεύτηκαν τη δημοσίευση των εργασιών τους στο περιοδικό.

Ευχαριστούμε πολύ τα μέλη της επιστημονικής επιτροπής για την προσπάθειά τους να διατηρήσουν υψηλό το επίπεδο των δημοσιευμένων άρθρων.

Ευχαριστούμε επίσης όλους εσάς που αγκαλιάσατε το περιοδικό και με τα καλά σας λόγια στηρίξατε την προσπάθειά μας. Ελπίζουμε να αποκαταστήσουμε σύντομα επαφή μέσα από κάποια παρόμοια ή παρεμφερή προσπάθεια.

Εκ μέρους της εκδοτικής ομάδας
Θοδωρής Πιερράτος

Τι αντιστοιχεί, σε μικροσκοπικό επίπεδο, στη διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων ενός κλειστού κυκλώματος συνεχούς ρεύματος σταθερής τιμής;

Παναγιώτης Κουμαράς

Στα μέσα περίπου της δεκαετίας του 1980 σε μάθημα Φυσικής, σχετικό με το νόμο του Ohm, που έκανα στη Γ' Γυμνασίου έλεγα στα παιδιά ότι: α) στην ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος αντιστοιχεί σε μικροσκοπικό επίπεδο ένας (τεράστιος) αριθμός ηλεκτρονίων που ρέει, περνάει προς μια κατεύθυνση, κάθε δευτερόλεπτο από μια τομή του αγωγού και β) η αντίσταση του αγωγού αντιστοιχεί, σε μικροσκοπικό επίπεδο, σε επιβραδύνσεις («τριβές») των ηλεκτρονίων από τα ιόντα του αγωγού. Τότε δέχτηκα από κάποιον μαθητή μου την ερώτηση, ή τουλάχιστον έτσι την κατάλαβα εγώ:

«Τι αντιστοιχεί, σε μικροσκοπικό επίπεδο, στη διαφορά δυναμικού;» (1^η ερώτηση)

Σκέφτηκα λίγο. Απάντησα ότι δεν ξέρω. Ευτυχώς τα παιδιά με εκτιμούσαν και θεώρησαν ότι για κάποιο λόγο δεν ήθελα να απαντήσω, ίσως γιατί το θεωρούσα δύσκολο για αυτούς. Μου είπαν απλά «άστα αυτά κύριε, αν δεν το ξέρατε δεν θα λέγατε ότι δεν το ξέρω». Εγώ όμως έμεινα με την ερώτηση και άρχισα να αναζητώ την απάντηση.

Στην πορεία της αναζήτησης προέκυψαν και οι παρακάτω σχετικές ερωτήσεις:

- Που οφείλεται το ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στο εσωτερικό των αγωγών ενός κλειστού κυκλώματος σταθερού¹ ρεύματος; (2^η ερώτηση)
- Τι αναγκάζει τα ρέοντα ηλεκτρόνια να ακολουθούν τροχιές σύμφωνες με τις καμπές του αγωγού σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα; (3^η ερώτηση)

Ομολογώ ότι η αυθόρμητη απάντησή μου στο πρώτο (2^η ερώτηση) από αυτά τα ερωτήματα σχετιζόταν με τη διαφορά δυναμικού ή την Η.Ε.Δ. της μπαταρίας. Το «ευτύχημα» ήταν ότι δεν ήταν μόνο η δική μου αίσθηση. Είχα «καλή» παρέα στο λάθος μου. Οι Combes and Laue (1981) στο

¹ Σταθερό ρεύμα: Ρεύμα του οποίου η ένταση παραμένει σταθερή με το χρόνο

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

American Journal of Physics υποστηρίζουν ότι το ηλεκτρικό πεδίο στο εξωτερικό όπως και στο εσωτερικό αγωγού που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα οφείλεται σε κατανομή φορτίων στην επιφάνεια του αγωγού. Ο Lynch (1983) σε γράμμα του προς τον εκδότη διαφωνεί και υποστηρίζει: «αυτό αγνοεί το γεγονός ότι ηλεκτρικό πεδίο μπορεί να δημιουργηθεί και από άλλες πηγές π.χ. μια πηγή Η.Ε.Δ. – η μπαταρία οδηγώντας το ρεύμα μέσω καλωδίου. ...». Για να πάρει την απάντηση (Laue and Combes 1983): «... (ο Lynch) φαίνεται να πιστεύει ότι με κάποιο τρόπο η Η.Ε.Δ. μιας μπαταρίας μπορεί να προκαλέσει² ένα ηλεκτρικό πεδίο χωρίς να υπάρχουν φορτία από τα οποία να προέρχεται αυτό το πεδίο ... πιστεύουμε ότι αυτή η διαισθητική παρανόηση γύρω από την Η.Ε.Δ. είναι πολύ διαδεδομένη και θα θέλαμε να προτρέψουμε τους συγγραφείς να συμπεριλαμβάνουν στα βιβλία κάτι σχετικά με την ύπαρξη των επιφανειακών φορτίων όταν συζητούνται η Η.Ε.Δ. και το ρεύμα».

Στην πορεία για την αναζήτηση της απάντησης στο αρχικό ερώτημα (1^η ερώτηση) βρήκα σε εργασία του Hartel (1985) ότι «πολλοί φοιτητές αλλά και καθηγητές Φυσικής αδυνατούν να απαντήσουν στην ερώτηση: Τι αντιστοιχεί σε μικροσκοπική διάσταση στη διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων ενός αγωγού». «Ευτυχώς» είχα και εδώ παρέα, γιατί όπως και εγώ δεν είχα βρει καμιά σχετική αναφορά σε ελληνικά πανεπιστημιακά βιβλία (κύρια τα βιβλία του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ. και γνωστά βιβλία από τη διεθνή βιβλιογραφία μεταφρασμένα στα ελληνικά) έτσι και οι συνάδελφοι διεθνώς αντιμετώπιζαν παρόμοιο πρόβλημα. Σπάνια τα διδακτικά εγχειρίδια Φυσικής, ακόμα και σε πανεπιστημιακό επίπεδο ασχολούνταν με τα παραπάνω θέματα (Jefimenco, 1977; Heald, 1984; Walz, 1985; Hartel, 1985). Το κενό των βιβλίων, το οποίο και σήμερα διεθνώς συνεχίζεται, αλλά συγχρόνως και το διδακτικό ενδιαφέρον για το θέμα προκύπτει από τη συχνή δημοσίευση σχετικών άρθρων σε κορυφαία περιοδικά Φυσικής. Για παράδειγμα το American Journal of Physics φιλοξενεί σχετικά άρθρα από την αρχή σχεδόν της έκδοσής του (Marcus 1941) μέχρι τη δεκαετία που διανύουμε (π.χ. Harbola, 2010; Jacobs, de Salazar and Nassar 2010; Davis and Kaplan 2011; Morris and Styer 2012; Muller 2012) και ενδιαμέσως με πολλά και ενδιαφέροντα άρθρα (π.χ. Rosser, 1963; Coombes and Laue 1981; Varney and Fisher 1984; Gabuzda, 1993; Jackson, 1996; Preyer, 2000 & 2002).

Το παράδοξο είναι ότι και οι τρεις ερωτήσεις που δίνονται παραπάνω είχαν απαντηθεί από τον Kirchhoff σε εργασία του το 1849 ([http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Apeiron-V19-p19-25\(1994\).pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Apeiron-V19-p19-25(1994).pdf)). Αυτή η δουλειά του Kirchhoff ξεχάστηκε και ο Kirchhoff έμεινε γνωστός για τους κανόνες του, του βρόχου και του κόμβου.

Ας επιχειρήσουμε στη συνέχεια να απαντήσουμε στις τρεις ερωτήσεις που τέθηκαν στην εισαγωγή.

² Η Η.Ε.Δ. δίνει το μέτρο της έντασης του πεδίου που υπάρχει στο εσωτερικό συγκεκριμένου αγωγού, αλλά δεν είναι το αίτιο δημιουργίας του πεδίου.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

1. Το αίτιο δημιουργίας του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό αγωγού που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα: απαντώντας στη 2^η και στην 3^η ερώτηση.

Σύμφωνα με το νόμο του Ohm $\mathbf{J}=\sigma\mathbf{E}$ (όπου σ η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού και \mathbf{J} η πυκνότητα ρεύματος το μέτρο της οποίας για κυλινδρικό αγωγό ακτίνας r διαρρεόμενο από ρεύμα εντάσεως I δίδεται από τη σχέση $J = \frac{I}{\pi r^2}$. Θυμίζω ότι τα σύμβολα σε έντονη γραφή σημαίνουν διανυσματικά μεγέθη), στο εσωτερικό αγωγού που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο το οποίο είναι στατικό δηλ. αστρόβιλο. Το ερώτημα είναι: ποιο είναι το αίτιο δημιουργίας αυτού του πεδίου; Είναι γνωστό ότι ηλεκτρικά πεδία μπορούν να δημιουργηθούν μόνο: α) από κατανομή ηλεκτρικών φορτίων στο χώρο και β) από χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, το οποίο όμως οδηγεί σε στροβιλό ηλεκτρικό πεδίο, δηλ. μη ηλεκτροστατικό. Στην περίπτωση μας, μια και ασχολούμαστε με σταθερό ρεύμα, δεν έχουμε χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και έτσι την αιτία δημιουργίας του πεδίου θα πρέπει να την αναζητήσουμε σε κατανομή φορτίου. Έτσι το ερώτημα γίνεται:

Πού βρίσκονται και πώς είναι κατανεμημένα τα φορτία, σε σχέση με τα διάφορα τμήματα του ηλεκτρικού κυκλώματος, ώστε να δημιουργούν το απαραίτητο ηλεκτρικό πεδίο;

Τρεις είναι οι πιθανές θέσεις στις οποίες μπορούν να βρίσκονται αυτά τα φορτία: α) μόνο μακριά από το τμήμα αυτό του αγωγού β) μέσα στον αγωγό και γ) πάνω στην επιφάνεια του αγωγού.

Εξετάζεται στη συνέχεια κάθε μια από τις δυνατότητες αυτές

α) Φορτία ευρισκόμενα μόνο μακριά από το τμήμα αυτό του αγωγού.

Θα μπορούσε να υποθεθεί ότι το πεδίο που μας ενδιαφέρει δημιουργείται μόνο από φορτία που βρίσκονται στους πόλους της πηγής. Αυτό δεν είναι δυνατό γιατί φορτία που βρίσκονται μακριά από μια καμπί του αγωγού δεν μπορούν να δημιουργήσουν πεδίο ικανό να οδηγήσει τους φορείς φορτίου σε τροχιά σύμφωνη με την καμπί αυτή του αγωγού (Walz, 1985).

β) Φορτία ευρισκόμενα μέσα στον αγωγό.

Ας υποθέσουμε κάποια κατανομή φορτίου μέσα σε ισότροπο αγωγό η οποία να δημιουργεί το ζητούμενο πεδίο. Μπορούμε π.χ. να υποθέσουμε μια κατανομή φορτίου με πυκνότητα όγκου $\rho=Q/V$ (σημειώνω ότι το ρ είναι στη βιβλιογραφία το σύμβολο και για την ειδική αντίσταση αλλά και για την πυκνότητα φορτίου όγκου) η οποία ελαττώνεται προς το θετικό πόλο και αυξάνεται προς τον αρνητικό πόλο (ελάττωση στο φορτίο σημαίνει περισσότερα θετικά ή λιγότερα αρνητικά φορτία). Ας εξετάσουμε αν μπορεί να ισχύει αυτή η υπόθεσή: Είναι γνωστό (Purcell 1978) ότι για αγωγό ο οποίος διαρρέεται από σταθερό ρεύμα ισχύει η σχέση $\nabla \cdot \mathbf{J} = 0$. Από τη σχέση αυτή σε συνδυασμό με το νόμο του Ohm $\mathbf{J}=\sigma\mathbf{E}$ και για σταθερή αγωγιμότητα σ προκύπτει: $\nabla \cdot \mathbf{J} = \sigma\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \rightarrow \nabla \cdot \mathbf{E} = 0$. Η τελευταία αυτή σχέση συνδυαζόμενη με το νόμο του Gauss $\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ μας οδηγεί στο $\rho=0$. Ότι δηλ. για ισότροπο

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

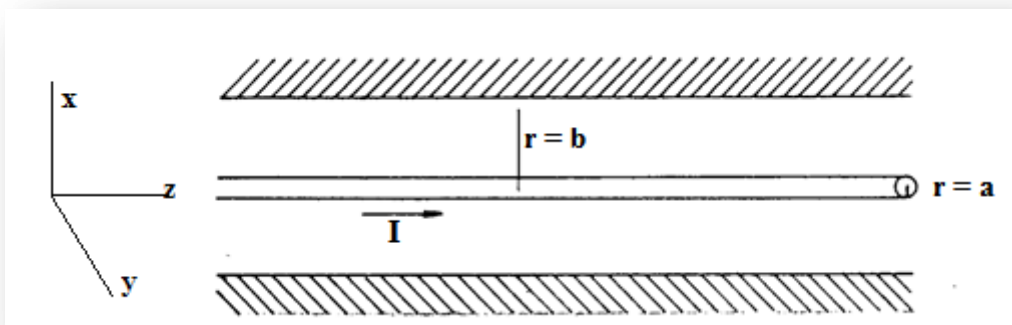
αγωγό ο οποίος διαρρέεται από σταθερό ρεύμα η πυκνότητα του ολικού φορτίου μέσα στον αγωγό είναι μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στον αγωγό έχουμε μεν κινούμενα φορτία, τα οποία αποτελούν το ρεύμα, αλλά το άθροισμά τους με τα υπάρχοντα στον αγωγό θετικά ιόντα είναι μηδέν.

γ) Φορτία ευρισκόμενα στην επιφάνεια του αγωγού.

Μετά από την απόρριψη των δυο προηγούμενων δυνατοτήτων το μόνο που μένει είναι να βρίσκονται τα φορτία τοποθετημένα στην επιφάνεια³ του αγωγού, έτσι εξασφαλίζεται και το απαιτούμενο $\text{div}\mathbf{E}=0$ ⁴ μέσα στον αγωγό αλλά λύνεται και το πρόβλημα της δημιουργίας πεδίου ικανού να οδηγήσει τα ηλεκτρόνια σε τροχιά σύμφωνη με την καμπή του αγωγού.

2. Η ύπαρξη επιφανειακών φορτίων και η κατανομή τους ως αποτέλεσμα της λύσης βασικών εξισώσεων του ηλεκτρομαγνητισμού

Ο Sommerfeld (1952) μελετά την περίπτωση ενός ισότροπου «άπειρου» μήκους, ευθύγραμμου αγωγού, κυκλικής διατομής ακτίνας a που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα. Το κύκλωμα κλείνει διαμέσου ενός ομοαξονικού κοίλου κυλινδρικού αγωγού, που περιβάλλει τον αγωγό ο οποίος έχει εσωτερική ακτίνα b και εξωτερική $c \rightarrow \infty$ (σχήμα 1).



Σχήμα 1. Ο αγωγός που μελετάται από τον Sommerfeld

Αποδεικνύει (βλέπε σελίδες 24-37 του συνοδευτικού υλικού, το οποίο είναι διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο του περιοδικού) ότι στο εσωτερικό του ευθύγραμμου αγωγού το πεδίο είναι ομογενές κατευθυνόμενο κατά μήκος του άξονα του αγωγού και ότι στην επιφάνεια αυτού του ευθύγραμμου αγωγού υπάρχουν εγκατεστημένα φορτία με επιφανειακή πυκνότητα σ_π (σημειώνω ότι το σ είναι στη βιβλιογραφία το σύμβολο και για την ειδική αγωγιμότητα και για την επιφανειακή πυκνότητα φορτίου, για να μην υπάρχει σύγχυση συμβολίζω εδώ την επιφανειακή πυκνότητα φορτίου με σ_π και κρατώ το σύμβολο σ για την αγωγιμότητα) που δίνεται από τη σχέση:

³ Βεβαίως πραγματικά επιφανειακά φορτία δεν θα βρεθούν σε στρώμα με μηδενικό πάχος. Το φορτίο μπορεί να είναι κατανεμημένο σε στρώμα που έχει πάχος της τάξεως δεκάδων ή και εκατοντάδων Angstroms

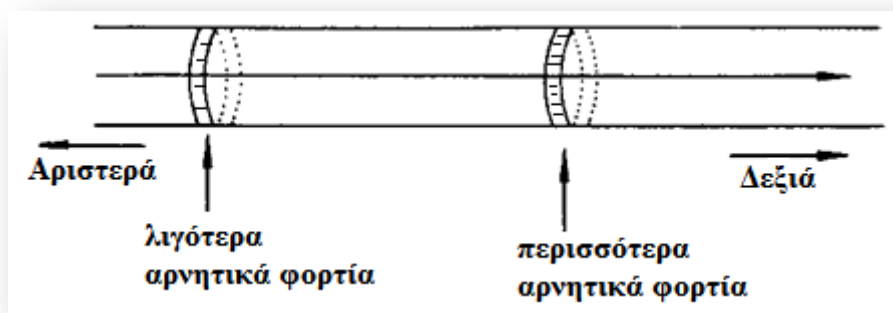
⁴ Το $\text{div}\mathbf{E}=0$ δεν αποκλείει τη δυνατότητα ύπαρξης επιφανειακής πυκνότητας φορτίου.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

$$\sigma_{\pi} = \frac{\epsilon_0 I}{\pi a^3 \sigma \ln \frac{a}{b}} z = cz \quad (1)$$

Καταλήγει δηλ. ότι στην επιφάνεια του ευθύγραμμου απείρου μήκους αγωγού που διαρρέεται από σταθερό ρεύμα υπάρχει επιφανειακή πυκνότητα φορτίο με κυλινδρική συμμετρία μεταβαλλόμενη γραμμικά με την αξονική συνιστώσα z του αγωγού.

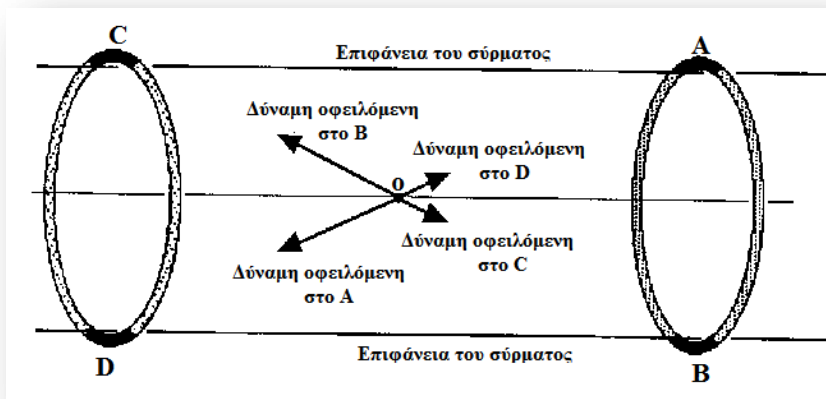
Ο Walz (1985) ποιοτικά δικαιολογεί τη γραμμική κατανομή φορτίου στην επιφάνεια του αγωγού με τις παρακάτω σκέψεις: Η επιφανειακή κατανομή φορτίου, η οποία δημιουργεί μέσα στον ευθύγραμμο αγωγό πεδίο παράλληλο προς τον άξονα του και ομογενές, οφείλει να είναι συμμετρική ως προς κάθε σημείο του άξονα του αγωγού. Αυτή τη συνθήκη συμμετρίας θα μπορούσε να την πληροί ομοιόμορφη πυκνότητα φορτίων πάνω στην επιφάνεια του αγωγού. Όμως αυτή η ομοιόμορφη επιφανειακή πυκνότητα απορρίπτεται γιατί δε δημιουργεί πεδίο μέσα στον αγωγό, αφού η συνιστώσα η οποία οφείλεται στα φορτία που βρίσκονται αριστερά, από κάποιο σημείο, αναιρείται από την συνιστώσα η οποία οφείλεται στα φορτία που βρίσκονται προς τα δεξιά αυτού του σημείου. Η αμέσως επόμενη τάξη συμμετρίας είναι να υποθέσουμε ότι η επιφάνεια του αγωγού αποτελείται από «στοιχειώδη», στενά, δαχτυλίδια για τα οποία: α) Το κάθε ένα έχει σταθερή επιφανειακή πυκνότητα φορτίου και β) πηγαίνοντας από κάθε δαχτυλίδι στο αριστερό διπλανό του η πυκνότητα των επιφανειακών φορτίων ελαττώνεται, ενώ πηγαίνοντας στο δεξί διπλανό του η πυκνότητα των επιφανειακών φορτίων αυξάνεται, σχήμα 2.



Σχήμα 2. Κατανομή φορτίων στην επιφάνεια του ρευματοφόρου αγωγού

Σύμφωνα με αυτά η επιφανειακή πυκνότητα σ_{π} των φορτίων έχει κυλινδρική συμμετρία και είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης κατά μήκος του άξονα του αγωγού δηλ. $\sigma_{\pi} = Cz$, όπως ακριβώς φαίνεται και στη σχέση (1).

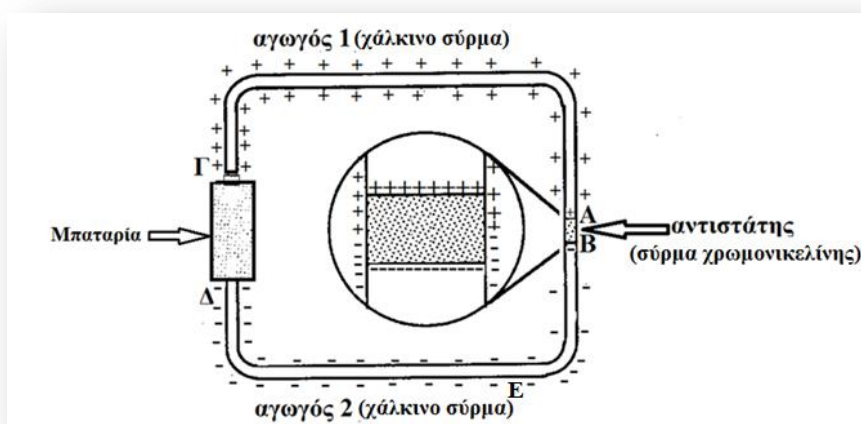
Από τους Sherwood and Chabay (<http://matterandinteractions.org/wp-content/uploads/2016/07/circuit.pdf> p.9,) δίνεται το ακόλουθο σχήμα 3, στο οποίο φαίνεται η συνισταμένη δύναμη που θέτει σε κίνηση ηλεκτρόνιο του αγωγού το οποίο βρίσκεται στη θέση O και το πού αυτή οφείλεται ή αντίστοιχα πού οφείλεται η ένταση του πεδίου στη θέση αυτή.



Σχήμα 3. Το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στον αγωγό οφείλεται σε βαθμίδα πυκνότητας επιφανειακού φορτίου (Sherwood an Chabay χ.χ.)

3. Μια ποιοτική εικόνα της κατανομής φορτίων σε ένα απλό κύκλωμα σταθερού ρεύματος

Το απλό μοντέλο που αναπτύχθηκε στην προηγούμενη παράγραφο δεν ισχύει στα πραγματικά κυκλώματα που έχουν περίπλοκη γεωμετρία, για παράδειγμα έχουν γωνίες, καμπύλες ή βρόχους στην αγωγή διαδρομή και ο αγωγίμος δρόμος μπορεί να αποτελείται από περισσότερα του ενός υλικά σώματα π.χ. χαλκός, χρωμονικελίνη (καλώδια, αντιστάσεις). Σε αυτές τις περιπτώσεις μια ποσοτική αντιμετώπιση είναι δύσκολη ή και αδύνατη λόγω της πολύπλοκης γεωμετρίας αλλά και της παρουσίας σωμάτων στον περιβάλλοντα χώρο. Για το λόγο αυτό αναπτύσσεται στη συνέχεια μόνο μια ποιοτική περιγραφή της κατανομής φορτίων σε ένα απλό κύκλωμα σταθερού ρεύματος. Στο κύκλωμα του σχήματος 4, από τη στιγμή που έχει αποκατασταθεί σταθερό ρεύμα σε αυτό, έχουμε ποιοτικά τις εξής κατανομές (στατικών) φορτίων:



Σχήμα 4: Κατανομή των επιφανειακών φορτίων κατά μήκος ηλεκτρικού κυκλώματος μπαταρίας – αντιστάτη (Sherwood et al 1990)

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

α) Επιφανειακά φορτία πάνω στον αγωγό 1 (χάλκινο σύρμα). Αυτά είναι θετικά (+) (ή λιγότερο αρνητικά) με την πυκνότητά τους ελαττούμενη από το θετικό πόλο προς τον αντιστάτη με κάποια κατάλληλη κατανομή στις καμπές του αγωγού τέτοια ώστε το πεδίο μέσα στον αγωγό να παραμένει συνεχές και να διευθύνεται συνολικά κατά μήκος του άξονα του αγωγού (Jefimenko, 1977; Sherwood et al 1990).

β) Επιφανειακά φορτία πάνω στον αγωγό 2 (χάλκινο σύρμα). Αυτά είναι αρνητικά (-), με την πυκνότητά τους να ελαττώνεται από τον αρνητικό πόλο προς τον αντιστάτη με κάποια κατάλληλη κατανομή στις καμπές του αγωγού, ώστε το ηλεκτρικό πεδίο να διαμορφώνεται πάντα παράλληλα με τον άξονα του αγωγού.

γ) Επιφανειακά φορτία πάνω στο σύρμα της χρωμονικελίνης (αντιστάτης) μεταβαλλόμενα από το A προς το B από το + προς το -.

δ) Φορτία μέσα στους αγωγούς στις περιοχές συνεπαφής A και B. Σημειώνουμε ότι στην περίπτωση αυτή και χωρίς να διαρρέονται οι αγωγοί από ρεύμα έχουμε φορτία δεξιά και αριστερά της επαφής τα οποία οφείλονται σε διάχυση. Όταν δημιουργείται ρεύμα η ένταση E του υπάρχοντος ηλεκτρικού πεδίου μέσα στο σύρμα της χρωμονικελίνης (ίσου πάχους με το χάλκινο σύρμα) είναι μεγαλύτερη, λόγω της μικρότερης αγωγιμότητας της χρωμονικελίνης, από την ένταση του πεδίου που υπάρχει μέσα στο χάλκινο σύρμα.

$$J = \sigma_{\chi\rho\omega\mu} E_{\chi\rho\omega\mu} \text{ και } J = \sigma_{\chi\alpha\lambda\kappa} E_{\chi\alpha\lambda\kappa} \rightarrow \frac{E_{\chi\rho}}{E_{\chi\alpha\lambda\kappa}} = \frac{\sigma_{\chi\alpha\lambda\kappa}}{\sigma_{\chi\rho\omega\mu}} = \frac{60}{1}$$

Έτσι στην περιοχή της συνεπαφής των δυο αγωγών έχουμε ανομογενές πεδίο, άρα $\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$ και επομένως στην περιοχή αυτή έχουμε φορτία⁵ μέσα στους αγωγούς.

ε) Η κατανομή των φορτίων στο κύκλωμα του σχήματος 4 έχει μια μέγιστη πυκνότητα (+) σε κάποιο σημείο Γ του κυκλώματος και μια ελάχιστη (-) σε ένα άλλο σημείο Δ. Μεταξύ των σημείων αυτών παρεμβάλλεται η μπαταρία. Στους πόλους της μπαταρίας υπάρχουν φορτία, είναι φορτισμένη από τη χημική δράση (βλέπε σελίδες 45-49 του συνοδευτικού υλικού). Αυτά είναι θετικά στο θετικό πόλο και αρνητικά στον αρνητικό. Στις περιοχές συνεπαφής Γ και Δ, όπως και στις περιοχές συνεπαφής A και B, έχουμε φορτία και μέσα στους αγωγούς. Η μορφή του πεδίου ορίζεται από τα φορτία που βρίσκονται στην επιφάνεια του αγωγού. Η ένταση όμως ρυθμίζεται και (κύρια) από τα φορτία που βρίσκονται μέσα στους αγωγούς στις περιοχές συνεπαφής (Jefimenko, 1977).

Σημειώνω ότι η διαφορά φορτίων μεταξύ γειτονικών δακτυλίων είναι πολύ μικρή, κάτω από 100 ηλεκτρόνια (Κουμαράς 1989, σελίδα 41; Walz 1985). Επίσης ένα μόνο ηλεκτρόνιο τοποθετημένο στην

⁵ Τα φορτία αυτά ο Jefimenko τα θεωρεί συσσωρευμένα σε ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια συνεπαφής μεταξύ των διαφορετικών αγωγών και τα ονομάζει «εσωτερικά επιφανειακά φορτία». Χρησιμοποιεί αυτήν την ονομασία για να τα ξεχωρίσει από τα «εσωτερικά χωρικά φορτία» τα οποία υπάρχουν μέσα σε ανισότροπους αγωγούς όπου η αγωγιμότητα αλλάζει σταδιακά από σημείο σε σημείο. Όταν αλλάζει η αγωγιμότητα αλλάζει και η ένταση του πεδίου άρα έχουμε φορτία τα οποία λειτουργούν ως πηγές ή καταβόθρες δυναμικών γραμμών.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

επιφάνεια αγωγού που κάμπτεται κατά 90 μοίρες αρκεί για την απόκλιση 10^{19} ηλεκτρονίων ανά δευτερόλεπτο δηλ. $I=1A$ (Hartel, 1985). Μικρά φορτία με μεγάλα αποτελέσματα.

4. Τρόπος δημιουργίας της κατανομής φορτίων στην επιφάνεια του αγωγού.

Ας δούμε τώρα μια ποιοτική ερμηνεία για το πώς έχει προκληθεί η κατανομή των φορτίων πάνω στην επιφάνεια του αγωγού. Την πρώτη στιγμή, αμέσως μετά από την αποκατάσταση του ηλεκτρικού κυκλώματος, τα φορτία που υπάρχουν στους πόλους της μπαταρίας δημιουργούν πεδίο μόνο στα άκρα των καλωδίων που συνδέονται με αυτούς. Το πεδίο αυτό έχει μια συνιστώσα κατά τη διεύθυνση του άξονα του καλωδίου, αξονική, και μια συνιστώσα κάθετη στον άξονα, ακτινική. Η αξονική συνιστώσα προκαλεί μετατόπιση των ηλεκτρονίων κατά μήκος του αγωγού, αυτό είναι το «έμβρυο» για τη δημιουργία του ρεύματος που μας ενδιαφέρει. Η ακτινική συνιστώσα οδηγεί κάποια ηλεκτρόνια στην επιφάνεια του αγωγού μέχρις ότου μηδενιστεί από το αντιτιθέμενο πεδίο που δημιουργούν αυτά τα ηλεκτρόνια. Έτσι θα σχηματιστεί το πρώτο «δαχτυλίδι» από τα επιφανειακά φορτία. Αυτά ακριβώς τα φορτία και όχι τα αρχικά φορτία των πόλων θα δημιουργήσουν το πεδίο στο επόμενο τμήμα του αγωγού. Αυτό θα συνεχιστεί ώσπου να δημιουργηθεί επιφανειακό φορτίο σε ολόκληρο το μήκος του αγωγού. Το φαινόμενο μεταδίδεται κατά μήκος του αγωγού με ταχύτητα που πλησιάζει την ταχύτητα του φωτός ενώ τα ίδια τα ηλεκτρόνια μετατοπίζονται μερικά χιλιοστά του μέτρου στο δευτερόλεπτο.

5. Τι αντιστοιχεί, σε μικροσκοπικό επίπεδο, στη διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων ενός κλειστού κυκλώματος συνεχούς ρεύματος σταθερής τιμής;

Εντοπίζεται (Heald, 1984; Sherwood and Chabay χ.χ) ότι υπάρχει μια ασυνέχεια, μια ιδιόζουσα διακοπή στην παρουσίαση των δυο πρώτων κεφαλαίων του ηλεκτρισμού (στατικός ηλεκτρισμός – ηλεκτρικό κύκλωμα) σε μια εισαγωγική σειρά Φυσικής. Έτσι το πρώτο κεφάλαιο, στατικός ηλεκτρισμός, ασχολείται με κατανομές φορτίων και πεδία. Το επόμενο κεφάλαιο ασχολείται με μπαταρίες, αντιστάσεις κτλ, χωρίς καθόλου να ασχολείται με κατανομές φορτίων και πεδία. Έτσι τα δυο αυτά κεφάλαια φαίνονται ασύνδετα, ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η ίδια κατάσταση φαίνεται να υπάρχει και στην ελληνική βιβλιογραφία, όπου και όταν ακόμη αναφέρεται η ύπαρξη πεδίου μέσα σε αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα δεν αναφέρεται τίποτε για το πιο είναι το αίτιο δημιουργίας του (Κουμαράς 1989; Κουμαράς και Ψύλλος 1991).

Με τη μελέτη του φαινομένου των επιφανειακών φορτίων, τα δυο κεφάλαια στατικού ηλεκτρισμού και ρεύματος θα εμφανίζουν μια συνέχεια αφού υπάρχει η δυνατότητα να γίνει κατανοητό ότι η μορφή και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μέσα σε αγωγό διαρρεόμενο από σταθερό ρεύμα και συνεπώς το μέγεθος και η διεύθυνση του ρεύματος καθορίζονται από την κατανομή φορτίου πάνω στην επιφάνεια του αγωγού (και μέσα στον αγωγό, στα σημεία συνεπαφής διαφορετικών αγωγών).

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Η κατανομή των επιφανειακών φορτίων όπως παραπάνω παρουσιάστηκε απάντησε ήδη στη 2^η και την 3^η ερώτηση:

- Πού οφείλεται το ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στο εσωτερικό των αγωγών ενός κλειστού κυκλώματος σταθερού ρεύματος;
- Τι αναγκάζει τα ρέοντα ηλεκτρόνια να ακολουθούν τις καμπές του αγωγού σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα;

Ας δούμε τώρα πως απαντά στο αρχικό μας ερώτημα, που αποτελεί και τον τίτλο της εργασίας αυτής:

- Τι αντιστοιχεί, σε μικροσκοπικό επίπεδο, στη διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων ενός κλειστού κυκλώματος συνεχούς ρεύματος σταθερής τιμής;

Μεταξύ των σημείων A και B (σχήμα 4) μετρείται μια διαφορά δυναμικού. Οι δυο διατομές φαίνονται να είναι ίδιες σε μικροσκοπική κλίμακα: ο ίδιος αριθμός ηλεκτρονίων με την ίδια ταχύτητα ολίσθησης περνάει από αυτές. Τι αντιστοιχεί λοιπόν, σε μικροσκοπική διάσταση, στη διαφορά δυναμικού μεταξύ αυτών των δυο σημείων; Η απάντηση μετά την παρουσίαση του θέματος των επιφανειακών φορτίων είναι μάλλον απλή. Μεταξύ των σημείων A και B υπάρχει διαφορά επιφανειακής πυκνότητας φορτίων και αυτή είναι το αίτιο για τη μετρούμενη διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων αυτών καθώς και το αίτιο για τη δημιουργία του ρεύματος. Η διαφορά επιφανειακής πυκνότητας φορτίων μεταξύ των δυο σημείων βρίσκεται πίσω από την αφηρημένη έννοια της διαφοράς δυναμικού. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A και B είναι ανάλογη της διαφοράς επιφανειακής πυκνότητας φορτίων μεταξύ αυτών των δύο σημείων [$\Delta\sigma_{\pi} = \frac{\epsilon_0 I}{\pi a^3 \sigma \ln \frac{a}{b}} \Delta z$ σχέση (1)]. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να αιτιολογηθεί γιατί η διαφορά δυναμικού μεταξύ δυο σημείων είναι ελάχιστη όταν πρόκειται για χάλκινο σύρμα όπου η αγωγιμότητα είναι μεγάλη, και άρα η διαφορά επιφανειακής πυκνότητας φορτίων μικρή (άρα και το ΔV μικρό), και μεγαλύτερη όταν πρόκειται για σύρμα χρωμονικελίνης όπου η αγωγιμότητα είναι μικρή, άρα η διαφορά επιφανειακής πυκνότητας φορτίων μεγάλη (και άρα και το ΔV μεγάλο). Μετά από αυτό απαντάμε εύκολα στην ερώτηση γιατί μετράμε διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A, B ενώ πρακτικά δεν μετράμε μεταξύ των σημείων B, E (σχήμα 4). Από τους Jacobs, de Salazar και Nassar (2010) έχει παρουσιαστεί μια απλή πειραματική μέθοδος που απεικονίζει τη μορφή του ηλεκτρικού πεδίου που παράγεται από τα (στατικά) φορτία που βρίσκονται στην επιφάνεια αγωγών οι οποίοι διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Η κατανομή των φορτίων στην επιφάνεια του αγωγού πέρα από το πεδίο που δημιουργεί μέσα στον αγωγό και το οποίο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία του ρεύματος, σύμφωνα με το νόμο του Ohm ($\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$), εξασφαλίζουν και πεδίο έξω από τον αγωγό το οποίο προκαλεί τη ροή Poynting ($\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$). Θυμίζω ότι πέρα από το γνωστό μας, ήδη από το Γυμνάσιο, μοντέλο της ροής ενέργειας από τη μπαταρία στον αντιστάτη μέσω των αγωγών υπάρχει και το μοντέλο της ροής της ενέργειας δια

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

μέσου του μη αγώγιμου χώρου ο οποίος περιβάλλει τον αγωγό Harbola, 2010; Davis and Kaplan 2011; Morris and Styer 2012). Από τον Farwing (1985) αποδεικνύεται η ισοδυναμία αυτών των δυο απόψεων. Τα απαιτούμενα πεδία που δίνουν τη δυνατότητα στον αγωγό να οδηγεί τη ροή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στο χώρο ολόγυρα από αυτόν είναι: το ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει έξω από τον αγωγό λόγω των επιφανειακών φορτίων και το μαγνητικό πεδίο που προκαλείται λόγω του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό (Heald, 1984; Farwing, 1985; Galili and Goihbarg 2004).

6. Ιστορικό σημείωμα σχετικά με τα επιφανειακά φορτία

Ο Ohm είναι γνωστός σε εμάς από τον ομώνυμο νόμο του. Είχε όμως μια σημαντικότερη συμβολή: Συνέλαβε πρώτος την ιδέα της ύπαρξης δύο ειδών «ηλεκτρισμού» σε ένα κλειστό κύκλωμα - μια στατική βαθμίδα φορτίου όγκου (φορτία στο εσωτερικό του αγωγού), που αντιστοιχεί σε μία βαθμίδα δυναμικού και μια σταθερή ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που ωθείται από τη στατική κατανομή φορτίου. Η πρότασή του είναι σε αναλογία με μια βαθμίδα θερμοκρασίας που οδηγεί στη μεταφορά της θερμότητας Ο Kirchhoff το 1849 διόρθωσε την παραπάνω πρόταση του Ohm: Ήταν γνωστό από την ηλεκτροστατική δεν μπορεί να υπάρξει φορτίο μέσα σε ένα αγωγό και έβαλε τη βαθμίδα οδήγησης φορτίου στην επιφάνεια των αγωγών. Έδειξε έτσι ότι τα ηλεκτροστατικά και τα φαινόμενα του ηλεκτρικού κυκλώματος ανήκαν σε μία επιστήμη, όχι σε δυο ([http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Apeiron-V19-p19-25\(1994\).pdf](http://www.ifi.unicamp.br/~assis/Apeiron-V19-p19-25(1994).pdf)). Εδώ τελείωσε μια εποχή στην ιστορία του Ηλεκτρισμού. Ο στατικός ηλεκτρισμός και ο δυναμικός (ηλεκτρικά κυκλώματα) ενοποιήθηκαν. Δυστυχώς όμως αυτή η ενοποίηση χάθηκε αργότερα, καθώς ο ρόλος του δυναμικού ήρθε να κυριαρχήσει στην ανάλυση των κυκλωμάτων, και τα επιφανειακά φορτία εξαφανίστηκαν (<http://matterandinteractions.org/wp-content/uploads/2016/07/circuit.pdf> σελίδα 16). Στην τελευταία αυτή διεύθυνση υπάρχει μια εκτεταμένη ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (σελίδα 15) και πρόταση για διδασκαλία που συνδέει το κεφάλαιο των ηλεκτρικών κυκλωμάτων με αυτό του στατικού ηλεκτρισμού. Σχετική πρόταση έχει διατυπωθεί και ερευνηθεί και στη χώρα μας (Μπάρμπας 2005).

Αναφορές

- Combes, C., Laue, H., 1981. Electric fields and charge distributions associated with steady currents. American Journal of Physics 49, p.450-451
- Davis, B., Kaplan, L., 2011. Poynting vector flow in a circular circuit. American Journal of Physics 79, p.p. 1155-1162.
- Farwing, P., 1985. The energy flow in the electric circuit. In Duit et al (Eds) Aspects of Understanding Electricity, p.p. 393-401 (I.P.N., Kiel).
- Gabuzda, D., 1993. The densities in a current-carrying wire. American Journal of Physics 61, p.p. 360 - 362
- Galili, I., Goihbarg, E., 2004. Energy transfer in electrical circuits: A qualitative account. American Journal of Physics 73, p.p. 141 - 143.
- Harbola, M., 2010. Energy flow from a battery to other circuit elements: Role of surface charges. American Journal of Physics 78, p.p. 1203- 1206.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

- Hartel, H. 1985, The electric voltage: What do students understand : What can be done to help for a better understanding? In Duit et al (Eds) Aspects of Understanding Electricity, p.p. 353-362 (I.P.N., Kiel).
- Heald, A., 1984. Electric fields and Changes in elementary circuits. American Journal of Physics 52, p.p. 522-526.
- Jackson J., 1996. Surface charges on circuit wires and resistors play three roles. American Journal of Physics 64(7), p.p. 855-870.
- Jacobs, R., de Salazar, A., Nassar, A., 2010. New experimental method of visualizing the electric field due to surface charges on circuit elements. American Journal of Physics 78, p.p. 1432 – 1433.
- Jefimenko, O., 1977. Electric fields in conductors. The Physics Teacher 75, p.p. 52-53
- Laue, H., Combes, C., 1983. Reply to “Comment on Electric fields and charge distributions associated with steady currents”. American Journal of Physics 51, p.272
- Lynch, R., 1983. Comment on “Electric fields and charge distributions associated with steady currents”. American Journal of Physics 51, p.272
- Marcus, A., 1941. The electric field associated with a steady current in a long cylindrical conductor. Am. J. Phys. 9, p.p. 225-226.
- Morris, N., Styer, D., 2012. Visualizing Poynting vector energy flow in electric circuits. American Journal of Physics 80, p.p. 552 – 554.
- Muller R., 2012. A semiquantitative treatment of surface charges in DC circuits. American Journal of Physics 80, p.p. 782 – 788.
- Preyer, N., 2000. “Surface charges and fields of simple circuits. American Journal of Physics 68, p.p. 1002-1006.
- Preyer, N., 2002. Transient behavior of simple RC circuits. American Journal of Physics 70, p.p. 1187-1193.
- Purcell, E., 1978. Ηλεκτρισμός και Μαγνητισμός (Μαθήματα φυσικής του πανεπιστημίου Berkeley). Μετάφραση, έκδοση εργαστήρια Φυσικής του Ε.Μ.Π.
- Rosser, W., 1963. What makes an electric current “flow”. American Journal of Physics 31, p.p. 884 – 885
- Sherwood, B., Chabay R., Larkin J., Reif, F., Eylon, B.- S., 1990. An integrated treatment of electrostatics and circuits. Unpublished msnuscript.
- Sherwood, B., Chabay R., χχ. A unified treatment of electrostatics and circuits. <http://matterandinteractions.org/wp-content/uploads/2016/07/circuit.pdf>
- Sommerfeld, A. 1952, Electrodynamics. Lectures on theoretical physics vol. III (Academic New York, San Francisco, London)
- Varney R., Fisher, L., 1984. Electric fields associated with stationary currents. American Journal of Physics. 52, p.p. 1097-1099.
- Walz, A. 1985, Fields that accompany currents. In Duit et al (Eds) Aspects of Understanding Electricity, p.p. 403-412 (I.P.N., Kiel)
- Κουμαράς 1989. Μελέτη της εποικοδομητικής προσέγγισης στην πειραματική διδασκαλία του ηλεκτρισμού. Δημοσίευτη Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Κουμαράς, Π., Ψύλλος Δ., 1991. Τα επιφανειακά φορτία ως συνδεδεμένος κρίκος ανάμεσα στο στατικό ηλεκτρισμό και στο ηλεκτρικό ρεύμα. Επιθεώρηση Φυσικής, τεύχος 20, σελίδες 37 - 44.
- Μπάρμπας, Α., 2005. [Μελέτη της κατανόησης φαινομένων και εννοιών στατικού-δυναμικού ηλεκτρισμού από μαθητεύμενους κατά την εφαρμογή διδακτικής-μαθησιακής σειράς βασισμένης σε προσομοιώσεις μικροσκοπικών αλληλεπιδράσεων](#). Δημοσίευτη Διδακτορική Διατριβή. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.



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

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

Εργαστηριακή μελέτη της αρχής διατήρησης της ενέργειας με ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο

Θεόδωρος Πιερράτος

Πάγια τακτική των επιστημόνων, προκειμένου να επαληθεύσουν μία θεωρία, είναι να αξιοποιούν αρχές και νόμους που ήδη γνωρίζουν ώστε να υπολογίσουν την τιμή μεγεθών, στο πλαίσιο των υπό έλεγχο θεωριών, που μπορούν να μετρήσουν με τις διαθέσιμες μετρητικές συσκευές. Τα σύγχρονα κινητά τηλέφωνα, διαθέτοντας διάφορους αισθητήρες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μετρητικές και καταγραφικές συσκευές για την πραγματοποίηση ποσοτικών πειραμάτων Φυσικής.

Με την κατάλληλη δωρεάν εφαρμογή-λογισμικό ένα έξυπνο κινητό ή ένα τάμπλετ μπορούν να υποκαταστήσουν ακριβό ή μη διαθέσιμο εργαστηριακό εξοπλισμό και να διευρύνουν το περιεχόμενο και τους σκοπούς της σχολικής Φυσικής (Strawson, 2013). Οι συσκευές αυτές ως αντικείμενα της καθημερινής ζωής των μαθητών τοποθετούν στο επίκεντρο της μελέτης των μαθητών το φυσικό φαινόμενο και όχι το όργανο, ενώ μπορούν να προκαλέσουν το ενδιαφέρον των μαθητών για τη Φυσική και να διαμορφώσουν θετική στάση απέναντί της.

Τα έξυπνα κινητά και τάμπλετ έχουν ενσωματωμένους διάφορους αισθητήρες οι οποίοι μπορούν αξιοποιηθούν για μετρήσεις φυσικών μεγεθών. Πολλοί διαδεδομένοι είναι οι εξής αισθητήρες: μέτρησης επιτάχυνσης (επιταχυνσιόμετρα), μέτρησης έντασης μαγνητικού πεδίου (μαγνητόμετρα), μέτρησης γωνιακής ταχύτητας περιστροφής (γυροσκόπια), αισθητήρες φωτός (κάμερα) και ήχου (μικρόφωνο). Αντίστοιχα έχει αναπτυχθεί πληθώρα λογισμικών-εφαρμογών τα οποία είναι ελεύθερα διαθέσιμα. Μερικά από τα πιο διαδεδομένα για λειτουργικό Android είναι τα εξής: GlobiLab, Lablet – Physics Sensor Lab, Physics Toolbox Accelerometer, Physics Toolbox Sensor Suite, Science Journal, Sensor Kinetics.

Τα τελευταία χρόνια, με την εξάπλωση των έξυπνων κινητών και των τάμπλετ σε όλο τον κόσμο, έχει επιχειρηθεί η αξιοποίησή τους στην εκπαίδευση και ειδικά για μετρήσεις στο εργαστήριο Φυσικών Επιστημών. Οι Castro-Palacio et al (2013) χρησιμοποίησαν τους αισθητήρες μέτρησης

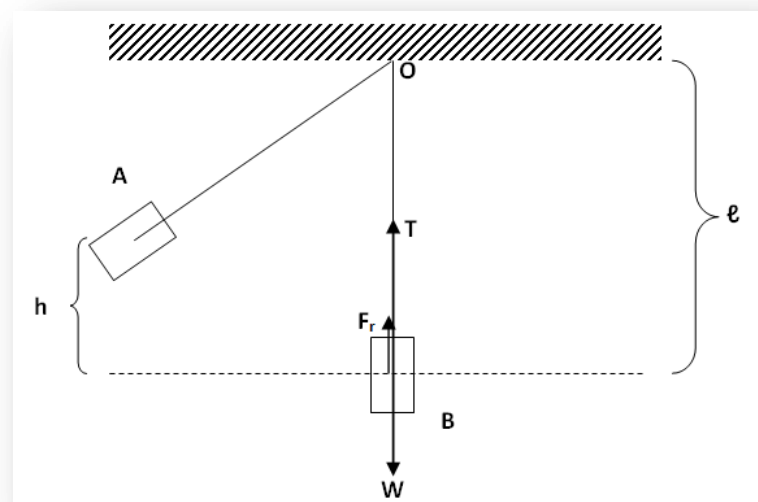
Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

επιτάχυνσης (επιταχυνσιόμετρα) για τη μελέτη των συζευγμένων ταλαντώσεων. Η Briggie (2013) χρησιμοποίησε ένα κινητό τηλέφωνο για τη μελέτη της κίνησης ενός εκκρεμούς. Οι Klein et al (2014) μελέτησαν το φαινόμενο Doppler σε περιστρεφόμενες πηγές ήχου καθώς και το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου της έντασης του φωτός μίας φωτεινής πηγής. Οι Cabeza et al (2014) μελέτησαν φαινόμενα σχετικά με ρευστά σε ένα υδάτινο πάρκο. Οι Grober et al (2014) χρησιμοποίησαν κινητά τηλέφωνα και τάμπλετς για την πραγματοποίηση φασματοσκοπίας ακτινών β. Ο Trantham (2015) μελέτησε φαινόμενα συμβολής φωτός με τη βοήθεια της κάμερας κινητού τηλεφώνου. Οι Parolin & Pezzi (2015) μελέτησαν στάσιμα ηχητικά κύματα σε σωλήνα Kundt. Οι Kodejška et al (2015) μελέτησαν ηχητικά διακροτήματα, την ελεύθερη πτώση και φαινόμενα τριβής. Ο Yavuz (2015) και οι Yavuz & Temiz (2016) μέτρησαν την ταχύτητα του ήχου στον αέρα. Οι Wei et al (2015) μελέτησαν υδάτινα κύματα αξιοποιώντας την κάμερα ενός κινητού τηλεφώνου και κατάλληλο λογισμικό. Οι Temiz & Yavuz (2016) μελέτησαν φαινόμενα ευθύγραμμης κίνησης αξιοποιώντας τον αισθητήρα μέτρησης μαγνητικού πεδίου (μαγνητόμετρο) κινητού τηλεφώνου. Οι Gonzalez & Gonzalez (2016) μέτρησαν ακουστικές και μηχανικές ιδιότητες ταλαντευόμενων ράβδων. Οι Bülbül et al (2016) πρότειναν μετρήσεις με κινητά τηλέφωνα για τυφλούς μαθητές.

Στην Ελλάδα αντίστοιχες προσπάθειες έχουν καταγραφεί από τους Πιερράτο και Πριμεράκη (2016) και Πάλλα (2016).

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας προτείνουμε την αξιοποίηση έξυπνων κινητών και τάμπλετς για τον πειραματικό έλεγχο της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας ενός εκκρεμούς. Στη σχολική τάξη αυτό είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί και το σύνηθες είναι η προσφυγή στη χρήση χρονοφωτογραφιών ή στην ανάλυση δεδομένων που προσφέρονται.

Θεωρητική εισαγωγή



Εικόνα 1. Σχεδιάγραμμα της πειραματικής διάταξης.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Αναρτούμε ένα τηλέφωνο με νήμα μήκους ℓ από ακλόνητο σημείο και το εκτρέπουμε στη θέση A (Εικόνα 1). Αφήνουμε το τηλέφωνο ελεύθερο να κινηθεί και αυτό εκτελεί περιοδική κίνηση διαγράφοντας τόξο που είναι μέρος κυκλικής τροχιάς. Στη θέση B το τηλέφωνο έχει ταχύτητα v_B και οι δυνάμεις που του ασκούνται είναι το βάρος του W και η τάση του νήματος T . Η συνισταμένη αυτών των δυνάμεων έχει φορά προς το σημείο ανάρτησης O και αποτελεί την κεντρομόλο δύναμη που υποχρεώνει το τηλέφωνο να κινηθεί κυκλικά. Άρα ισχύει:

$$\Sigma F = F_r \Rightarrow ma_{r,B} = \frac{mv_B^2}{\ell} \Rightarrow v_B^2 = \ell a_{r,B} \quad (1)$$

Επομένως, μετρώντας την κεντρομόλο επιτάχυνση μπορούμε να υπολογίσουμε το μέτρο της ταχύτητας του τηλεφώνου στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του. Υποθέτοντας ότι η μηχανική ενέργεια του τηλεφώνου διατηρείται μεταξύ των σημείων A και B, ότι το τηλέφωνο δεν περιστρέφεται κατά την κίνησή του και ότι η βαρυτική δυναμική ενέργεια ισούται με μηδέν στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του, ισχύει:

$$E_A = E_B \Rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv_B^2 \Rightarrow v_B^2 = 2gh \quad (2)$$

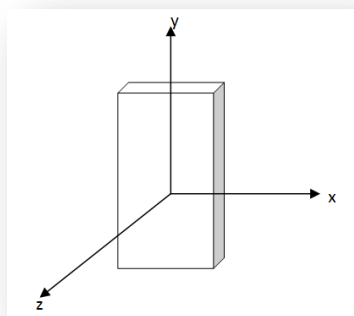
Από τις δύο τελευταίες σχέσεις (1) και (2) προκύπτει ότι:

$$a_{r,B} = \frac{2g}{\ell}h \quad (3)$$

Δηλαδή η κεντρομόλος επιτάχυνση στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς είναι ανάλογη με το ύψος από το οποίο αφήνεται το τηλέφωνο. Άρα, προκειμένου να ελέγξουμε αν πράγματι η μηχανική ενέργεια του τηλεφώνου διατηρείται κατά την κίνησή του από τη θέση A στη θέση B αρκεί να μετρήσουμε την κεντρομόλο επιτάχυνσή του $a_{r,B}$ στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του, για απελευθέρωσή του από διάφορα ύψη h και να ελέγξουμε τη γραμμικότητα της σχέσης $a_{r,B} - h$.

Όπως προκύπτει από τις σχέσεις (1) και (2) η επιτάχυνση γίνεται μέγιστη στο χαμηλότερο σημείο της τροχιάς του τηλεφώνου. Άρα η επιτάχυνση $a_{r,B}$ ισούται με τη μέγιστη τιμή της καταγραφείσας επιτάχυνσης κατά την κίνηση του τηλεφώνου.

Πείραμα και αποτελέσματα

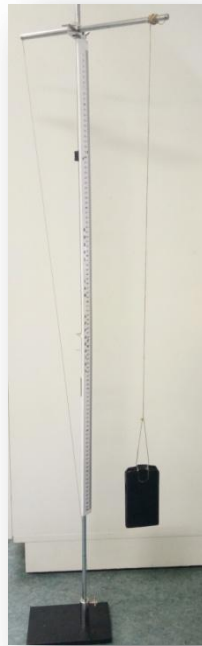


Εικόνα 2. Οι τρεις διευθύνσεις μέτρησης της επιτάχυνσης σε ένα έξυπνο κινητό τηλέφωνο.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

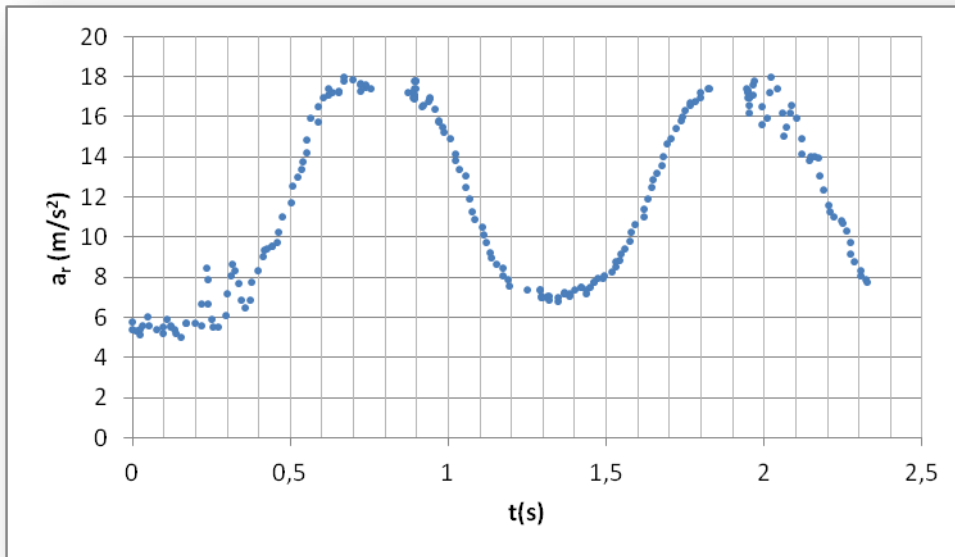
Τα περισσότερα έξυπνα τηλέφωνα και τάμπλετς διαθέτουν επιταχυνσιόμετρα τα οποία μετρούν την επιτάχυνση σε τρεις άξονες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Επομένως, αναρτώντας το τηλέφωνο κατά τη διεύθυνση του άξονα y η επιτάχυνση που μετρείται σε αυτή τη διεύθυνση είναι η κεντρομόλος επιτάχυνση.

Στο πείραμα που πραγματοποιήσαμε το κινητό τηλέφωνο αναρτήθηκε από νήμα μήκους $l=0,9\text{m}$ (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Το κινητό τηλέφωνο αναρτημένο από στατήρα με σκοινί μήκους 0,9 m.

Διατηρώντας το νήμα τεντωμένο αφήσαμε το τηλέφωνο να κάνει μία πλήρη ταλάντωση από έξι διαφορετικά ύψη (βλ. Πίνακας 1). Επιλέχθηκε να γίνει μία μόνο ταλάντωση επειδή λόγω αποσβέσεων η ταλάντωση του τηλεφώνου είναι στην πραγματικότητα φθίνουσα, ωστόσο σε μία μόνο ταλάντωση η απώλεια ενέργειας είναι επαρκώς μικρή. Για τη μέτρηση της επιτάχυνσης στην ακτινική διεύθυνση αξιοποιήθηκε το λογισμικό Physics Toolbox Accelerometer v.1.4.2. Η εφαρμογή αυτή καταγράφει τις τιμές των επιταχύνσεων σε τρεις άξονες, x , y , z , σε μονάδες g (επιτάχυνση της βαρύτητας), τις αναπαριστά σε πραγματικό χρόνο υπό μορφή διαγραμμάτων επιτάχυνσης-χρόνου στην οθόνη της αντίστοιχης συσκευής και δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής αρχείου τύπου .csv για περαιτέρω επεξεργασία. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν έχοντας επιλέξει το μέγιστο δυνατό ρυθμό καταγραφής που επέτρεπε το τηλέφωνο. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε, αμέσως μετά τη συλλογή των δεδομένων, σε υπολογιστικά φύλλα Excel του Microsoft Office. Στην Εικόνα 4 αναπαριστάται ενδεικτικά η τιμή της κεντρομόλου επιτάχυνσης κατά τη διάρκεια μίας πλήρους ταλάντωσης για $h=0,6\text{ m}$.

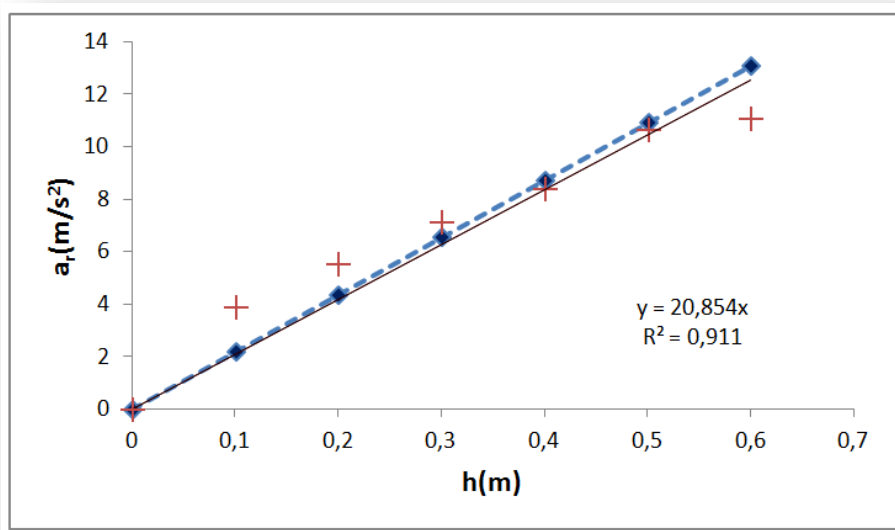


Εικόνα 4. Η μεταβολή της κεντρομόλου επιτάχυνσης σε συνάρτηση με το χρόνο για $h=0,6\text{m}$.

Στον Πίνακα 1 δίνονται: στην πρώτη στήλη τα ύψη h από τα οποία αφέθηκε η συσκευή, στη δεύτερη στήλη οι μέγιστες τιμές της επιτάχυνσης $a_{r,B}$ που μετρήθηκαν (αφού αφαιρεθεί η σταθερή τιμή $g=9,81 \text{ m/s}^2$ που καταγράφει η συσκευή) και στην τρίτη στήλη οι θεωρητικές τιμές που αναμένονταν βάση των χαρακτηριστικών της διάταξης κι εφόσον διατηρείται η ενέργεια του συστήματος. Στην Εικόνα 5 αναπαριστώνται οι γραφικές παραστάσεις των πειραματικών δεδομένων (κόκκινοι σταυροί) και η αντίστοιχη ευθεία ελαχίστων τετραγώνων (κόκκινη γραμμή) καθώς και τα θεωρητικά σημεία και η αντίστοιχη ευθεία. Ο συντελεστής συσχέτισης προκύπτει $R^2=0,911$.

| h (m) | $a_{r,B}$ (πειραματικά) m/s^2 | a_R (θεωρητικά) m/s^2 |
|------------|---|-------------------------------------|
| 0,10 | 3,92 | 2,18 |
| 0,20 | 5,54 | 4,36 |
| 0,30 | 7,16 | 6,54 |
| 0,40 | 8,39 | 8,72 |
| 0,50 | 10,64 | 10,90 |
| 0,60 | 11,09 | 13,08 |

Πίνακας 1. Πειραματικές και θεωρητικές τιμές της κεντρομόλου επιτάχυνσης.



Εικόνα 5. Σύγκριση πειραματικών μετρήσεων και θεωρητικών προβλέψεων.

Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω μετρήσεις τα πειραματικά δεδομένα βρίσκονται σε ικανοποιητική αν και όχι απόλυτη ακρίβεια με ό,τι θεωρητικά αναμένεται. Υπάρχουν διάφοροι λόγοι για αυτό. Καταρχάς η ταλάντωση του τηλεφώνου είναι στην πραγματικότητα μία φθίνουσα ταλάντωση γεγονός που εύκολα επαληθεύεται από την παρατηρούμενη μείωση του πλάτους ταλάντωσης μετά από μερικές πλήρεις ταλαντώσεις, αλλά και τις αντίστοιχες μειώσεις στις μέγιστες τιμές της μέγιστης ακτινικής επιτάχυνσης. Επιπλέον, το τηλέφωνο κατά τη διάρκεια των ταλαντώσεων μεγάλου πλάτους (από μεγάλο σχετικά ύψος) εκτελεί συχνά περιστροφική κίνηση με αποτέλεσμα η καταγραφόμενη τιμή της επιτάχυνσης να επηρεάζεται.

Θεωρούμε ωστόσο ότι η παιδαγωγική αξία της συλλογής των δεδομένων από κάθε ομάδα μαθητών και η επεξεργασία τους ώστε να παραχθούν αξιοποιήσιμα δεδομένα είναι μεγαλύτερη από τις αποκλίσεις που προκύπτουν με τη θεωρία. Πέραν τούτου, οι διαφορές αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν για να συζητηθούν μία σειρά από λόγους για τους οποίους αυτές προκύπτουν και ενδεχομένως δράσεων που θα μπορούσαν να ληφθούν ώστε να μειωθούν.

Το συγκεκριμένο θέμα είναι συνήθως δύσκολο να πραγματοποιηθεί πειραματικά στο σχολικό εργαστήριο τη στιγμή που η προτεινόμενη μέθοδος οδηγεί σε αποτελέσματα που βρίσκονται σε ικανοποιητική συμφωνία με τη θεωρία. Η προτεινόμενη χρήση τηλεφώνων και τάμπλετς πλεονεκτεί επειδή στην πράξη τα διαθέτουν ήδη οι περισσότεροι εκπαιδευτικοί και μαθητές επιτρέποντας την πραγματοποίηση των πειραμάτων από κάθε ένα μαθητή ξεχωριστά. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η μαθητοκεντρική διδακτική προσέγγιση, ο ελεύθερος πειραματισμός και η διερεύνηση εκ μέρους των μαθητών.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Αναφορές

- Briggle, J. (2013). Analysis of pendulum period with an iPod touch/iPhone. *Phys. Educ.* 48(3), 285-288.
- Castro-Palacio, J. C., Velazquez-Abad, L., Gimenez, F. & Monsoriu, J. A. (2013). A quantitative analysis of coupled oscillations using mobile accelerometer sensors. *Eur. J. Phys.* 34, 737-744.
- Fischer, H. & Horstendahl, M. (1997). Motivation and Learning Physics. *Research and Science Education*, 27(3), 411-424.
- González, M. Á. & González, M. Á. (2016). Smartphones as experimental tools to measure acoustical and mechanical properties of vibrating rods. *Eur. J. Phys.* 37 (2016) 045701 (13pp).
- Kodejška, Č., De Nunzio, G., Kubínek, R. & Říha, J. (2015). Low cost alternatives to commercial lab kits for physics experiments. *Phys. Educ.* 50(5), 597-607
- Parolin, S. O. & Pezzi, G. (2015). Kundt's tube experiment using smartphones. *Phys. Educ.* 50(4), 443-447.
- Strawson, R. (2013). Map and apps widen the scope of school physics. *Phys. Educ.* 48, 409-410.
- Temiz, B. K. & Yavuz, A. (2016). Magnetogate: using an iPhone magnetometer for measuring kinematic variables. *Phys. Educ.* 51 (2016) 015004 (5pp).
- Trantham, K. (2015). Interference phenomenon with mobile displays. *Phys. Educ.* 50(4), 475-481.
- Wei, M., Huang, S, Wang, J., Li, H., Yang, H. & Wang, S. (2015). The study of liquid surface waves with a smartphone camera and an image recognition algorithm. *Eur. J. Phys.* 36 (2015), 065026 (8pp).
- Yavuz, A. & Temiz, B. K. (2016). Detecting interferences with iOS applications to measure speed of sound. *Phys. Educ.* 51(2016) 015009 (6pp).
- Πάλλας, Α. (2016). Η αξιοποίηση του επιταχυνσιόμετρου των smartphones στη διδασκαλία Μηχανικών φαινομένων και η σύγκρισή του με επαγγελματικό σειсмоγράφο. *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, τ. 13, Χειμώνας 2016, 29-40.
- Πιερράτος, Θ., Πριμεράκης, Γ. (2016). Ποσοτικά πειράματα Φυσικής με τη χρήση έξυπνων κινητών τηλεφώνων και τάμπλετς: επιμόρφωση εκπαιδευτικών στη χρήση τους σε μία παιδική χαρά. Στο *Σκουμιάς Μ. & Σκουμπούρδη Χ. (2016). Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή: «Το εκπαιδευτικό υλικό στα Μαθηματικά και το εκπαιδευτικό υλικό στις Φυσικές Επιστήμες: μοναχικές πορείες ή αλληλεπιδράσεις;»*, σελ. 655-664.



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/>

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

Πειραματική μελέτη της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης

Βασίλης Νούσης

Είναι πολύ εύκολο να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί μια διάταξη για τη μελέτη της ομαλά μεταβαλλόμενης κίνησης, αλλά για μια διάταξη μελέτης της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης απαιτείται να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα, ώστε να αναιρούνται τα αποτελέσματα της τριβής και γενικότερα των αντιστάσεων κατά την κίνηση, ή αντίθετα να εκμεταλλευτούμε την ύπαρξη των δυνάμεων αντίστασης για την επίτευξη της ομαλής κίνησης. Μερικές από τις συνηθισμένες επιλογές είναι: η χρήση αεροδιαδρόμου, η χρήση κεκλιμένου επιπέδου κατάλληλης κλίσης ώστε η τριβή να εξισορροπείται από την κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου συνιστώσα του βάρους, η χρήση γυάλινου σωλήνα γεμάτου με κάποιο υγρό εντός του οποίου μια φυσαλίδα αέρα κινείται υπό την επίδραση του βάρους της και της αντίστασης του υγρού, ενώ στον εργαστηριακό οδηγό της Β' Γυμνασίου προτείνεται να χρησιμοποιηθεί κατάλληλο ηλεκτρικό αμαξάκι ή τραινάκι. Σε κάθε περίπτωση ενδιαφέρει αυτή καθ' εαυτή η κίνηση και όχι η αιτιολόγηση του είδους της. Άλλωστε η διδασκαλία των νόμων του Νεύτωνα έπεται χρονικά.

Προτείνεται εδώ η μελέτη της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης με μια απλούστατη διάταξη (Εικόνα 1): Στην πλευρική επιφάνεια ενός ογκομετρικού κυλίνδρου των 250 ml και ανά 4 cm έχουμε χαράξει έξι μικρές οριζόντιες γραμμές. Γεμίζουμε τον κύλινδρο με αραβοσιτέλαιο μέχρι 2 - 3 cm πάνω από την ανώτερη οριζόντια γραμμή.

Με τη βοήθεια σταγονόμετρου ελευθερώνουμε στην ελεύθερη επιφάνεια του αραβοσιτέλαιου μια σταγόνα Lugol (ή Betadine). Η αδιάλυτη στο αραβοσιτέλαιο σταγόνα του Lugol μετά την είσοδο της στο αραβοσιτέλαιο αποκτά πολύ γρήγορα οριακή ταχύτητα. Στην περίπτωση που η σταγόνα παραμένει προσκολλημένη στην ελεύθερη επιφάνεια του ελαίου, είτε ελευθερώνουμε πάνω της ακόμη μια σταγόνα Lugol, δημιουργώντας έτσι μια μεγαλύτερων διαστάσεων και μεγαλύτερου βάρους σταγόνα, είτε σπρώχνουμε ελαφρά τη σταγόνα προς τα κάτω με τη βοήθεια γυάλινης ράβδου ανάδευσης. Την ευθύγραμμη ομαλή κίνηση της σταγόνας Lugol μέσα στο αραβοσιτέλαιο θα μελετήσουμε με τρεις διαφορετικούς τρόπους λήψης και επεξεργασίας των μετρήσεων: η πρώτη

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

μέσω ανάλυσης βίντεο με το λογισμικό Tracker, η δεύτερη με χρήση κινητού τηλεφώνου ή υπολογιστή ως χρονομέτρου, και η τρίτη με χρήση ενός λογισμικού επεξεργασίας ήχου που «τρέχει» είτε σε υπολογιστή είτε σε κάποιο «έξυπνο» κινητό τηλέφωνο.



Εικόνα 1. Η πειραματική διάταξη

Στοιχεία θεωρίας

Στους 20°C το αραβοσιτέλαιο έχει πυκνότητα περίπου 920 kg/m³ (Elert, Density, 1998) και ιξώδες $\mu = 65 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ (Elert, Viscosity, 1998). Συνεπώς ο αριθμός Reynolds για τη διαμέτρου $d = 2r \approx 0,6 \text{ cm}$ σταγόνα Lugol υπολογίζεται ως:

$$\text{Re} = \frac{\rho d v}{\mu} \approx 85v$$

Για τιμές της ταχύτητας μέχρι 1,5 cm/s προκύπτει πως $\text{Re} < 1,3$. Αυτό σημαίνει πως σε αυτή την περιοχή ταχυτήτων η αντίσταση του λαδιού στην κίνηση της σταγόνας οφείλεται κατά κύριο (αλλά όχι αποκλειστικό) λόγο στην εσωτερική τριβή (ιξώδες) (Çengel & Cimbala, Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications, 2006, σ. 584), και σύμφωνα με το νόμο του Stokes έχει μέτρο ανάλογο της ταχύτητας: $F_D = kv$ με $k = 6\pi\mu r$. Στη σταγόνα ασκείται επιπλέον δύναμη άνωσης A από το λάδι, και συνεπώς για την κίνησή της μπορούμε να γράψουμε:

$$\vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow mg - F_D - A = m \frac{dv}{dt}$$

και τελικά:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{k}{m}v - \left(g - \frac{A}{m}\right) = 0$$

Από την τελευταία εξίσωση προκύπτει (Young & Freedman, 2012, σ. 152) πως όταν

$$\frac{dv}{dt} = 0$$

η σταγόνα αποκτά οριακή ταχύτητα ίση με

$$v_{op} = \frac{mg - A}{k} = \frac{mg - A}{6\pi\mu r}$$

Αν ρ' είναι η πυκνότητα της σταγόνας, τότε η μάζα της είναι:

$$m = \rho'V = \frac{4}{3}\pi\rho'r^3$$

και η άνωση:

$$A = \rho gV = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$$

Τελικά:

$$v_{op} = \frac{2}{9} \frac{gr^2}{\mu} (\rho' - \rho)$$

Η λύση της διαφορικής εξίσωσης (1), δίνει (Young & Freedman, 2012, σ. 153):

$$v = v_{op} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}t}\right)$$

Από την εξίσωση αυτή μπορούμε να συμπεράνουμε πως για $t = 5 \frac{m}{k}$ η ταχύτητα έχει αποκτήσει τιμή ίση με το 99% της οριακής, και συνεπώς αυτό το χρονικό διάστημα μπορεί να αποτελέσει ένα μέτρο για το πόσο γρήγορα η σταγόνα Lugol αποκτά οριακή ταχύτητα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πυκνότητα του Lugol είναι περίπου 1100 kg/m^3 (Medical Chemical Corp., 2014), ο χρόνος που χρειάζεται η σταγόνα για να αποκτήσει οριακή ταχύτητα είναι:

$$t = 5 \frac{m}{k} = \frac{10}{9} \frac{\rho'r^2}{\mu} \approx 0,2 \text{ s}$$

ενώ το μέτρο της οριακής ταχύτητας που αποκτά είναι σύμφωνα με την εξίσωση:

$$v_{op} \approx 5,5 \text{ cm/s}$$

Η προσέγγιση Stokes για την κίνηση σφαιρικού σωματιδίου σε κάποιο ρευστό είναι ικανοποιητική για τιμές του αριθμού Reynolds $Re < 0,2$. Για μεγαλύτερες τιμές του αριθμού Reynolds και πάντως για $Re < 2$ μπορεί να εφαρμοστεί η διόρθωση Oseen (Khan & Richardson, 1987), η οποία ουσιαστικά δέχεται την ύπαρξη δύο συνιστωσών για την αντίσταση του ρευστού: μια με μέτρο ανάλογο της ταχύτητας (προσέγγιση Stokes) και άλλη μια με μέτρο ανάλογο του τετραγώνου της ταχύτητας. Η θεωρητική μελέτη στην περίπτωση αυτή ξεφεύγει από τους σκοπούς του παρόντος άρθρου. Παρότι η

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

ανωτέρω μελέτη δεν είναι επαρκώς ικανοποιητική για την κίνηση της σταγόνας στο αραβοσιτέλαιο, κάποια ποιοτικά της συμπεράσματα προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες, όπως:

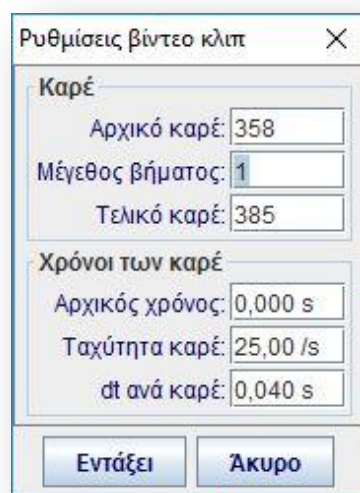
1. Η οριακή ταχύτητα της σταγόνας έχει μέτρο της τάξης των λίγων εκατοστών το δευτερόλεπτο.
2. Η τιμή της οριακής ταχύτητας εξαρτάται ισχυρά από τις διαστάσεις της σταγόνας.
3. Καθώς ο συντελεστής ιξώδους μεταβάλλεται πολύ με τη θερμοκρασία, ομοίως μεταβάλλεται και η οριακή ταχύτητα.
4. Η σταγόνα αποκτά πολύ γρήγορα (σε δέκατα του δευτερολέπτου) την οριακή ταχύτητα.

Πρώτο πείραμα

Αφού ελευθερώσουμε μια σταγόνα Lugol στο αραβοσιτέλαιο, καταγράφουμε -με τη βοήθεια βιντεοκάμερας ή της κάμερας του κινητού μας τηλεφώνου- σε βίντεο την κίνησή της. Το βίντεο που έχουμε καταγράψει μπορεί να μεταφορτωθεί από τη διαδικτυακή διεύθυνση <https://www.youtube.com/watch?v=SmwPTofA1ms>, και θα αναλυθεί στη συνέχεια με τη βοήθεια του λογισμικού ανάλυσης βίντεο Tracker.

Αφού ανοίξουμε το αρχείο βίντεο στο Tracker, θα το βαθμονομήσουμε δημιουργώντας μια κατακόρυφη ράβδο βαθμονόμησης της οποίας τοποθετούμε τα δύο άκρα στην πρώτη και την τελευταία αντίστοιχα οριζόντια γραμμή που χαράξαμε στον ογκομετρικό κύλινδρο, ενώ στο σχετικό πλαίσιο κειμένου αναγράφουμε την τιμή 20, ώστε να μετράμε τις αποστάσεις σε εκατοστά (cm).

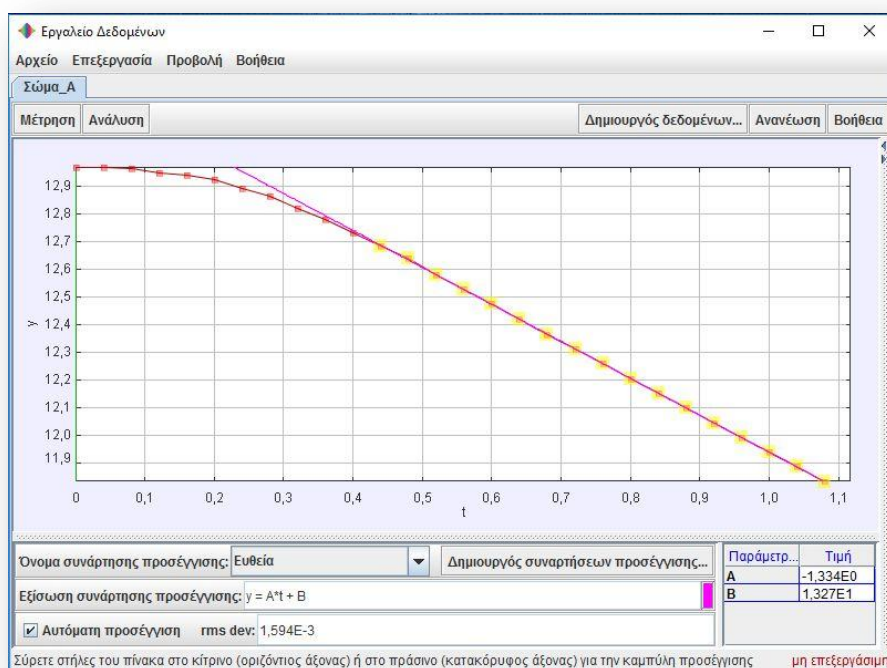
Αρχικά, θα αναλύσουμε ένα μικρό τμήμα στην αρχή του βίντεο, για να διαπιστώσουμε κατά πόσο ισχύει ότι η σταγόνα κατά την κίνησή της στο αραβοσιτέλαιο αποκτά την οριακή ταχύτητα πολύ γρήγορα. Έτσι καθορίζουμε τις παραμέτρους του βίντεο κλιπ (αρχικό καρέ, μέγεθος βήματος και τελικό καρέ), όπως φαίνονται στην Εικόνα 2:



Εικόνα 2. Ρυθμίσεις βίντεο κλιπ

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

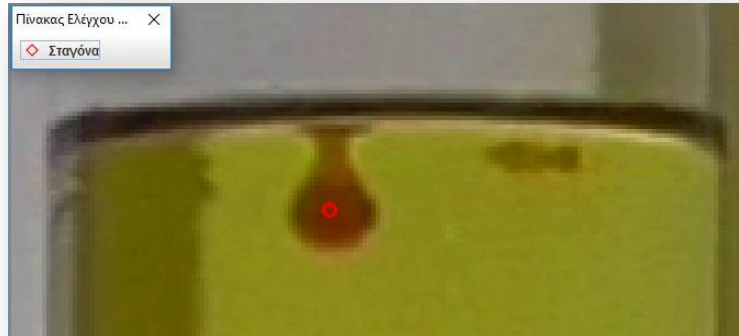
Στη συνέχεια δημιουργούμε ένα υλικό σημείο με όνομα «Σταγόνα», σημειώνουμε το ίχνος του στο κέντρο της σταγόνας στο πρώτο καρέ του βίντεο κλιπ και ολοκληρώνουμε αυτόματα την ιχνηλασία, δηλ. το Tracker αυτόματα σημειώνει το ίχνος της σταγόνας σε όλα τα καρέ του βίντεο κλιπ, συμπληρώνοντας και το σχετικό πίνακα με τις τιμές χρόνου (t) και θέσης (y) της σταγόνας. Τέλος στο Εργαλείο δεδομένων του Tracker σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση θέσης - χρόνου για τη σταγόνα του Lugol (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Η γραφική παράσταση $y = f(t)$ για την κίνηση της σταγόνας Lugol

Εύκολα διαπιστώνουμε πως ήδη από το 12^ο καρέ του βίντεο κλιπ -που αντιστοιχεί σε χρόνο 0,44 s (ή μετατόπιση 0,28 cm) όπως προκύπτει από τον πίνακα δεδομένων που συμπλήρωσε το Tracker- η κίνηση της σταγόνας στο αραβοσιτέλαιο έχει πρακτικά μετατραπεί σε ευθύγραμμη και ομαλή. Λεπτομερέστερη μελέτη (Εικόνα 4) δείχνει πως η σταγόνα στην πραγματικότητα απελευθερώνεται από την ελεύθερη επιφάνεια του λαδιού κάποια χρονική στιγμή μεταξύ του 4^{ου} και του 5^{ου} καρέ του βίντεο κλιπ, δηλαδή κάπου μεταξύ 0,16 s και 0,20 s από την έναρξη του βίντεο κλιπ, και συνεπώς ο χρόνος που απαιτείται για να αποκτήσει η σταγόνα οριακή ταχύτητα είναι επίσης μικρότερος κατά το ίδιο περίπου ποσό, προσεγγίζοντας τη θεωρητική τιμή των 0, 2s περίπου. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως από την πρώτη οριζόντια γραμμή που έχουμε χαράξει στον ογκομετρικό κύλινδρο και μετά η σταγόνα κινείται με σταθερή ταχύτητα.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο



Εικόνα 4. Η σταγόνα στο πρώτο καρέ του βίντεο κλιπ

Για τις ανάγκες της πειραματικής διδασκαλίας της ευθύγραμμη ομαλής κίνησης στη πρώτη τάξη του Λυκείου μπορούμε να αναλύσουμε ένα μεγαλύτερο τμήμα του βίντεο που να περιλαμβάνει ολόκληρη την κίνηση της σταγόνας από την πρώτη και μέχρι την τελευταία οριζόντια γραμμή που έχουμε χαραχτεί στον ογκομετρικό κύλινδρο.



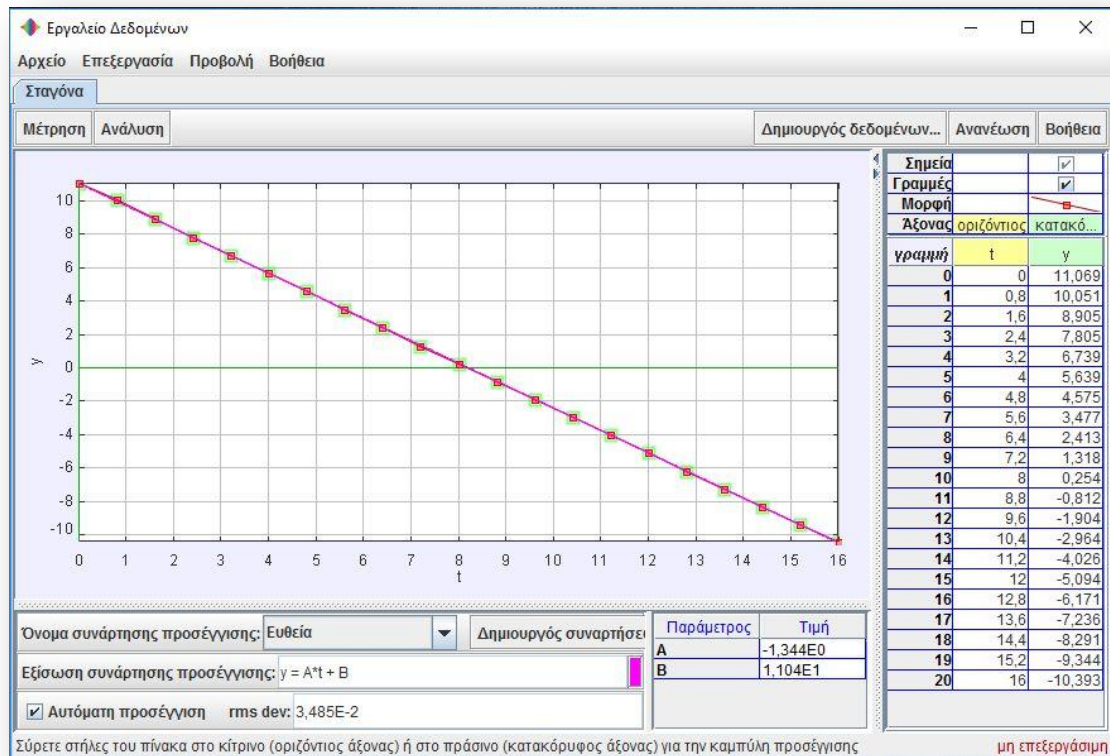
Εικόνα 5: Ιχνηλασία της σταγόνας Lugol

Έτσι, και αφού προηγουμένως διαγράψουμε τα βήματα της προηγούμενης ιχνηλασίας για τη σταγόνα του Lugol, επαναλαμβάνουμε την ιχνηλασία για τα καρέ 400 έως 800 με μέγεθος βήματος 20 (Εικόνα 5). Με αυτό το αρκετά μεγάλο μέγεθος βήματος θα αναλυθούν συνολικά 21 καρέ του βίντεο κλιπ, οδηγώντας τελικά σε αντίστοιχο αριθμό σημείων στο διάγραμμα θέσης - χρόνου για τη σταγόνα

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Lugol. Προφανώς μπορεί να επιλεγεί και οποιοδήποτε άλλο μικρότερο μέγεθος βήματος για αύξηση του αριθμού των καρέ που θα αναλυθούν.

Τέλος στο Εργαλείο δεδομένων του Tracker σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση θέσης - χρόνου για τη σταγόνα του Lugol, επιβεβαιώνουμε τη γραμμικότητα της σχέσης τους και σχεδιάζουμε την καλύτερη ευθεία προσέγγισης στα πειραματικά δεδομένα (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Γραφική παράσταση $y = f(t)$ για το 1ο πείραμα

Μέσω της κλίσης της γραφικής παράστασης $y = f(t)$ υπολογίζουμε την ταχύτητα της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης της σταγόνας Lugol ως:

$$v = 1,34 \text{ cm/s}$$

Η πειραματικά υπολογισμένη τιμή της οριακής ταχύτητας της σταγόνας αποκλίνει σημαντικά από τη θεωρητική τιμή (μόνο σε επίπεδο τάξης μεγέθους υπάρχει συμφωνία). Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού:

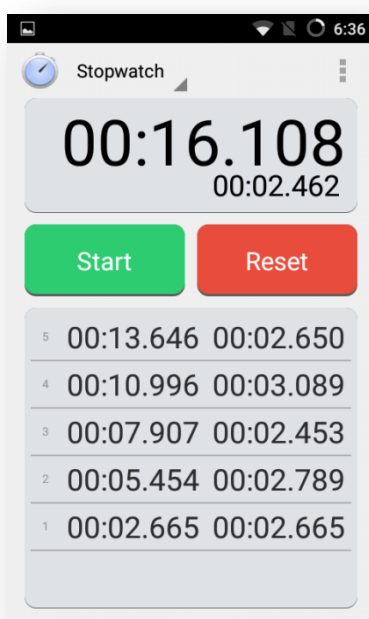
1. Στη θεωρητική μελέτη δε λάβαμε υπόψη πως για σημαντικό μέρος της κίνησης της σταγόνας η δύναμη αντίστασης από το ρευστό έχει μεγαλύτερη τιμή, όπως προκύπτει με βάση τη διόρθωση Oseen.
2. Ο νόμος του Stokes ισχύει για στρωτή ροή και για άπειρα εκτεταμένο ρευστό. Όμως στην περίπτωση του πειράματός μας η τιμή της οριακής ταχύτητας επηρεάζεται ισχυρά (Chhabra,

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Agarwal, & Sinha, 1999) από την παρουσία των τοιχωμάτων του κυλίνδρου στον οποίο πραγματοποιείται η κίνηση (wall effect).

Δεύτερο πείραμα

Αφού ελευθερώσουμε μια σταγόνα Lugol στο αραβοσιτέλαιο, με τη βοήθεια χρονομέτρου θα προσδιορίσουμε τις χρονικές στιγμές που η σταγόνα διέρχεται από τις οριζόντιες γραμμές που έχουμε χαράξει στον ογκομετρικό κύλινδρο. Θα χρειαστούμε ένα χρονόμετρο χειρός με δυνατότητα καταγραφής ενδιάμεσου χρόνου (split time) ή μια αντίστοιχη εφαρμογή για το «έξυπνο» κινητό μας τηλέφωνο.



Εικόνα 7. Η εφαρμογή Stopwatch του Martin Kaldma για Android κινητά

Στο πείραμά μας χρησιμοποιήσαμε την εφαρμογή Stopwatch του Martin Kaldma για Android κινητό τηλέφωνο (Εικόνα 7). Η καταγραφή του χρόνου ενεργοποιήθηκε ($t = 0$) με πίεση του πλήκτρου Start όταν η σταγόνα του Lugol περνούσε από την πρώτη οριζόντια γραμμή του ογκομετρικού κυλίνδρου. Πιέζοντας ξανά το ίδιο πλήκτρο -που έχει εν τω μεταξύ μετονομαστεί σε Split- κάθε φορά που η σταγόνα διέρχεται από μια οριζόντια γραμμή, καταγράφεται η αντίστοιχη χρονική στιγμή. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 1.

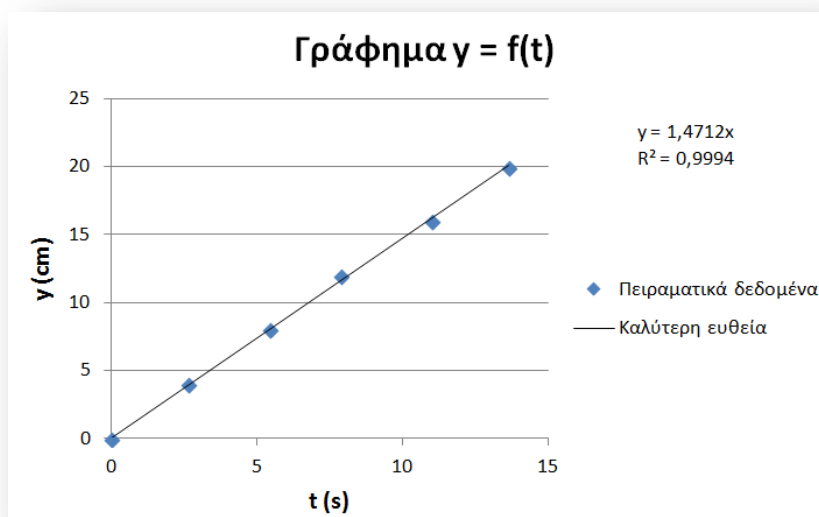
| α/α | Χρονική στιγμή $t(s)$ | Θέση $y(cm)$ |
|-----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 0,000 | 0,0 |
| 2 | 2,665 | 4,0 |
| 3 | 5,454 | 8,0 |

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

| | | |
|---|--------|------|
| 4 | 7,907 | 12,0 |
| 5 | 10,996 | 16,0 |
| 6 | 13,646 | 20,0 |

Πίνακας 1. Τα πειραματικά δεδομένα του 2ου πειράματος

Με τη βοήθεια του Excel σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση $y = f(t)$, καθώς και την καλύτερη ευθεία προσέγγισης στα πειραματικά δεδομένα (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Γραφική παράσταση $y = f(t)$ για το 2ο πείραμα

Και πάλι μέσω της κλίσης της γραφικής παράστασης υπολογίζουμε την ταχύτητα της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης της σταγόνας Lugol:

$$v = 1,47 \text{ cm/s}$$

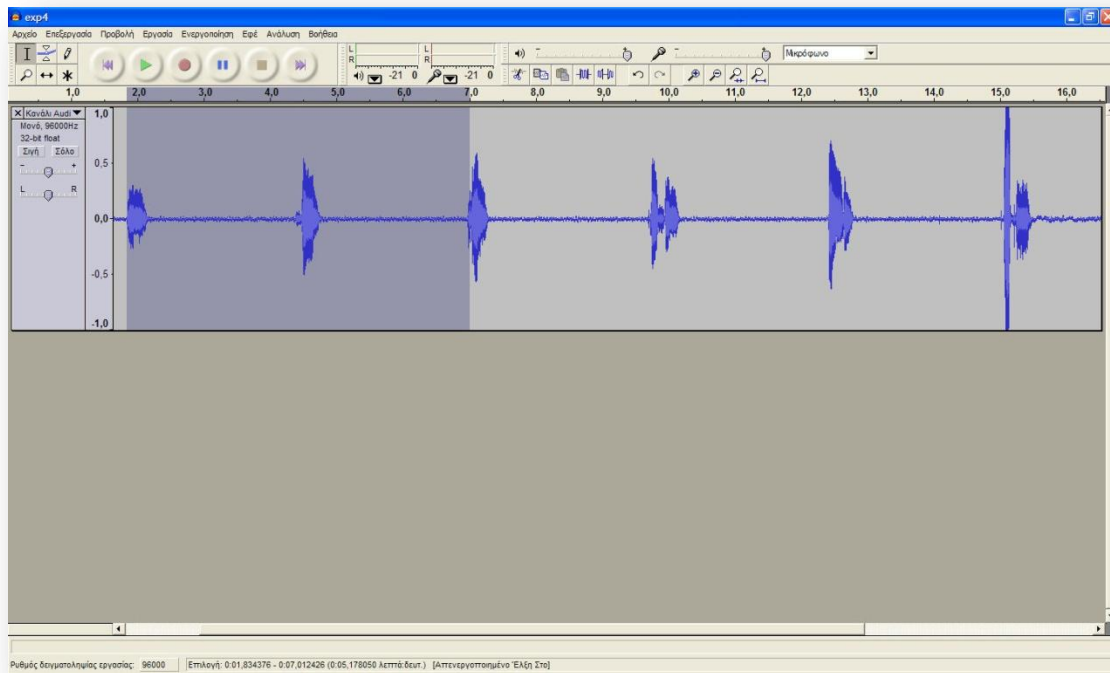
Εναλλακτικά το πείραμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με ηλεκτρονικό υπολογιστή και αντίστοιχα λογισμικά, όπως για παράδειγμα η δωρεάν εφαρμογή Ultra Stopwatch & Timer για λειτουργικό σύστημα Windows 8 ή νεότερο.

Τρίτο πείραμα

Αφού ελευθερώσουμε μια σταγόνα Lugol στο αραβοσιτέλαιο, με τον υπολογιστή του εργαστηρίου στον οποίο εκτελείται το λογισμικό Audacity ηχογραφούμε τον εαυτό μας που κατά τη διάρκεια της κίνησης αναφωνεί κάποια χαρακτηριστική λέξη (π.χ. τον αύξοντα αριθμό γραμμής) κάθε φορά που η σταγόνα διέρχεται από μια από τις οριζόντιες γραμμές που έχουμε χαράξει στον ογκομετρικό κύλινδρο. Εν συνεχεία η χρονομέτρηση της κίνησης γίνεται μέσω της δυνατότητας του Audacity να επιστρέφει τη χρονική διάρκεια του οποιουδήποτε επιλεγμένου τμήματος της ηχογράφησης. Στην Εικόνα 9 φαίνεται το αποτέλεσμα της ηχογράφησης σε κάποιο από τα πειράματά μας, ενώ έχει

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

επιλεγεί το τμήμα της κίνησης της σταγόνας μεταξύ της 1^{ης} και 3^{ης} οριζόντιας γραμμής. Στη γραμμή κατάστασης το Audacity επιστρέφει τη χρονική στιγμή έναρξης και λήξης καθώς και τη χρονική διάρκεια του επιλεγμένου τμήματος της ηχογράφησης.



Εικόνα 9. Το ηχογράφημα της κίνησης με το Audacity

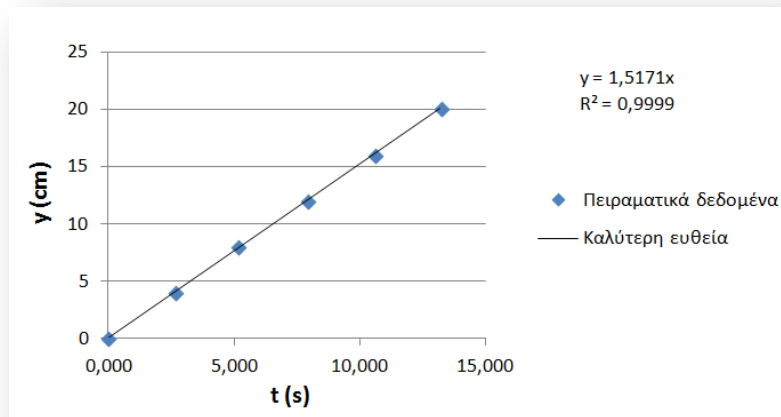
Θέτουμε ως $t_0 = 0$ τη στιγμή που η σταγόνα του Lugol περνάει από την πρώτη οριζόντια γραμμή. Μέσω της χρονικής διάρκειας της κίνησης από την 1^η γραμμή και μέχρι οποιαδήποτε άλλη οριζόντια γραμμή υπολογίζουμε τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές διέλευσης της σταγόνας, δηλ. για διαδοχικές μετατοπίσεις που διαφέρουν μεταξύ τους κατά 4 cm. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 2.

| α/α | Χρονική στιγμή $t(s)$ | Θέση $y(cm)$ |
|-----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 0,000 | 0,0 |
| 2 | 2,638 | 4,0 |
| 3 | 5,156 | 8,0 |
| 4 | 7,902 | 12,0 |
| 5 | 10,574 | 16,0 |
| 6 | 13,211 | 20,0 |

Πίνακας 2. Πειραματικά δεδομένα

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Με τη βοήθεια του Excel σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση θέσης - χρόνου ($y - t$), και αφού διαπιστώσουμε τη γραμμικότητα της σχέσης που συνδέει τα πειραματικά δεδομένα σχεδιάζουμε την καλύτερη ευθεία προσέγγισης (Εικόνα 10).



Εικόνα 10. Γραφική παράσταση $y = f(t)$ για το 3ο πείραμα

Υπολογίζουμε την ταχύτητα της ομαλής κίνησης της σταγόνας του Lugol στο αραβοσιτέλαιο μέσω της κλίσης της γραφικής παράστασης $y = f(t)$. Στις συνθήκες αυτού του πειράματος προέκυψε:

$$v = 1,52 \text{ cm/s}$$

Εναλλακτικά το πείραμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με κατάλληλη εφαρμογή επεξεργασίας ήχου για Android κινητά τηλέφωνα (π.χ με τη δωρεάν έκδοση της εφαρμογής Doninn Audio Editor, με την οποία μπορούμε να παίρνουμε τη χρονική διάρκεια ενός επιλεγμένου τμήματος του ηχητικού σήματος με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων).



Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Εικόνα 11. Το ηχογράφημα της κίνησης με χρήση της εφαρμογής Doninn Audio Editor για Android κινητά

Η λήψη των μετρήσεων χρόνου και η επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων γίνεται και σ' αυτή την περίπτωση (Εικόνα 11) με τον τρόπο που ήδη περιγράψαμε και οδηγεί σε ταχύτητα της σταγόνας Lugol ίση με **1,49 cm/s**.

Συμπεράσματα

Η πειραματική μελέτη της κίνησης σταγόνας Lugol σε αραβοσιτέλαιο επιβεβαίωσε ότι η σταγόνα αποκτά πολύ γρήγορα οριακή ταχύτητα της τάξης των λίγων cm/s. Οι διαφορές στην τιμή της οριακής ταχύτητας που υπολογίσαμε με τις διαφορετικές μεθόδους σχετίζονται αφενός με τα διαφορετικά πειραματικά σφάλματα κάθε μεθόδου, και αφετέρου με την εξάρτηση της οριακής ταχύτητας από τις διαστάσεις της σταγόνας και τη θερμοκρασία του διαλύματος

Το σημαντικό πλεονέκτημα της προτεινόμενης πειραματικής διαδικασίας είναι η απλότητα της πειραματικής διάταξης, ενώ η χρήση νέων τεχνολογιών απλουστεύει επίσης και τη διαδικασία λήψης και επεξεργασίας των μετρήσεων. Επιπλέον η ανάλυση του βίντεο της κίνησης με το λογισμικό Tracker, προσφέρει τη δυνατότητα αναλυτικότερης μελέτης και βαθύτερης κατανόησης του φαινομένου.

Αναφορές

- Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill.
- Chhabra, R. P., Agarwal, L., & Sinha, N. K. (1999). Drag on non-spherical particles: an evaluation of available methods. *Powder Technology*(101).
- Elert, G. (1998). *Density*. Ανάκτηση Οκτώβριος 2016, από The Physics Hypertextbook: <http://physics.info/density/>
- Elert, G. (1998). *Viscosity*. Ανάκτηση Οκτώβριος 2016, από Hypertextbook: <http://physics.info/viscosity/>
- Khan, A. R., & Richardson, J. F. (1987). The resistance to motion of a solid sphere in a fluid. *Chemical Engineering Communications*, 62.
- Medical Chemical Corp. (2014). *MSDS for Lugol's Iodine*. Ανάκτηση Ιανουάριος 2017, από Vanderbilt Environmental Health & Safety: <http://www.safety.vanderbilt.edu/msds/products/lugolsiodine.pdf>
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2012). *University Physics* (13η εκδ.). San Francisco: Pearson Education, Inc..



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

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.

Διερεύνηση μορφολογικών χαρακτηριστικών φυτού εσωτερικού χώρου με στόχο την ανάδειξη συμμετριών και εσωτερικών σχέσεων

Σεραφείμ Σπανός

Στην εργασία αυτή περιγράφεται η διεξαγωγή δύο διερευνητικών εργασιών οι οποίες ασχολήθηκαν με ομοειδές περιεχόμενο και συνέτειναν σε κοινό αποτέλεσμα με κοινή παρουσίαση από δύο μαθητές της Α΄ τάξης ενός ΕΠΑΛ που διέθετε τμήμα ειδίκευσης στη Γεωπονία. Το αντικείμενο μελέτης ήταν ένα αντιπροσωπευτικό καλλωπιστικό φυτό του είδους *ficus elastica variegata* στο οποίο μελετήθηκαν η διαρρύθμιση και οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μερών του με σκοπό την ανακάλυψη/επαλήθευση βαθύτερων εσωτερικών συμμετριών. Οι σχέσεις και οι συμμετρίες που εξακριβώθηκαν συνδέθηκαν με ευρύτερους νόμους ανάπτυξης που ακολουθούν τα φυτά. Παράχθηκαν ακόμη ποσοτικές σχέσεις οι οποίες επαληθεύθηκαν σε ανθοπωλείο της περιοχής. Τέλος προτάθηκαν επιπλέον πεδία εφαρμογής των συμπερασμάτων.

Εισαγωγή-Πλαίσιο διερεύνησης

Η πρόταση των διερευνητικών εργασιών στην εκπαίδευση βασίζεται σε μια σειρά παιδαγωγικών και διδακτικών αρχών (π.χ. Ματσαγγούρας, 2012; Σπανός και Ξενάκης, 2016) οι οποίες αναφέρονται επιγραμματικά στη συνέχεια. Η πρώτη αρχή είναι η αρχή της ανακαλυπτικής μάθησης. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας πρόκειται για ελεγχόμενη ανακαλυπτική μάθηση όπου τα ερωτήματα τίθενται με τη βοήθεια και καθοδήγηση του εκπαιδευτικού. Η διαθεματικότητα είναι η δεύτερη αρχή. Στην τρέχουσα εργασία δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη μαθηματική διάσταση των απαντήσεων. Ωστόσο η βασική θεματολογία αφορά στο πεδίο της δενδροκομίας. Στη συνέχεια αναφέρεται η αρχή της διαφοροποίησης του περιεχομένου. Σε συμφωνία με την αρχή διαφοροποίησης του περιεχομένου (Σπανός και Ξενάκης, 2016) παρέχεται η δυνατότητα αποφυγής των μαθηματικών υπολογισμών. Για το σκοπό αυτό προτείνεται η χρήση γραφικών παραστάσεων ως νομογραμμάτων. Η ομαδοσυνεργατικότητα αποτελεί μια ακόμη αρχή στην οποία οφείλει να βασίζεται

κάθε πρόταση διερευνητικής εργασίας. Ωστόσο για τις ανάγκες της ατομικής βαθμολόγησης πολλές φορές παραμελείται στο Ελληνικό εκπαιδευτικό σύστημα. Στην εργασία αυτή η ομάδα των δύο μαθητών που ασχολήθηκαν ακολούθησε κοινή πορεία μέχρι κάποιο κομβικό σημείο και μετά επήλθε διαφοροποίηση. Με τον τρόπο αυτό εκπληρώθηκε μερικώς η τελευταία αρχή ενώ παράλληλα δόθηκε και η δυνατότητα ατομικής αξιολόγησης.

Οι γενικοί διδακτικοί στόχοι που κλήθηκε να εξυπηρετήσει η εργασία συνοψίζονται στην επιστημονική προσέγγιση, την κατανόηση και ερμηνεία του φυσικού κόσμου μέσα από την ακολουθία παρατήρηση-μετρήσεις-επεξεργασία μετρήσεων-γενίκευση.

Η πραγματοποίηση της διερευνητικής εργασίας στο σχολείο διήνυσε τις γνωστές φάσεις στις οποίες αφιερώθηκε ο κατάλληλος χρόνος. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η επιλογή του θέματος. Ακολούθησε η ανάλυση των στόχων της διερευνητικής προσέγγισης ενώ στη συνέχεια διαμορφώθηκε το σχέδιο δράσης. Τελικά το σχέδιο διεκπεραιώθηκε και η διερευνητική εργασία ολοκληρώθηκε με προτάσεις εφαρμογής των αποτελεσμάτων της.

Η εργασία προτάθηκε σε μαθητές του ΕΠΑΛ Βελεστίνου ως εκπλήρωση της τυπικής υποχρέωσης τους. Την επίβλεψη ανέλαβε ο καθηγητής γεωπονίας με τη συμβολή του μαθηματικού του σχολείου κατόπιν πρότασης του συγγραφέα και βασίσθηκε σε παλαιότερη εργασία φοιτητών του στο τμήμα γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Η διαδοχή των φάσεων διεξαγωγής περιγράφεται στη συνέχεια.

Προεργασία και τοποθέτηση ερωτημάτων

Ακολουθώντας την τυπική ακολουθία διαδοχής των διδακτικών φάσεων επιχειρήθηκε σε πρώτη φάση η διέγερση ερωτημάτων με αφορμή μια συλλογή φυτών (Εικόνα 1) που μεταφέρθηκαν στο σχολείο λόγω εγκαινίων των νέων κτηριακών του εγκαταστάσεων. Τα ερωτήματα μορφοποιήθηκαν στη διάρκεια χαλαρών συζητήσεων με μαθητές του ΕΠΑΛ που επέλεξαν τη γεωπονία ως ειδίκευση.



Εικόνα 1. Φωτογραφία αντιπροσωπευτικού φυτού εσωτερικών χώρων που φέρει το επιστημονικό όνομα *ficus elastica variegata*.

Διατυπώθηκαν ερωτήματα όπως αυτά που ακολουθούν:

- α. Ποιο είναι το επιστημονικό όνομα των ποικιλόχρωμων 'φίκων' που προσήλκυσαν το ενδιαφέρον των μαθητών;
- β. Ποια η καταγωγή και η χρησιμότητά του πέραν του καλλωπισμού;
- γ. Τι εξυπηρετεί το κίτρινο περίγραμμα που ομορφαίνει τη σιλουέτα των φύλλων του;
- δ. Ο βλαστός εμφανίζει ομαλή συνέχεια κατά μήκος του ή μήπως συμβαίνει κάτι άλλο;
- ε. Είναι φανερό ότι όσο το φυτό μεγαλώνει (αυξάνει το ύψος του) τόσα περισσότερα φύλλα αναπτύσσει. Υπάρχει σχέση μεταξύ αριθμού των φύλλων και του ύψους του φυτού;
- στ. Μπορούμε να εκφράσουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια (π.χ. με τα μαθηματικά) τη σχέση αυτή;
- ζ. Υπάρχει κάποιο σχέδιο σύμφωνα με το οποίο φυτρώνουν τα φύλλα γύρω από το βλαστό;
- η. Πόση είναι προσεγγιστικά η γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών από πλευράς ύψους φύλλων;
- θ. Μπορεί η γωνία μιας περιφέρειας (360°) ή ακέραιου πολλαπλασίου περιφερειών να διαιρείται ακριβώς με την γωνία του προηγούμενου ερωτήματος;

Το ξεχωριστό ενδιαφέρον που εκφράσθηκε από δύο μαθητές οδήγησε στην ανάληψη ως διερευνητικής εργασίας την μελέτη του φυτού εσωτερικού χώρου *figus elastica variegata*. Η ανάληψη έγινε με τη σύμφωνη γνώμη του αρμόδιου για τις διερευνητικές εργασίες εκπαιδευτικού ο οποίος γνώριζε την προϋπηρεσία του συγγραφέα στο τμήμα Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Συμφωνήθηκε οι μαθητές να εργασθούν ομαδικά στα τρία πρώτα ερωτήματα και στη συνέχεια ατομικά. Ο πρώτος να εργασθεί στα ερωτήματα δ και ε και ο δεύτερος στα ερωτήματα στ, η και θ.

Συλλογή δεδομένων και μετρήσεις

Η διαδικτυακή εξερεύνηση (Wikipedia) προσέφερε σημαντικές πληροφορίες για την καταγωγή, την οικολογία και τις καλλιεργητικές πρακτικές. Το πρώτο για παράδειγμα συνθετικό (*figus*) χαρακτηρίζει μια αρκετά μεγάλη οικογένεια φυτών με αντιπροσωπευτικότερο είδος την κοινή συκιά. Άλλωστε οι καρποί του φυτού στα μέρη φυσικής εξάπλωσης (Νοτιοανατολική Ασία) μοιάζουν πολύ με τα σύκα. Το δεύτερο συνθετικό στο όνομα (*elastica*) οφείλεται στη χαρακτηριστική ιδιότητα του 'γάλατος' που εκλύεται σε κάθε πληγή (όλες οι συκιές εκλύουν γαλακτόχρωμα υγρά) να μετατρέπεται σε λάστιχο. Το τρίτο συνθετικό οφείλεται στην ιδιότητα αποχρωματισμού των άκρων των φύλλων του σε συγκεκριμένα υβρίδια. Ο αποχρωματισμός αυτός (κιτρίνισμα) σε υγιές φυτό κατά πάσα οφείλεται σε αμυντική μεταμόρφωση. Το σχέδιο λειτουργεί αποτρεπτικά σε αρκετά φυλλοφάγα έντομα.

Τις πληροφορίες μοιράστηκαν και οι δύο μαθητές μετά από κοινή αναζήτηση. Στο αμέσως επόμενο βήμα πραγματοποιήθηκε συλλογή και διερεύνηση των αρχικών απαντήσεων και προτεινόμενων υποθέσεων εργασίας. Οι μαθητές οδηγήθηκαν σε λεπτομερέστερη παρατήρηση με σκοπό να αποφύγουν την εύκολη απάντηση περί τυχαίου. Μετά από εκτεταμένη συζήτηση πάνω στη μορφοποίηση των ζωντανών οργανισμών (κατά συνέπεια και των φυτών) μέσα από μακροχρόνιες διαδικασίες εξέλιξης, οι μαθητές άρχισαν τελικά να αναζητούν τη γενεσιουργό αιτία και τον

παράγοντα που ευεργετικά βελτιστοποιείται σε μια συγκεκριμένη δόμηση. Έννοιες που ήδη γνώριζαν από τα μαθήματα στο τμήμα γεωπονίας όπως η φωτοσύνθεση, η αύξηση, ο ανταγωνισμός, έλαβαν συγκεκριμένο νόημα στην περίπτωση του υπό μελέτη φυτού.

Ο πρώτος μαθητής εύκολα διαπίστωσε ότι κάθε ένα αυξητικό βήμα αντιστοιχεί στη δημιουργία ενός μόνο φύλλου σε διαφορετικό όμως προσανατολισμό σε σχέση με το προηγούμενο (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Λεπτομέρεια από φυτό *ficus elastica variegata* όπου σημειώνονται οι αυξητικές μονάδες

Πραγματοποίησε μετρήσεις και φωτογράφιση των φυτών με επικέντρωση σε ένα από αυτά που θεωρήθηκε πιο αντιπροσωπευτικό. Ο Πίνακας 1 που ακολουθεί δείχνει τις μετρήσεις ύψους σε σχέση με τον αριθμό των αυξητικών μονάδων που ταυτίζεται με τον αριθμό των φύλλων.

| α/α προσθήκης από κάτω προς τα άνω | Ύψος του φυτού (cm) |
|--|------------------------|
| 1 | 2.1 |
| 2 | 5.1 |
| 3 | 8.3 |
| 4 | 11.1 |
| 5 | 14.1 |
| 6 | 17.7 |
| 7 | 21.9 |
| 8 | 27.4 |
| 9 | 32.0 |
| 10 | 36.8 |
| 11 | 41.3 |
| 12 | 45.5 |
| 13 | 49.9 |
| 14 | 54.2 |
| 15 | 58.7 |
| 16 | 63.4 |
| 17 | 67.9 |
| 18 | 71.9 |
| 19 | 74.9 |

| | |
|----|------|
| 20 | 77.4 |
| 21 | 78.2 |

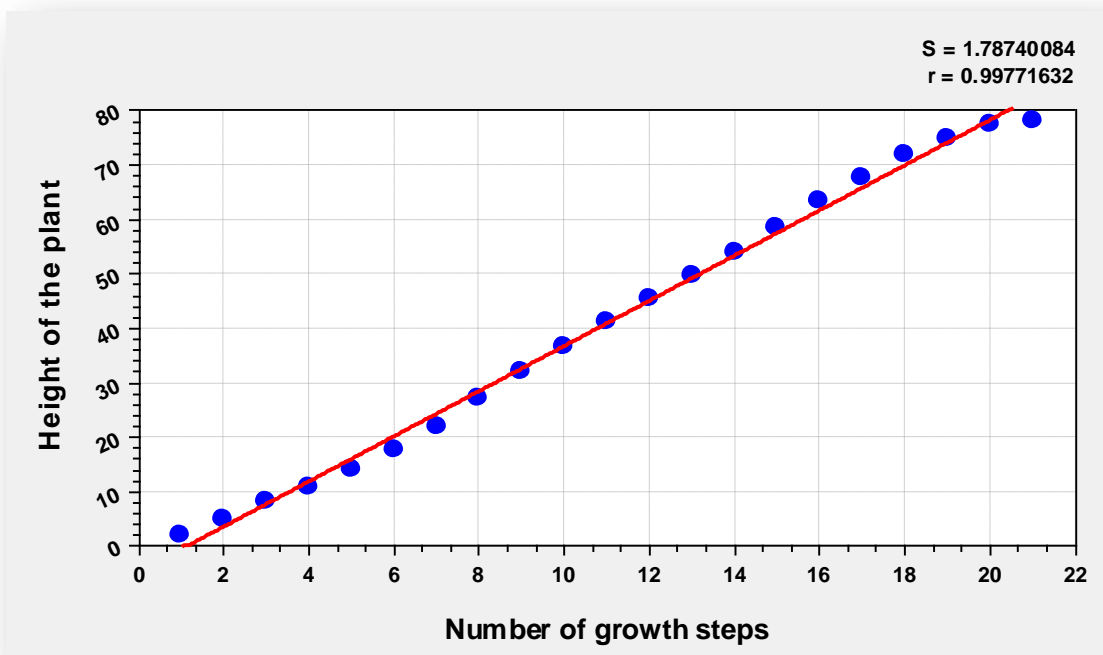
Πίνακας 1. Μετρήσεις ύψους και αριθμού αυξητικών μονάδων.

Ακολούθησε η παραγωγή ενός γραφήματος στο λογιστικό φύλλο excel και η προσαρμογή της αντίστοιχης ευθείας ελαχίστων τετραγώνων που το λογισμικό προσφέρει. Τελικά η μαθηματική σχέση που παράχθηκε εμφανίζει τη μορφή :

$$\text{Ύψος φυτού} = \alpha * \text{αριθμός φύλλων} + \beta \quad (1)$$

με $\alpha = 4.2$ και $\beta = -4.7$

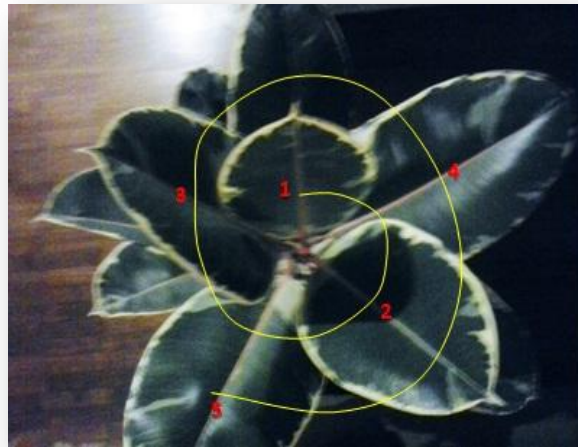
Όπως φαίνεται από το γράφημα της Εικόνας 3 εμφανίζεται πολύ καλή συμφωνία με τα δεδομένα. Επομένως μπορεί κάποιος να υπολογίσει την μία εκ των παραμέτρων αν γνωρίζει την άλλη είτε από τη σχέση (1) είτε με τη βοήθεια της Εικόνας 3 που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νομογράφημα. Διαβάζοντας για παράδειγμα τη μία τιμή στον άξονα των x προσδιορίζεται η αντίστοιχη της στον άξονα των y φέρνοντας κάθετη στον άξονα x μέχρι την καμπύλη και στη συνέχεια κάθετη στον άξονα y .



Εικόνα 3. Γράφημα και γραφική παράσταση της σχέσης μεταξύ ύψους φυτού (height of the plant) και αυξητικών μονάδων (Number of growth steps)

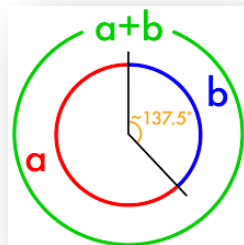
Τα ερωτήματα που τέθηκαν σχετικά με τον προσανατολισμό των φύλλων απαίτησαν από το δεύτερο μαθητή μια διερεύνηση που βασίσθηκε σε διαδικτυακή έρευνα. Φάνηκε γρήγορα ότι η βελτιστοποίηση της πρόσληψης φωτός για την απαραίτητη φωτοσύνθεση αποτελεί τον παράγοντα κλειδί στο θέμα της φυλλοταξίας (phylotaxis). Η γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών φύλλων εκτιμήθηκε

μεταξύ 120° και 144° . Ο μαθητής παρατήρησε ότι τα φύλλα εκπτύσσονται από ένα σε κάθε αυξητική μονάδα και σε διευθύνσεις που προσδίδουν ελικοειδή μορφή (Εικόνες 1 και 2). Η δομή αυτή σχεδόν αναπαράγεται ανά 5 φύλλα και μετά από δύο περίπου περιστροφές (720°). Οι ακέραιες διαιρέσεις του 720 με 5 και 6 φύλλα δίνουν $720/5=144$ και $720/6=120$. Αν όμως επαναλαμβάνεται κάποιο από τα δύο προηγούμενα πρότυπα αύξησης τότε αυτό θα είχε ως συνέπεια την ταύτιση της διεύθυνσης ανά πέντε η έξη φύλλα. Στην περίπτωση αυτή σε κάθε βήμα της έλικας θα βρίσκονταν φύλλα ακριβώς το ένα κάτω από το άλλο με απόλυτη σκίαση. Τόσο από την Εικόνα 2 όσο και από την Εικόνα 4 φαίνεται ότι αυτό δεν συμβαίνει.



Σχήμα 4. Φωτογραφία του υπό εξέταση φυτού *ficus elastica variegata* από πάνω προς τα κάτω όπου επιδεικνύεται η χαρακτηριστική έλικα μέχρι το 5ο φύλλο.

Οι λόγοι αυτής της εμφάνισης σχετίζονται όπως προαναφέρθηκε με τη βέλτιστη εκμετάλλευση του φωτός. Η αναζήτηση της ακριβούς τιμής της γωνίας μεταξύ των δύο διαδοχικών φύλλων οδήγησε στην ονομαζόμενη χρυσή γωνία (Fibonacci numbers and Nature). Ο μαθητής ανακάλυψε ένα αρχαίο κανόνα αρμονίας και ομορφιάς που αποκαλείται χρυσή τομή. Αν η χρυσή τομή εφαρμοσθεί όχι στο χωρισμό ευθυγράμμου τμήματος “σε μέσο και άκρο λόγο” αλλά στο χωρισμό της περιφέρειας τότε η ανάλυση καταλήγει σε δύο τιμές γωνιών $\sim 222.5^{\circ}$ και 137.5° που το άθροισμα τους είναι 360° .



Εικόνα 5. Διαμερισμός του κύκλου σε μέσο και άκρο λόγο (χρυσή γωνία).

$$\frac{a}{a+b} = \frac{b}{a}$$

Εξισώνοντας 'χιαστί' τα γινόμενα :

$$a^2 - ab - b^2 = 0$$

Διαιρώντας και τα δύο μέλη με b^2

$$\left(\frac{a}{b}\right)^2 - \frac{a}{b} - 1 = 0$$

Λύνοντας την τελευταία εξίσωση ως δευτεροβάθμια ως προς τη μεταβλητή a/b προκύπτει:

$$\frac{a}{b} = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

Τελικά $b/a = a/a+b \approx 1.62$ οπότε προκύπτει $a \approx 222.5^0$ και $b \approx 137.5^0$.

Η δεύτερη από αυτές τις τιμές εμφανίζει μεγαλύτερες πιθανότητες να αποτελεί απάντηση στο πόση πραγματικά είναι η γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών φύλλων στο φυτό *figus elastica variegata* που εξετάσθηκε. Η τιμή αυτή που παρατηρείται και σε πολλά άλλα φυτά επιτρέπει μια διάταξη φύλλων που πραγματοποιεί εξαιρετική εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου ώστε να επιτευχθεί άριστη πρόσληψη ηλιακού φωτός για φωτοσύνθεση.



Εικόνα 6. Φωτογραφία φυτών *figus elastica variegata* σε κατάστημα πώλησης όπου η τιμή πώλησης συμβαδίζει με το ύψος.

Στην τελική φάση οι δύο μαθητές που ασχολήθηκαν με το θέμα πρόσφεραν ο καθένας τη δική του πρόταση εφαρμογής και ελέγχου των αποτελεσμάτων τους. Ο πρώτος πρότεινε για παράδειγμα μια μέθοδο προσδιορισμού του ύψους των φυτών από τη μέτρηση του αριθμού των φύλλων τους. Την ιδέα αυτή υιοθέτησε με αφορμή την χρέωση των φυτών με βάση το ύψος τους (Εικόνα 6) που διαπίστωσε σε καταστήματα πώλησης καλλωπιστικών φυτών. Με τη συνεργασία του δεύτερου μαθητή επισκέφθηκαν το κατάστημα που προμήθευσε τα φυτά και δοκίμασαν να επαληθεύσουν τη σχέση (1). Σε ένα δείγμα από εικοσιπέντε φυτά (25) η πρόβλεψη ύψους από τον αριθμό των φύλλων

έδωσε κοντινές τιμές προς την πραγματικότητα με κατά μέσο όρο απόκλιση 5.2 cm. Η απόδοση αυτή θεωρήθηκε ικανοποιητική ακόμη και από τον ίδιο τον πωλητή.

Ο δεύτερος μαθητής θεώρησε ότι η μίμηση της φύσης μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτικότερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Επηρεασμένος από το διαδίκτυο πρότεινε μια διάταξη όπου τα φωτοβολταϊκά αντί να απλώνονται σε χρήσιμο έδαφος, να εκτείνονται κατ' ύψος σε δενδροειδή διάταξη όμοια με αυτή του ficus elastica που εξέτασε. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την παρουσίαση των ευρημάτων στην τάξη.

Συμπεράσματα

Η διερεύνηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών αποδείχθηκε μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα διαδικασία για μαθητές της α τάξης του ΕΠΑΛ. Διεκπεραιώθηκε με ζήλο χωρίς την συνηθισμένη αδιαφορία και είχε επιτυχημένη κατάληξη. Οι μαθητές προσέγγισαν έννοιες που είχαν διδαχθεί στο Γυμνάσιο από διαφορετική σκοπιά και αντιλήφθηκαν το βαθύτερο νόημα και την ομορφιά της φυτικής μορφολογίας. Αντιλήφθηκαν την αξία της επιστημονικής διαδικασίας διερεύνησης και την αναλλοίωτη αξία των μαθηματικών στην περιγραφή και εκμετάλλευση των αποτελεσμάτων. Το τελευταίο αποτελεί εξαιρετικό γεγονός, δεδομένης της υποτίμησης την οποία υφίστανται τα μαθήματα γενικής παιδείας (ακόμη και τα μαθηματικά) σε ένα σχολείο που η πλάστιγγα του ενδιαφέροντος φαίνεται να γέρνει προς την κατεύθυνση της ειδικεύσεως.

Ο συγγραφέας ευχαριστεί τους δύο συναδέλφους και τους δύο μαθητές που έδωσαν τη συγκατάθεσή τους για τη δημοσίευση. Επίσης το κατάστημα φυτικών ειδών από όπου προήλθαν τα καλλωπιστικά φυτά του σχολείου

Βιβλιογραφία

- Fibonacci Numbers and Nature, <http://www.maths.surrey.ac.uk/hosted-sites/R.Knott/Fibonacci/fibnat.html> (τελευταία προσπέλαση 7/1/2016)
- Phyllotaxis, <http://www.math.smith.edu/~phyllot/> (προσπέλαση 7/1/2016).
- Spanos S. and C. Xenakis (2013). *Learning Astronomy through Inquiry and by means of Self-Constructions*. Published by Astronomy and Space Society & Ellinogermaniki Agogi, Athens pp 191.
- Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Ficus_elastica και <https://en.wikipedia.org/wiki/Variagation> (τελευταία προσπέλαση 7/1/2016).
- Ματσαγγούρας Ε. (2012). *Η καινοτομία της ανακαλυπτικής μάθησης στο νέο Γυμνάσιο*. Εκδόσεις ΥΠΕΠΘ.
- Σπανός Σ. και Ξενάκης Χ. (2014). Πόσα αστέρια βλέπουμε με γυμνό μάτι στο νυχτερινό ουρανό. *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, τεύχος 5, 57-66, Θεσσαλονίκη.



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

Η διαπνοή, η μεταφορά νερού και η φωτοσύνθεση στα φυτά μέσω της καθοδηγούμενης διερεύνησης

Μαρία Α. Ξαπλαντέρη και Μαίρη Κοτσιφάκη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση από τους μαθητές σπουδαίων για τα φυτά διεργασιών στις οποίες σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ύπαρξη και μεταφορά νερού. Παρουσιάζονται τρεις εργαστηριακές ασκήσεις όπου ο μαθητής καλείται να ανακαλύψει τους παράγοντες που επιδρούν στη μεταφορά νερού μέσω του αγωγού συστήματος των φυτών, τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή και τέλος τον τρόπο ανίχνευσης του αμύλου καθώς και τις διάφορες χρωστικές που υπάρχουν στα φύλλα.

Εισαγωγή

Το σύνολο του νερού που χρησιμοποιούν τα φυτά απορροφάται από τις ρίζες. Το νερό κινείται από τις ρίζες προς τα φύλλα μέσω του αγωγού ιστού, όπου και ελευθερώνεται με τη μορφή υδρατμών από τα στόματα με τη διαδικασία της διαπνοής. Το 95% του νερού που απορροφούν τα φυτά χάνεται μέσω της διαπνοής, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για τις φυσιολογικές και βιοχημικές τους λειτουργίες (Ριζοπούλου κ.ά., 2015).

Η μεταφορά του νερού στο αγωγό σύστημα των φυτών είναι θεμελιώδης για το φυτικό οργανισμό καθώς το νερό αποτελεί:

1. τη βασικότερη ουσία για τη σύνθεση των οργανικών ενώσεων
2. άριστο διαλυτικό μέσο, στο οποίο πραγματοποιούνται όλες οι χημικές αντιδράσεις
3. το μέσο με το οποίο οι ουσίες μετακινούνται μέσα στο φυτό
4. πηγή σπαργής για τα φυτικά κύτταρα
5. το κύριο μέσο ρύθμισης της θερμοκρασίας του φυτού (Nilson & Assmann, 2007).

Η συνολική ποσότητα του νερού που απορροφάται και μεταφέρεται μέσα στα φυτά, κινείται λόγω της αρνητικής πίεσης, που δημιουργείται από την εξάτμιση του νερού από τα φύλλα, γνωστή ως διαπνοή. Η κινητήρια δύναμη που προκαλεί τη διαπνοή είναι η διαφορά υδατικού δυναμικού μεταξύ του νερού στο φύλλο και την ατμόσφαιρα (Ριζοπούλου κ.ά., 2015).

Η ταχύτητα της διαπνοής συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με το άνοιγμα και το κλείσιμο των στομάτων. Παράλληλα, σε κάθε συγκεκριμένο φυτικό είδος πολλοί άλλοι παράγοντες επηρεάζουν τη διαπνοή, όπως η υδατική επάρκεια, το φως, ο αέρας, η υγρασία, και η θερμοκρασία (Casadebaig, Debaeke & Lecoeur, 2008; Meletiou-Christou & Rhizopoulou, 2012).

Πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη διαπνοή είναι η θερμοκρασία του αέρα. Η ταχύτητα εξάτμισης του νερού διπλασιάζεται όταν αυξηθεί η θερμοκρασία κατά 10°C, ενώ τα στόματα κλείνουν όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα είναι μεγαλύτερη από 35°C (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Η σχετική υγρασία είναι επίσης σημαντική, επειδή η ταχύτητα διαπνοής είναι ανάλογη της διαφοράς πίεσης των υδρατμών μεταξύ των μεσοκυττάρων χώρων και της επιφάνειας του φύλλου. Το νερό με τη μορφή υδρατμών κινείται πολύ πιο αργά σε αέρα που είναι ήδη κορεσμένος με υδρατμούς (Tullus et al., 2012). Σε συνθήκες άπνοιας, οι υδρατμοί που διαχέονται από τους στοματικούς πόρους στην ατμόσφαιρα συσσωρεύονται πάνω από το στοματικό πόρο. Δημιουργούν με αυτό τον τρόπο ένα οριακό στρώμα υδρατμών, το πάχος του οποίου εξαρτάται από τη μορφολογία της επιφάνειας του φύλλου (π.χ. ύπαρξη τριχώματος). Το στρώμα αυτό αποτελεί εμπόδιο στην έξοδο των υδρατμών από τον ανοικτό στοματικό πόρο. Όταν φυσάει αέρας, οι υδρατμοί αυτοί απομακρύνονται και η διαπνοή συνεχίζεται (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Παράλληλα, όσον αφορά το φως, όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του φωτός, τόσο μεγαλώνει το άνοιγμα του στοματικού πόρου, άρα πραγματοποιείται εντονότερη διαπνοή και ταυτόχρονα εισέρχεται στο μεσόφυλλο μεγαλύτερη ποσότητα CO₂, άρα και εντονότερη φωτοσύνθεση. Βέβαια, για κάθε φυτικό είδος υπάρχει μια φωτεινή ένταση κορεσμού, μετά από την οποία το μέγεθος του στοματικού πόρου παραμένει σταθερό (Ριζοπούλου κ.ά., 2015).

Διαπνοή και φωτοσύνθεση είναι άρρηκτα συνδεδεμένες. Εκτός από την ένταση του φωτός που προαναφέρθηκε, η συγκέντρωση του CO₂ παίζει σπουδαίο ρόλο. Τα περισσότερα φυτά αυξάνουν τη φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα με την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ (Evans, 2013). Όμως, σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις τα στόματα κλείνουν άρα παρεμποδίζεται η φωτοσύνθεση. Με την αύξηση της θερμοκρασίας ο ρυθμός φωτοσύνθεσης αυξάνει. Μετά τους 35°C όπως προαναφέρθηκε τα στόματα κλείνουν (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Το νερό συμμετέχει άμεσα στις αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης ως δότης ηλεκτρονίων στο NADP⁺. Έλλειψη νερού οδηγεί στην ελάττωση του υδατικού δυναμικού των μεσοκυττάρων χώρων, στο κλείσιμο των στομάτων και την παρεμπόδιση της φωτοσύνθεσης (Meletiou-Christou & Rhizopoulou, 2012; Sellin et al., 2014).

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τρεις εργαστηριακές ασκήσεις για τη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν αυτές τις τρεις σπουδαίες για τα φυτά διεργασίες της διαπνοής, της μεταφοράς νερού και της φωτοσύνθεσης. Η πρώτη εργαστηριακή άσκηση «Μελέτη της μεταφοράς νερού στο αγωγό σύστημα των φυτών» αφορά στη διερεύνηση της μεταφοράς νερού και ουσιών στα φυτά. Η δεύτερη εργαστηριακή άσκηση έχει τίτλο «Διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό διαπνοής». Οι μαθητές καλούνται να προσδιορίσουν τον τρόπο με τον οποίο παράγοντες όπως

η θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζουν το ρυθμό διαπνοής στα φυτά. Αντιστοιχούν στην ενότητα «Η μεταφορά και η αποβολή ουσιών στα φυτά» της Βιολογίας Α΄ Γυμνασίου (Μαυρικάκη, Γκούβρα & Καμπούρη, 2013α). Η τρίτη άσκηση με τίτλο «Ανίχνευση αμύλου σε φύλλα κολεού» προτείνεται να διδαχθεί μαζί με την ενότητα «Η παραγωγή θρεπτικών ουσιών στα φυτά – Η φωτοσύνθεση» της Βιολογίας Α΄ Γυμνασίου (Μαυρικάκη, Γκούβρα & Καμπούρη, 2013β). Η τελευταία άσκηση σκοπό έχει την ανίχνευση του αμύλου στα φύλλα κολεού. Είναι επίσης σπουδαία για την εξοικείωση του μαθητή με τις χρωστικές που υπάρχουν στο φύλλο και τους τρόπους απομόνωσής τους από αυτό.

Η μέθοδος που ακολουθείται είναι η καθοδηγούμενη διερεύνηση που στηρίζεται στην καθοδηγούμενη ανακάλυψη και στην ικανότητα του μαθητή να χρησιμοποιεί τις γνώσεις που απέκτησε (Βαϊνάς, Βλάσση & Καραλιώτα, 2007; Hofstein, 2004). Οι σύγχρονες μέθοδοι διδασκαλίας προσανατολίζονται προς την κατεύθυνση της διερευνητικής μάθησης. Η διερεύνηση του επιστημονικού ερωτήματος μπορεί να είναι επιβεβαιωτική, καθοδηγούμενη, προσανατολισμένη ή ανοιχτή. Στην επιβεβαιωτική και καθοδηγούμενη δίνονται στους μαθητές η προς διερεύνηση ερώτηση, η πειραματική πορεία που θα ακολουθήσουν και τα απαιτούμενα όργανα και υλικά, με τη διαφορά ότι στην καθοδηγούμενη δε γνωρίζουν την έκβαση του πειράματος. Στην προσανατολισμένη δίνεται στους μαθητές μόνο το ερευνητικό ερώτημα, ενώ στην ανοιχτή οι ίδιοι οι μαθητές παράγουν και τα ερωτήματα και την ερευνητική πορεία που θα ακολουθήσουν (Κουμαράς, 2015).

Εργαστηριακή άσκηση 1

Μελέτη της μεταφοράς νερού στο αγωγό σύστημα των φυτών

Φάση προετοιμασίας – Ευαισθητοποίηση

Προαπαιτούμενες γνώσεις για τους μαθητές: ξύλωμα, αγωγός ιστός.

Διατύπωση υποθέσεων

Από ποιους παράγοντες επηρεάζεται η μεταφορά νερού στο ξύλωμα; Η ύπαρξη αέρα στο ξύλωμα επηρεάζει τη μεταφορά;

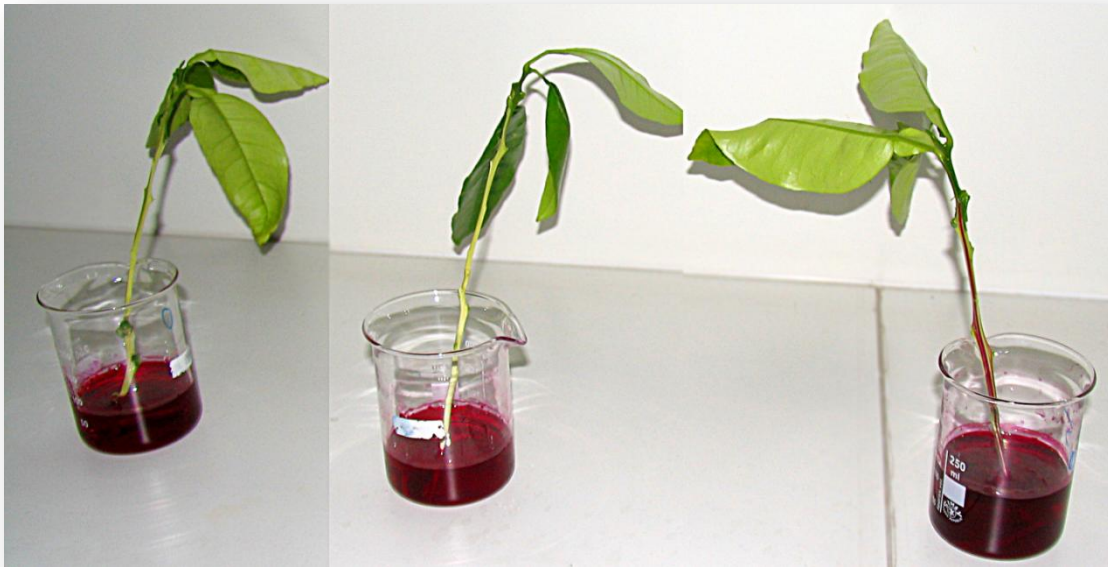
Οργάνωση τάξης

Προτείνεται ο χωρισμός της τάξης σε ομάδες των 2-4 ατόμων. Ανά ομάδα μαθητών απαιτούνται τα εξής όργανα και υλικά: τρεις βλαστοί τριανταφυλλιάς τρέχοντος έτους ή εσπεριδοειδούς (λεμονιά ή φράπα) τρία ποτήρια ζέσεως των 100 mL, διάλυμα φουξίνης 0,1%, νυστέρι, υποδεκάμετρο, χρονόμετρο.

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική πορεία αναλυτικά είναι η εξής:

1. Αφαιρούμε τα αγκάθια και τα φύλλα από τους βλαστούς αφήνοντας μόνο τρία σύνθετα φύλλα στην κορυφή. Κάνουμε επιφανειακές τομές με το νυστέρι στο φλοιό και τον αφαιρούμε όλο εκτός από την περιοχή των γονάτων των φύλλων που έχουν παραμείνει στο βλαστό.
2. Σε κάθε ένα από τα ποτήρια ζέσεως τοποθετούμε από 50 ml διαλύματος φουξίνης.
3. Τοποθετούμε τον πρώτο βλαστό στο διάλυμα και αφήνουμε τον ίδιο χρόνο (σταθερό) σε όλους τους βλαστούς. Μετράμε το ύψος στον καθένα που έφτασε το διάλυμα. Συμπληρώνουμε την πρώτη γραμμή του Πίνακα της ερώτησης 1 στο Φύλλο Εργασίας 1 (Εικόνα 1).
4. Αφαιρούμε 2 cm από την βάση του δεύτερου βλαστού και τον τοποθετούμε στο δεύτερο ποτήρι ζέσεως. Αφήνουμε τον ίδιο χρόνο (σταθερό) σε όλους τους βλαστούς και μετράμε το ύψος στον καθένα που έφτασε το διάλυμα. Συμπληρώνουμε τη δεύτερη γραμμή του Πίνακα της ερώτησης 1 στο Φύλλο Εργασίας 1 (Εικόνα 1).
5. Τοποθετούμε τον τρίτο βλαστό στο τρίτο διάλυμα και αφαιρούμε 2 cm από τη βάση του ενώ βρίσκεται μέσα στο διάλυμα. Αφήνουμε τον ίδιο χρόνο (σταθερό) σε όλους τους βλαστούς και μετράμε το ύψος στον καθένα που έφτασε το διάλυμα. Συμπληρώνουμε την τρίτη γραμμή του Πίνακα της ερώτησης 1 Φύλλου Εργασίας 1 (Εικόνα 1).
6. Υπολογίζουμε τις ταχύτητες ανόδου και για τις τρεις περιπτώσεις.



Εικόνα 1. βλαστός (αριστερά), βλαστός αφού έχουμε αφαιρέσει 2 cm από τη βάση του (κέντρο), βλαστός αφού έχουμε αφαιρέσει 2 cm από τη βάση του ενώ βρίσκεται μέσα στο διάλυμα (δεξιά).

Εργαστηριακή άσκηση 2

Διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν το ρυθμό διαπνοής

Φάση προετοιμασίας – Ευαισθητοποίηση

Προαπαιτούμενες γνώσεις για τους μαθητές είναι ξύλωμα, αγωγός ιστός, διαπνοή.

Διατύπωση υποθέσεων

Επιρεάζεται η διαπνοή από την ταχύτητα του ανέμου; Η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στη διαπνοή;

Οργάνωση τάξης

Προτείνεται ο χωρισμός της τάξης σε ομάδες των 2-4 ατόμων. Απαιτούμενα όργανα είναι: ζυγός ακριβείας, χρονόμετρο και δύο σεσουάρ θερμού και ψυχρού αέρα. Επίσης, κάθε ομάδα μαθητών για τη διεξαγωγή της άσκησης προμηθεύεται τα εξής υλικά: τρία φύλλα πλατύφυλλου φυτού (π.χ. μολόχα), τρεις ογκομετρικές φιάλες των 100 mL, παραφίλμ ή μεμβράνη, νερό.

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική πορεία αναλυτικά είναι η εξής:

1. Σε κάθε μία από τις τρεις κωνικές φιάλες βάζουμε νερό 100 mL.
2. Τοποθετούμε ένα φύλλο στην καθεμία ώστε το κοτσάνι του να είναι μέσα στο νερό και κλείνουμε το στόμιο κάθε φιάλης αεροστεγώς με παραφίλμ ή μεμβράνη.
3. Ζυγίζουμε τις τρεις φιάλες και καταγράφουμε το αρχικό βάρος στον Πίνακα 1 του φύλλου εργασίας 2.



Εικόνα 2. Τοποθετούμε τη φιάλη σε απόσταση 40 cm από το σεσουάρ, ώστε ο αέρας να χτυπά την κάτω επιφάνεια του φύλλου.

4. Τοποθετούμε τη μία φιάλη που θα αποτελέσει το μάρτυρα σε σημείο του εργαστηρίου με σταθερές συνθήκες και τις άλλες δύο σε απόσταση 40 cm από τα δύο σεσουάρ, ένα σεσουάρ σε κάθε φιάλη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2. Ο αέρας να χτυπά την κάτω επιφάνεια του φύλλου, καθώς εκεί βρίσκονται σχεδόν όλα τα στόματα.

5. Θέτουμε ταυτόχρονα σε λειτουργία τα σεσουάρ, ώστε ο αέρας να χτυπά την κάτω επιφάνεια του φύλλου. Το ένα σεσουάρ στο ένα φύλλο το ρυθμίζουμε να βγάζει ζεστό και το άλλο κρύο αέρα.
6. Ζυγίζουμε τις φιάλες κάθε 10 λεπτά και καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο φύλλο εργασίας 2 στον Πίνακα της άσκησης 1.
7. Υπολογίζουμε την % μεταβολή του βάρους των δειγμάτων.

Εργαστηριακή άσκηση 3

Ανίχνευση αμύλου σε φύλλα κολεού

Φάση προετοιμασίας – Ευαισθητοποίηση

Προαπαιτούμενες γνώσεις για τους μαθητές είναι: φωτοσύνθεση, άμυλο, χλωροφύλλη.

Διατύπωση υποθέσεων

Ποιες χρωστικές υπάρχουν στα φύλλα; Πώς μπορούμε να απομακρύνουμε τις χρωστικές από το φύλλο; Πώς ανιχνεύουμε το άμυλο που συντίθεται κατά τη φωτοσύνθεση;

Οργάνωση τάξης

Προτείνεται ο χωρισμός της τάξης σε ομάδες των 2-4 ατόμων. Απαιτούμενο όργανο είναι θερμική πλάκα. Επίσης, φυτό κολεού σε γλάστρα. Κάθε ομάδα μαθητών για τη διεξαγωγή της άσκησης προμηθεύεται τα εξής υλικά: φύλλο αλουμινοχαρτο, αιθυλική αλκοόλη, διάλυμα ιωδιούχου καλίου, νερό, 6 τριβλία, 2 ποτήρια ζέσεως.

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική πορεία αναλυτικά είναι η εξής:

1. Καλύπτουμε με αλουμινοχαρτο για τουλάχιστον 48 ώρες ένα φύλλο κολεού σε φυτό που βρίσκεται εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία.
2. Κόβουμε το καλυμμένο και ένα ακόμα φύλλο από το φυτό (Εικόνα 3, αριστερά).
3. Τοποθετούμε τα φύλλα σε νερό που βράζει μέχρι να απομακρυνθούν οι υδατοδιαλυτές χρωστικές. Σύντομα η κεντρική περιοχή του φύλλου αποχρωματίζεται (Εικόνα 3, κέντρο).



Εικόνα 3. Φύλλο κολεού (αριστερά), β. φύλλο κολεού μετά από βρασμό σε νερό (κέντρο), φύλλο κολεού μετά από βρασμό σε αιθυλική αλκοόλη (δεξιά).

4. Αφαιρούμε τα φύλλα από το νερό και παρατηρούμε τις αλλαγές. Καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο Φύλλο εργασίας 3.
5. Τοποθετούμε τα φύλλα σε ζεστή αλκοόλη μέχρι να απομακρυνθούν οι λιποδιαλυτές χρωστικές (Εικόνα 3, δεξιά). Παρατηρούμε τις αλλαγές και καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο Φύλλο εργασίας 3.
6. Τοποθετούμε κάθε φύλλο σε ένα τριβλίο και με το σταγονόμετρο καλύπτεται η επιφάνειά του με διάλυμα ιωδιούχου καλίου. Περίπου δέκα σταγόνες είναι αρκετές αρκεί να απλωθούν ομοιόμορφα πάνω σε όλα το φύλλο (Εικόνα 4 και Εικόνα 5) .
7. Παρατηρούμε τις αλλαγές και καταγράφουμε τις παρατηρήσεις μας στο Φύλλο εργασίας 3.



Εικόνα 4. Φύλλο κολεού μετά από χρώση με διάλυμα ιωδιούχου καλίου.



Εικόνα 5. Φύλλο κολεού καλυμμένο με αλουμινόχαρτο (αριστερά) μετά από βρασμό (κέντρο) και από χρώση με διάλυμα ιωδιούχου καλίου (δεξιά).

Συλλογή και οργάνωση δεδομένων, αναλυτική επεξεργασία δεδομένων

Στο πρώτο πείραμα είναι ιδιαίτερα εμφανής χωρίς να αφήνει καμία αμφιβολία στο μαθητή η μεταφορά του νερού μέσω του αγωγού συστήματος. Πλεονεκτεί από άλλες ασκήσεις που προτείνονται καθώς η μεταφορά του νερού γίνεται αντιληπτή άμεσα και σε μία εργαστηριακή ώρα. Η άσκηση 5 του εργαστηριακού οδηγού της Α΄ Γυμνασίου προτείνει τομή βλαστού και παρατήρηση στο μικροσκόπιο. Απαιτεί δύο ημέρες για την παρατήρηση αλλά και λεπτές τομές βλαστού που συνήθως δυσκολεύουν τους μαθητές (Μαυρικάκη, Γκούβρα & Καμπούρη, 2013γ).

Στη δεύτερη άσκηση γίνεται σαφές πώς επιδρούν στη διαπνοή δύο πολύ σπουδαίοι παράγοντες η θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Τα φυτά είναι οργανισμοί ποικιλόθερμοι, ωστόσο η θερμοκρασία των ιστών τους σπανίως είναι ίση με τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας που τα περιβάλλει, αντίθετα με ό,τι πιστεύουν οι μαθητές. Η τελική θερμοκρασία των φύλλων, εξαρτάται από το ποσό της θερμότητας που απορροφά από το περιβάλλον και από τις επιστρεφόμενες προς το περιβάλλον θερμικές απώλειες. Η ταχύτητα διάχυσης του CO_2 από την ατμόσφαιρα και συνεπώς, η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης και η ταχύτητα διαπνοής εξαρτώνται από αυτή τη θερμοκρασία του φύλλου με άμεση συνέπεια στην παραγωγικότητα του φυτού (Μανέτας κ.ά., 2015). Άσκηση που αφορά τη διαπνοή απουσιάζει από τον εργαστηριακό οδηγό της Α΄ Γυμνασίου.

Τέλος, για την ανίχνευση του αμύλου χρησιμοποιήθηκαν φύλλα κολεού. Σε αντίθεση με φύλλα άλλων φυτών, ο κολεός αποτελεί άριστη επιλογή ώστε να διακρίνουν οι μαθητές τις διαφορετικές χρωστικές που υπάρχουν στο φύλλο, αλλά και ότι η φωτοσύνθεση πραγματοποιείται μόνο στα πράσινα μέρη του φύλλου όπου υπάρχει η χλωροφύλλη.

Τελική αξιολόγηση και μεταφορά μάθησης στην καθημερινή ζωή

Ζητάμε από τους μαθητές να θέσουν ερωτήματα. Είναι για παράδειγμα δυνατόν, αν και το δυναμικό νερού των φύλλων είναι υψηλό, τα στόματα να κλείσουν αν η ατμόσφαιρα είναι ξηρή ή πώς συσχετίζονται η μορφολογία των φύλλων, η μικρή ή μεγάλη φυλλική επιφάνεια σε σχέση με την

ένταση του φωτός ή τη σχετική υγρασία του αέρα; Ποιες οι άμεσες συνέπειες στη φωτοσύνθεση και την παραγωγικότητα των φυτών; Ζητάμε να σχεδιάσουν οι ίδιοι ένα πείραμα για να εξάγουν συμπεράσματα για τα ερωτήματά τους. Συζητάμε για τις προεκτάσεις της μέτρησης της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας σε θέσεις που υπάρχουν καλλιέργειες. Επίσης, για τις πιθανές μελλοντικές συνέπειες της αύξησης της υγρασίας της ατμόσφαιρας λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Συζήτηση

Οι ασκήσεις που προτείνονται στην παρούσα εργασία μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμο εργαλείο στους διδάσκοντες του μαθήματος της Βιολογίας Α΄ Γυμνασίου στην κατανόηση δύσκολων εννοιών για τους μαθητές. Οι έννοιες που παρουσιάζονται αποτελούν αντικείμενο διαφορετικών κεφαλαίων του σχολικού βιβλίου της Α΄ Γυμνασίου. Η φωτοσύνθεση παρουσιάζεται στο 2^ο κεφάλαιο με τίτλο «Πρόσληψη ουσιών και πέψη», ενώ η μεταφορά νερού και η λειτουργία των στομάτων στο 3^ο κεφάλαιο με τίτλο «Μεταφορά και αποβολή ουσιών», χωρίς να συσχετίζονται μεταξύ τους οι διεργασίες αυτές. Οι εργαστηριακές ασκήσεις που προτείνονται επομένως, μπορούν να βοηθήσουν τους μαθητές να συνδυάσουν αυτές τις άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους διεργασίες της διαπνοής, της μεταφοράς νερού μέσω του αγωγού συστήματος των φυτών και της φωτοσύνθεσης και να κατανοήσουν πώς η μία έχει άμεση συνέπεια στην άλλη, αλλά και τους παράγοντες που τις επηρεάζουν. Μπορούν να αποτελέσουν επίσης μέρος εργασίας project στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών για το Γυμνάσιο.

Αναφορές

- Casadebaig, P., Debaeke, P. & J. Lecoeur. (2008). Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *European Journal of Agronomy* 28(4), 646-654.
- Evans, J. R. (2013). Improving Photosynthesis. *Plant Physiology* 162, 1780-1793.
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in Chemistry Education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry Education: Research and Practice*, 5, 247-264.
- Meletiou-Christou, M.-S. & Rhizopoulou, S. (2012). Constraints of photosynthetic performance and water status of four evergreen species co-occurring under field conditions. *Botanical Studies* 53, 325-334.
- Nilson, S. E. & Assmann, S. M. (2007). *Plant Physiology* 143, 19-27.
- Sellin, A., Niglas, A., Ōunapuu-Pikas, E., & Kupper, P. (2014). Rapid and long-term effects of water deficit on gas exchange and hydraulic conductance of silver birch trees grown under varying atmospheric humidity. *BMC Plant Biology* 14:72.
- Tullus, A., Kupper, P., Sellin, A., Parts, L., Sober, J., Tullus, T., Lohmus, Kr., Sober, A. & Tullus, H. (2012). Climate Change at Northern Latitudes: Rising Atmospheric Humidity Decreases Transpiration, N-Uptake and Growth Rate of Hybrid Aspen. *PLoS ONE*, 7 (8), 42648.
- Βαϊνάς, Δ., Βλάσση Μ. & Καραλιώτα Α. (2007). Εφαρμογή της καθοδηγούμενης διερευνητικής μεθόδου κατά τη διδασκαλία μιας εργαστηριακής άσκησης χημείας (αντιδράσεις απλής αντικατάστασης). *Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση*, 5(B), 716-724.
- Κουμαράς, Π. (2015). Η Φυσική δεν είναι μόνο εννοιολογικό περιεχόμενο, είναι επίσης μεθοδολογία λύσης (καθημερινών) προβλημάτων και στάση ζωής. *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, 6, πρόσβαση 15/07/2015. URL: http://physcool.web.auth.gr/images/teyxos_6/Koumaras%2019-28.pdf.

- Μανέτας, Ι., Γραμματικόπουλος, Γ., Πετροπούλου, Γ. & Ψαράς, Γ. (2015). Φυτά και περιβάλλον. Στο *Εργαστηριακές ασκήσεις φυσιολογίας φυτών*. Αθήνα: Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.
- Μαυρικάκη, Ε., Γκούβρα, Μ. & Καμπούρη, Α. (2013α). Μεταφορά και αποβολή ουσιών. Στο *Α΄ Γυμνασίου Βιολογία*. Αθήνα: Ι.Τ.Υ.Ε. «Διόφαντος».
- Μαυρικάκη, Ε., Γκούβρα, Μ. & Καμπούρη, Α. (2013β). Πρόσληψη ουσιών και πέψη. Στο *Α΄ Γυμνασίου Βιολογία*. Αθήνα: Ι.Τ.Υ.Ε. «Διόφαντος».
- Μαυρικάκη, Ε., Γκούβρα, Μ. & Καμπούρη, Α. (2013γ). Άσκηση 5: Η μεταφορά ουσιών στα φυτά. Στο *Βιολογία Α΄ Γυμνασίου Εργαστηριακός Οδηγός*. Αθήνα: Ι.Τ.Υ.Ε. «Διόφαντος».
- Ριζοπούλου, Σ., Γεωργίου, Κ., Θάνος, Κ., Μελετίου-Χρήστου Μ.-Σ., Ρούσσης, Α. (2015). Διαπνοή ανώτερων φυτών. Στο *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσιολογίας Φυτών*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.



Η Μαρία Ξαπλαντέρη είναι Βιολόγος μόνιμη εκπαιδευτικός στο 2ο Γυμνάσιο Καλαμάτας. Έχει PhD στη Βιολογία, MSc στη Βιοχημεία και MSc στις Σπουδές στην Εκπαίδευση. Έχει διδάξει για αρκετά χρόνια ως επιστημονικός συνεργάτης στην Τριτοβάθμια εκπαίδευση (ΤΕΙ Πελοποννήσου και ΕΑΠ) Βιοχημεία και Βιολογία. Έχει δημοσιεύσει περισσότερες από 10 ερευνητικές εργασίες σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά. Τα ενδιαφέροντά της είναι η χρήση του πειράματος και των ΤΠΕ στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστήμων.



Η Μαίρη Κοτσιφάκη είναι Καθηγήτρια Εφαρμογών στο Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων του Τ.Ε.Ι. Πελοποννήσου. Είναι Βιολόγος, πτυχιούχος του Πανεπιστημίου Πατρών και κάτοχος Μεταπτυχιακού Διπλώματος με εξειδίκευση στην Ανατομία και Φυσιολογία Φυτών, από το Midwestern State University των Η.Π.Α. Τα ενδιαφέροντά της αφορούν τη μελέτη των επιπτώσεων και της προσαρμογής των φυτών στα σύγχρονα οικοσυστήματα.

Στα άδυτα της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών - Μία διεπιστημονική προσέγγιση

Στέφανος Γιαγτζόγλου

Στις Φυσικές Επιστήμες (ΦΕ), η αποτελεσματική διδασκαλία της δομικής συγκρότησης και των βασικών αλληλεπιδράσεων της ύλης στους μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης αποτελεί πρόκληση (Herron & Eubanks, 1996; Burewicz & Miranowicz, 2002). Από την επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας προκύπτει ότι το μάθημα της Βιοχημείας αποτελεί δύσκολο αντικείμενο για τους περισσότερους σπουδαστές (Wood, 1990), εν μέρει επειδή βρίθεται από αφηρημένες έννοιες (Orgill & Bodner, 2007), που είναι δύσκολο γι' αυτούς να κατανοήσουν, εάν δεν τις συσχετίσουν με την καθημερινή τους εμπειρία. Επιπλέον, προκειμένου να είναι η μελέτη της Βιοχημείας αποδοτική, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να κάνουν συνδέσεις ανάμεσα στη νέα πληροφορία και την ήδη αποκτηθείσα γνώση (Villafañe et al., 2011).

Φαίνεται, λοιπόν, ότι η υπέρβαση της βασικής αυτής δυσκολίας αποτελεί ζήτημα μείζονος σημασίας, επειδή η κατανόηση των ατομικών και μοριακών φαινομένων, συμπεριλαμβανομένων της αλληλεπίδρασης των αντιδρώντων σωμάτων κατά τη διάρκεια μίας χημικής αντίδρασης, των χημικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων, καθώς και των διαμοριακών δυνάμεων, είναι απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να κατανοηθούν οι βασικές ιδιότητες της ύλης από χημική άποψη. Η αποτελεσματικότητα στη διδασκαλία των ατομικών και μοριακών φαινομένων εξαρτάται από τη διδακτική στρατηγική που θα ακολουθηθεί και τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν, με κριτήρια το επίπεδο αφαίρεσης του μαθησιακού αντικειμένου και την ικανότητα των μαθητών να διαχειρίζονται τις αφηρημένες επιστημονικές έννοιες (Torres & Correia, 2007).

Η απάντηση στην πρόκληση

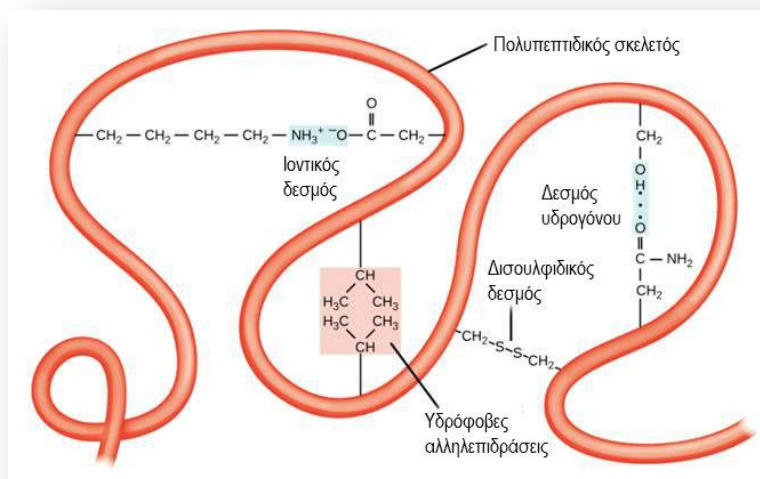
Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η έρευνα στη διδασκαλία των ΦΕ έχει εστιάσει στο γεγονός ότι η διαδικασία της μάθησης χτίζεται στο μυαλό του εκπαιδευόμενου (Bodner, 1986; Minderhout & Loertscher, 2007). Οι ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι η ικανότητα για οικοδόμηση νέων επιστημονικών εννοιών, επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από την προϋπάρχουσα γνώση των

εκπαιδευόμενων (Nakhleh, 1992; Gabel, 1999; Nicoll, 2001; Orgill & Sutherland, 2008). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που η προϋπάρχουσα γνώση είναι ημιτελής, ελάχιστα κατανοητή, ή στερείται σύνδεσης με την καθημερινή εμπειρία, είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι μαθητές δε θα μπορέσουν να κατανοήσουν τη νέα πληροφορία. Συνεπώς, θα δυσκολεύονται κατά την εφαρμογή ή τη μεταφορά της γνώσης τους (Tanner & Allen, 2005; Minderhout & Loertscher, 2007; Anderson & Schönborn, 2008). Αντίθετα, τα στοιχεία που συνηγορούν υπέρ της πραγματικής κατανόησης, περιλαμβάνουν την ικανότητα των μαθητών να ερμηνεύουν μία έννοια, να την εφαρμόζουν σε μία νέα κατάσταση, και να τη μεταφέρουν σε άλλα διδακτικά αντικείμενα (Mayer, 2002; Tanner & Allen, 2005). Για παράδειγμα, η κατανόηση των διαφορετικών επιπέδων της πρωτεϊνικής δομής (πρωτοταγής, δευτεροταγής, τριτοταγής και τεταρτοταγής), καθώς και των διαμοριακών και ενδομοριακών αλληλεπιδράσεων που σταθεροποιούν τις δομές αυτές, θεωρείται ουσιώδες γνωστικό προαπαιτούμενο για τη μαθησιακή διαδικασία στη βιοχημεία. Ως εκ τούτου, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να κατανοήσουν τις βασικές αρχές που διέπουν τις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις, συμπεριλαμβανομένων των δεσμών υδρογόνου, προκειμένου να αντιληφθούν αυτήν την έννοια της βιοχημείας (Villafaña et al., 2011).

Το παράδειγμα της μετουσίωσης των πρωτεϊνών

Η μετουσίωση των πρωτεϊνών αποτελεί μία σημαντική βιοχημική διεργασία που περιλαμβάνει αλλαγές στις φυσικοχημικές ιδιότητες του πρωτεϊνικού μορίου και συνήθως επακόλουθη απώλεια της βιολογικής του ενεργότητας. Συγκεκριμένα, το φαινόμενο συνδέεται με την αποδιάταξη (denaturation) και την πιθανή καταστροφή τόσο της δευτεροταγούς όσο και της τριτοταγούς δομής των πρωτεϊνών. Δεδομένου ότι οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά τη μετουσίωση των πρωτεϊνών δεν είναι τόσο ισχυρές ώστε να προκαλέσουν τη διάσπαση των πεπτιδικών δεσμών, η πρωτοταγής δομή τους παραμένει ανεπηρέαστη μετά το πέρας της διαδικασίας. Η μετουσίωση αποδιατάσσει τη φυσιολογική α -έλικα και τις β -πτυχωτές δομές που απαντώνται σε μία πρωτεΐνη, προκαλώντας έτσι το ξετύλιγμά της σε ένα τυχαίο σχήμα (Voet & Voet, 2004).

Η μετουσίωση οφείλεται στη διάσπαση των χημικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων μη γειτονικών αμινοξέων που είναι υπεύθυνες για τη διατήρηση της δευτεροταγούς (δεσμοί υδρογόνου στα αμίδια) και της τριτοταγούς δομής. Στην περίπτωση της τριτοταγούς δομής, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων των αμινοξέων περιλαμβάνουν: δεσμούς υδρογόνου, ιοντικούς δεσμούς, δισουλφιδικούς δεσμούς, και μη πολικές υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις (Voet & Voet, 2004) (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Χημικές αλληλεπιδράσεις σταθεροποίησης της τριτοταγούς δομής.

Ανάκτηση και προσαρμογή από:

http://devarchive.cnx.org/resources/0971e65ce62845a3f05154f15975cb3cddb6c461/Figure_03_04_08.jpg

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι η μετουσίωση μπορεί να προκληθεί από μία ποικιλία παραγόντων και συνθηκών. Συνήθως, η διαδικασία της μετουσίωσης οδηγεί στην καταβύθιση (precipitation) ή τη συσσωμάτωση (coagulation) της πρωτεΐνης (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Αποδιάταξη και συσσωμάτωση πρωτεΐνης σε μοριακό επίπεδο. Ανάκτηση και προσαρμογή από:

<http://bitesizedbiology.tumblr.com/post/3787483400/protein-egg-regation>

Η διδασκαλία της μετουσίωσης των πρωτεϊνών στην Ελληνική Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Η διδασκαλία της μετουσίωσης των πρωτεϊνών πραγματοποιείται στη Β΄ τάξη Ημερήσιου και Γ΄ τάξη Εσπερινού Λυκείου και περιλαμβάνει: (α) το θεωρητικό μέρος που παρουσιάζεται στην υποενότητα "Πρωτεΐνες: Διαδεδομένες, πολύπλοκες και εύθραυστες" της ενότητας 1.2 Μακρομόρια του σχολικού

εγχειριδίου της Β' τάξης Γενικού Λυκείου (Καψάλης κ.α., 2012), και (β) το πειραματικό μέρος (150658/Δ2/15-09-2016) που περιλαμβάνει μία υποχρεωτική εργαστηριακή άσκηση ή/και εναλλακτικά την παρουσίαση βιντεοσκοπημένων πειραμάτων που εξετάζουν την επίδραση της θερμότητας και των χημικών ουσιών στη μετουσίωση της αλβουμίνης, δομικής πρωτεΐνης που περιέχεται σε μεγάλες ποσότητες στο ασπράδι του αβγού (<http://photodentro.edu.gr/lor/r/8521/6736?locale=el>).

Οι απόψεις των Ελλήνων μαθητών για τη μετουσίωση των πρωτεϊνών

Σύμφωνα με διεθνή βιβλιογραφικά δεδομένα, η προσπάθεια εισαγωγής του φαινομένου της μετουσίωσης των πρωτεϊνών στους μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης παρουσιάζει υψηλό βαθμό δυσκολίας εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων μακροσκοπικών μοντέλων που θα μπορούσαν να προσομοιώσουν τη μοριακή δομή της πρωτεΐνης, καθώς η τελευταία προϋποθέτει υψηλό βαθμό αφαίρεσης (Torres & Correia, 2007). Εξαιτίας της παραπάνω διαπίστωσης, οι μαθητές φέρουν παρανοήσεις ή “λανθασμένες ιδέες”, τις οποίες και διαιωνίζουν στο πλαίσιο του μαθήματος, με αποτέλεσμα αφενός να χρειάζεται να καταβάλλουν υπερπροσπάθεια για να κατανοήσουν το φαινόμενο, αφετέρου να ισχυροποιούν σε επόμενο στάδιο τις λανθασμένες ιδέες τους. Υπό το πρίσμα, λοιπόν, των ανωτέρω συνθηκών, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη εντοπισμού των λανθασμένων ιδεών και η αποτελεσματική αντιμετώπισή τους, κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας (Villafañe et al., 2011).

Στην ελληνική σχολική πραγματικότητα, η διδακτική πράξη έχει αναδείξει αρκετές παρανοήσεις των μαθητών αναφορικά με το φαινόμενο της μετουσίωσης κατά τη διάρκεια τόσο της διαμορφωτικής όσο και της τελικής αξιολόγησης. Οι παρανοήσεις αυτές σχετίζονται με: (α) τη μονοσήμαντη απόδοση της αλλαγής των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της πρωτεΐνης στη διαδικασία της αποδιάταξης, και όχι στη συνεργιστική επίδραση των επιμέρους φαινομένων της μετουσίωσης (αποδιάταξη + συσσωμάτωση), (β) την επιφανειακή απόδοση της μετουσίωσης στις ακραίες τιμές θερμοκρασίας και pH, και όχι στην επίδραση των παραγόντων μετουσίωσης στις χημικές αλληλεπιδράσεις είτε μεταξύ των πλευρικών ομάδων μη γειτονικών αμινοξέων είτε μεταξύ των πλευρικών ομάδων και ατόμων που συμμετέχουν στον πεπτιδικό δεσμό, (γ) την ερμηνεία της μετουσίωσης με βάση τη διάσπαση των πεπτιδικών δεσμών, (δ) την απουσία αναφοράς στις μη ομοιοπολικές αλληλεπιδράσεις (π.χ. δεσμοί υδρογόνου, υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις) που συμμετέχουν στη διαμόρφωση της τρισδιάστατης δομής του πρωτεϊνικού μορίου, (ε) την επέκταση του φαινομένου της μετουσίωσης στα νουκλεϊκά οξέα, (στ) τον περιορισμό της εφαρμογής του φαινομένου σε ορισμένα πρωτόκολλα μαγειρικής, όπως το τηγάνισμα του αβγού, και (ζ) την αρνητική ή/και ουδέτερη θεώρηση του φαινομένου για τον άνθρωπο.

Μία σύντομη ματιά στο σχετικό ψηφιακό υλικό της εκπαιδευτικής πλατφόρμας “Φωτόδεντρο”

Το προτεινόμενο από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής (πράξη 35/2016 του Δ.Σ.) ψηφιακό υλικό “Μετουσίωση Πρωτεϊνών” της εκπαιδευτικής πλατφόρμας “Φωτόδεντρο” (<http://photodentro.edu.gr/lor/r/8521/6736?locale=el>) παρουσιάζει βιντεοσκοπημένα πειράματα επίδειξης της επίδρασης της υψηλής θερμοκρασίας και τριών χημικών ουσιών (ενός οργανικού διαλύτη, ενός ασθενούς και ενός ισχυρού οξέος) στην τρισδιάστατη διαμόρφωση της αλβουμίνης.

Η χρησιμοποίηση του ψηφιακού υλικού στη μαθησιακή διαδικασία συνδέεται με αρκετά πλεονεκτήματα. *Πρώτον*, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να μελετήσουν την επίδραση αρκετών παραγόντων μετουσίωσης στην τρισδιάστατη δομή της πρωτεΐνης, μέσα από πειράματα επίδειξης και σύντομα επεξηγηματικά κείμενα, σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα. *Δεύτερον*, η απαιτούμενη υλικοτεχνική υποδομή για την αξιοποίηση του ψηφιακού υλικού μπορεί να περιλαμβάνει έναν βιντεοπροβολέα και έναν Η/Υ. Έτσι, η παρακολούθηση των πειραμάτων μπορεί να γίνει και εντός της αίθουσας διδασκαλίας και χωρίς να είναι απαραίτητη η ύπαρξη σύνδεσης στο διαδίκτυο, αφού το ψηφιακό υλικό μπορεί να μεταφορτωθεί στον Η/Υ. *Τρίτον*, ο τρόπος παρουσίασης του μαθησιακού αντικειμένου ευνοεί τόσο τη διαμορφωτική αξιολόγηση μέσα από την καταγραφή των παρατηρήσεων των μαθητών όσο και την τελική αξιολόγηση μέσα από τα έξι ερωτήματα πολλαπλής επιλογής και επιλογής σωστού/λάθους. *Τέταρτον*, ο τρόπος παρουσίασης του φαινομένου ευνοεί την ομαδοσυνεργατική μέθοδο διδασκαλίας. *Πέμπτον*, ο εκπαιδευτικός μπορεί να αναθέσει στους μαθητές τη μελέτη του φαινομένου μέσα από την εξέταση του σχετικού ψηφιακού υλικού, προτού εισέλθουν στην τάξη. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές προσέρχονται προετοιμασμένοι κατάλληλα, ενώ διατυπώνουν τις απορίες και τις όποιες παρατηρήσεις τους σε επίπεδο ομάδας αρχικά και σε επίπεδο συζήτησης στην ολομέλεια, αντλώντας έτσι το μέγιστο μαθησιακό όφελος από τη συνολική διαδικασία. *Έκτον*, οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθήσουν τα σχετικά πειράματα επίδειξης όποτε θέλουν και με αριθμό επαναλήψεων που εξαρτάται από το επίπεδο κατανόησής τους.

Ωστόσο, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα που σχετίζονται με το προτεινόμενο ψηφιακό υλικό. *Πρώτον*, τόσο στο έντυπο όσο και στο ψηφιακό υλικό δε γίνεται καμία άμεση επεξηγηματική αναφορά στο φαινόμενο της συσσωμάτωσης (coagulation) των πρωτεϊνών. Η αλλαγή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της πρωτεΐνης ερμηνεύεται αποκλειστικά μέσα από τη χημική ή θερμική αποδιάταξή της. *Δεύτερον*, στην περίπτωση της θερμικής μετουσίωσης δε γίνεται καμία αναφορά στη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου και των υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων εξαιτίας της προσφοράς θερμότητας. Με τον τρόπο αυτό, η παρουσίαση της θερμικής μετουσίωσης περιορίζεται στην απλή καταγραφή παρατηρησιακών δεδομένων και όχι στην ουσιαστική ερμηνεία του φαινομένου σε ατομικό και μοριακό επίπεδο. *Τρίτον*, στην περίπτωση της χημικής μετουσίωσης από οργανικό διαλύτη, η αναφορά στους δεσμούς υδρογόνου είναι συγκεχυμένη, καθώς υπάρχει αναντιστοιχία μεταξύ της προφορικής ερμηνείας και της διαφάνειας επεξήγησης. Στην προφορική παρουσίαση το

φαινόμενο της χημικής αποδιάταξης ερμηνεύεται (προφανώς) μέσα από τη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου των πλευρικών αλυσίδων που προκαλείται από την αιθανόλη, ενώ στην αντίστοιχη διαφάνεια παρουσιάζεται ο σχηματισμός νέων δεσμών υδρογόνου μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων αμινοξέων και της αιθανόλης, που συντελούν στη συσσωμάτωση των πρωτεϊνών. Με άλλα λόγια, ενώ προφορικά παρουσιάζεται η αποδιάταξη, σχηματικά απεικονίζεται η συσσωμάτωση. *Τέταρτον*, η διδακτική προσέγγιση του φαινομένου είναι καθαρά γνωστική συμπεριφοριστική και σε καμία περίπτωση διερευνητική, ακόμη κι όταν πρόκειται για την αναφορά σε εφαρμογές της μετουσίωσης στην καθημερινή ζωή. Ωστόσο, η κατανόηση του φαινομένου προϋποθέτει την ανάπτυξη της ικανότητας των μαθητών αφενός να διατυπώνουν υποθέσεις, τις οποίες να μπορούν στη συνέχεια να υποβάλλουν σε πειραματικό έλεγχο, είτε σε πραγματικές συνθήκες είτε σε συνθήκες προσομοίωσης, αφετέρου να εφαρμόζουν τη νέα γνώση σε μία νέα κατάσταση και να τη μεταφέρουν σε άλλα διδακτικά αντικείμενα. *Πέμπτον*, στο κυρίως μέρος της παρουσίασης δε διευκρινίζεται ότι η μετουσίωση (χημική ή θερμική) αφορά στη διάσπαση μη ομοιοπολικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ μη γειτονικών αμινοξέων. Αυτό ενέχει τον κίνδυνο να θεωρηθεί ότι μεταξύ των αλληλεπιδράσεων που διασπώνται συμπεριλαμβάνονται και οι δεσμοί των γειτονικών αμινοξέων, δηλαδή οι πεπτιδικοί, πράγμα που δεν ισχύει στην περίπτωση της μετουσίωσης. *Έκτον*, η παρουσίαση του φαινομένου υιοθετεί την απλούστευση ότι μετουσιώνεται μόνο η αλβουμίνη του αβγού, ενώ τόσο το ασπράδι όσο και ο κρόκος περιέχουν ποικιλία πρωτεϊνών σε διαφορετική, ωστόσο, περιεκτικότητα.

Το φαινόμενο της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών που περιέχονται στο ασπράδι του αβγού

Τα κύρια δομικά στοιχεία των αβγών είναι το κίτρινο του αβγού ή κρόκος ή λέκιθος (27-32% κ.β.), το λεύκωμα ή λευκό του αβγού ή ασπράδι του αβγού (56-61% κ.β.) και το κέλυφος (8-11% κ.β.). Κύριο συστατικό του ασπραδιού του αβγού είναι το νερό (85-90%). Επίσης, περιέχει πρωτεΐνες κυρίως αλβουμίνες (12%), λίπος (0,25%), τέφρα (0,6%), υδατάνθρακες κυρίως γλυκόζη (0,7%) και μικρές ποσότητες λεκιθίνης, χοληστερόλης, βιταμίνης B₂ και διάφορα ένζυμα, όπως τη λυσοζύμη, η οποία έχει αντιβακτηριακές ιδιότητες (Βουδούρης & Κοντομηνάς, 1999).

Οι πρωτεΐνες που περιέχονται στο ασπράδι του αβγού, κυρίως οι αλβουμίνες, είναι σφαιρικές πρωτεΐνες, πράγμα που σημαίνει ότι η μεγάλου μήκους πολυπεπτιδική αλυσίδα της πρωτεΐνης χρειάζεται να συστραφεί και να αναδιπλωθεί για να αποκτήσει την τελική τρισδιάστατη σφαιρική της μορφή. Η διατήρηση του σφαιρικού σχήματος του πρωτεϊνικού μορίου στο υδατικό περιβάλλον είναι αποτέλεσμα της παρουσίας ασθενών μη ομοιοπολικών αλληλεπιδράσεων, κυρίως δεσμών υδρογόνου και υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων, που αναπτύσσονται μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων μη γειτονικών αμινοξέων (Voet & Voet, 2004).

Η θερμότητα μπορεί να προκαλέσει διάσπαση των δεσμών υδρογόνου και των μη πολικών υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων (θερμική αποδιάταξη). Αυτό συμβαίνει γιατί η προσφορά θερμότητας

αυξάνει την κινητική ενέργεια των ατόμων, ώστε αυτά να ταλαντώνονται ταχύτατα και βίαια, με αποτέλεσμα τη διάσπαση των ασθενών αλληλεπιδράσεων στις οποίες συμμετέχουν. Έχει βρεθεί ότι για κάθε 10 °C αυξάνεται η τάση για μετουσίωση της πρωτεΐνης κατά 600 φορές (Βουδούρης & Κοντομηνάς, 1999).

Καθώς προχωράει η διαδικασία της μετουσίωσης, το πρωτεϊνικό μόριο ξεδιπλώνεται ολοένα και περισσότερο, ώστε οι εσωτερικά τοποθετημένες υδρόφοβες περιοχές να εκτίθενται στο εξωτερικό του μορίου. Οι πεπτιδικοί δεσμοί που εκτίθενται πλέον στο υδατικό περιβάλλον, προσελκύνουν μόρια νερού, καθώς είναι ιδιαίτερα υδρόφιλοι. Έτσι, σε σύντομο χρονικό διάστημα από την αποδιάταξη, μόρια νερού παγιδεύονται κοντά στις πολυπεπτιδικές αλυσίδες. Παράλληλα, κατά το ξεδίπλωμα των πολυπεπτιδικών αλυσίδων, τα υδρόφοβα τμήματά τους εκτίθενται στο υδατικό περιβάλλον, με αποτέλεσμα να έλκονται και να προσεγγίζουν στενά το ένα το άλλο, προκειμένου να δημιουργηθεί μία νέα σταθερή δομή (συσσωμάτωση). Έτσι, τα μόρια των πρωτεϊνών συσσωματώνονται μη αντιστρεπτά σε εκτενή, μη υδατοδιαλυτά τρισδιάστατα πλέγματα που έχουν συγκροτηθεί με εντελώς τυχαίο τρόπο και περιέχουν παγιδευμένα μόρια νερού (Voet & Voet, 2004).

Οι διεργασίες της θερμικής μετουσίωσης (αποδιάταξη + συσσωμάτωση) επιφέρουν αλλαγές στην υφή και το χρώμα των πρωτεϊνών που περιέχονται στο ασπράδι του αυγού, δηλαδή αλλαγές στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες (Voet & Voet, 2004).

Καινοτόμες προσεγγίσεις στη διδασκαλία της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών

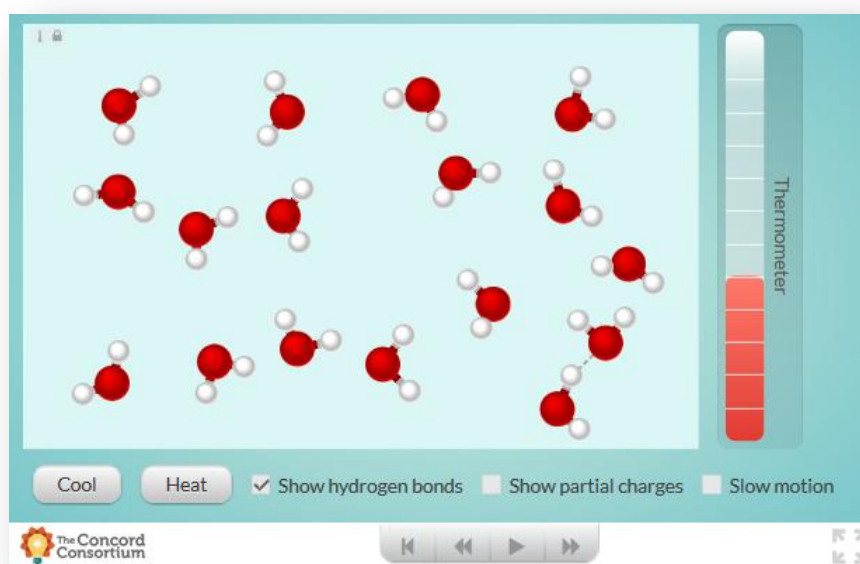
Σε αυτήν την εργαστηριακή άσκηση, θα επιχειρηθεί η εξιχνίαση των βαθύτερων μοριακών αιτιών που ερμηνεύουν την αλλαγή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των πρωτεϊνών που περιέχονται στο ασπράδι του αυγού (Εικόνα 2), μέσα από την εφαρμογή καινοτόμων διδακτικών-παιδαγωγικών προσεγγίσεων, που περιλαμβάνουν: (α) hands-on δραστηριότητα, (β) λογισμικό διαδραστικής προσομοίωσης, (γ) animation, και (δ) μελέτη περίπτωσης.

Hands-on δραστηριότητα: η συγκεκριμένη δραστηριότητα, με ορισμένες τροποποιήσεις ως προς την αρχική της εκδοχή (White, 2006; Γιαγτζόγλου, 2016), προσομοιώνει αφενός τη διαδικασία αναδίπλωσης της πεπτιδικής αλυσίδας, αφετέρου τη θερμική αποδιάταξη της αναδιπλωμένης πρωτεΐνης (Εικόνα 3). Ως προσομοίωση της διαδικασίας αναδίπλωσης της πεπτιδικής αλυσίδας, θα βοηθήσει τους μαθητές να αναγνωρίσουν τις ασθενείς μη ομοιοπολικές αλληλεπιδράσεις (δεσμοί υδρογόνου, υδρόφοβες αλληλεπιδράσεις) που αναπτύσσονται μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων μη γειτονικών αμινοξέων, και που συντελούν στη διαμόρφωση της τρισδιάστατης δομής του πρωτεϊνικού μορίου. Ως προσομοίωση της θερμικής αποδιάταξης της αναδιπλωμένης πρωτεΐνης, θα οδηγήσει τους μαθητές στην ανακάλυψη του βαθύτερου μοριακού αίτιου που οδηγεί στην αποδιάταξη των πρωτεϊνών και αφορά στη διάσπαση των δεσμών υδρογόνου και των υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων από την προσφορά θερμότητας, που αποδίδεται κατάλληλα από το έντονο κούνημα της κατασκευής των μαθητών.



Εικόνα 3. Προσομοίωση ενός επταπεπτιδίου (White, 2006).

Λογισμικό διαδραστικής προσομοίωσης: αποτελεί μέρος της ψηφιακής εκπαιδευτικής πλατφόρμας Molecular Workbench (MW) (Xie et al., 2011). Το MW είναι ένα δωρεάν, ανοικτού κώδικα, πακέτο λογισμικού για τη δημιουργία και την παροχή διαδραστικών επιστημονικών προσομοιώσεων, καθώς και εκπαιδευτικών modules που βασίζονται σε αυτές τις προσομοιώσεις. Οι μαθητές μπορούν να πειραματιστούν με συστήματα ατόμων για να κατανοήσουν μία μεγάλη ποικιλία επιστημονικών εννοιών. Η διαδραστική προσομοίωση “*Hydrogen Bonds: A Special Type of Attraction*” του εκπαιδευτικού module Βιολογίας “*Intermolecular Attractions*” (<http://lab.concord.org/embeddable.html#interactives/sam/intermolecular-attractions/6-hydrogen-bonds-a-special-type-of-attraction.json>) διερευνά το σχηματισμό δεσμών υδρογόνου μεταξύ πολικών μορίων, όπως το νερό (Εικόνα 4). Μέσα από τις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας και την παρατηρούμενη επίδρασή της στην κίνηση των μορίων του νερού, οι μαθητές συσχετίζουν την προσφορά θερμότητας με την αύξηση της κινητικής ενέργειας των μορίων του νερού, που οδηγεί στην επακόλουθη διάσπαση των διαμοριακών δεσμών υδρογόνου.



Εικόνα 4. Το λογισμικό διαδραστικής προσομοίωσης “*Hydrogen Bonds: A Special Type of Attraction*”.

Animation: η δυνατότητα που έχει ως διδακτικό εργαλείο για μοντελοποίηση, οπτικοποίηση και κυρίως προσομοίωση φυσικών φαινομένων και διεργασιών, συντελεί στη δημιουργία ενός ισχυρού περιβάλλοντος μάθησης που παρέχει στο μαθητή την ευκαιρία να παρατηρήσει φαινόμενα και διαδικασίες του μικρόκοσμου, που θα ήταν αδύνατο ή ακόμα και επικίνδυνο να προσεγγίσει στην πραγματικότητα (Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Μ.Π.Ε.-τόμος Γ', 2011). Το animation "Protein Denaturation" του module "Chapter 3: The Chemical Building Blocks of Life" (http://highered.mheducation.com/sites/9834092339/student_view0/chapter3/protein_denaturation.html) εισάγει ομαλά τους μαθητές στο φαινόμενο της συσσωμάτωσης των πρωτεϊνικών μορίων, που συνιστά το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας που οδηγεί στην αλλαγή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων της πρωτεΐνης (υφή, χρώμα) (Εικόνα 5). Το κείμενο του animation έχει μεταφραστεί στην ελληνική γλώσσα και επισυνάπτεται Φύλλο Δραστηριοτήτων (ΦΔ) (βλ. Παράρτημα).



Εικόνα 5. Το animation "Protein Denaturation".

Μελέτη περίπτωσης: η οριστική επιβεβαίωση για την κατανόηση του φαινομένου της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών προϋποθέτει την εφαρμογή της νέας γνώσης σε μία νέα κατάσταση και τη μεταφορά της σε άλλα διδακτικά αντικείμενα (Herron & Eubanks, 1996; Villafañe et al., 2011). Επιπλέον, η θεώρηση βιολογικών φαινομένων και διεργασιών μέσα από τη χημική οπτική, φαίνεται ότι νοσηματοδοτεί τα μαθησιακά αντικείμενα της Χημείας που διδάσκονται στο σχολείο (Aalsvoort, 2004). Συγκεκριμένα, οι μαθητές διερευνούν τον πυρετό μέσα από το πρίσμα της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών, προκειμένου: (α) να ερμηνεύσουν την αποτελεσματικότητά του ως αμυντικού φραγμού έναντι μίας γενικευμένης μικροβιακής μόλυνσης, και (β) την ανάγκη άμεσης καταστολής του για την επαναφορά της ομοιόστασης του οργανισμού.

Γενική περιγραφή της δραστηριότητας

Το προτεινόμενο διδακτικό σενάριο, εκτιμώμενης διάρκειας δύο διδακτικών ωρών, έχει ως πυρήνα ένα ΦΔ που έχει δομηθεί με βάση τη θεωρία της καθοδηγούμενης ανακάλυψης (Hughes & Ellefson, 2013; Beck et al., 2014) σε ένα ενεργό, συμμετοχικό και συνεργατικό περιβάλλον μάθησης (Fernández-Santander, 2008). Το ΦΔ επισυνάπτεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση: https://www.dropbox.com/s/ng57i5fxq6p6ntn/ThermalDenaturationCoagulation_ws.doc?dl=0.

Οι μαθητές επιδιώκεται να διερευνήσουν τη θερμική μετουσίωση των πρωτεϊνών που περιέχονται στο ασπράδι του αυγού μέσα από μία διαδικασία έξι φάσεων.

- Στη Φάση 1 (εκτιμώμενη διάρκεια: 10 λεπτά), ανακοινώνονται οι διδακτικοί στόχοι και οι ομάδες μελετούν το περιεχόμενο της Εισαγωγής (βλ. ΦΔ), που συνιστά το θεωρητικό υπόβαθρο για το φαινόμενο της θερμικής μετουσίωσης.
- Στη Φάση 2 (εκτιμώμενη διάρκεια: 10 λεπτά), οι ομάδες πραγματοποιούν πειραματική παρατήρηση της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών του ασπραδιού του αυγού, και καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους. Στη συνέχεια, κάνουν μία πρώτη απόπειρα ερμηνείας των παρατηρήσεών τους.
- Στη Φάση 3 (εκτιμώμενη διάρκεια: 25 λεπτά), οι ομάδες διερευνούν τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις που αναπτύσσονται μεταξύ των πλευρικών αλυσίδων μη γειτονικών αμινοξέων στο πρωτεϊνικό μόριο μέσα από μία hands-on δραστηριότητα. Διατυπώνουν πρόβλεψη για το αίτιο της διάσπασης των παραπάνω αλληλεπιδράσεων κατά την προσομοίωση της θερμικής αποδιάταξης. Ελέγχουν την πρόβλεψή τους μέσα από τη χρησιμοποίηση λογισμικού διαδραστικής προσομοίωσης που εξετάζει την επίδραση της θερμοκρασίας στη σταθερότητα των διαμοριακών δεσμών υδρογόνου στο νερό.
- Στη Φάση 4 (εκτιμώμενη διάρκεια: 15 λεπτά), οι ομάδες διερευνούν την αλλαγή των φυσικοχημικών ιδιοτήτων (υφή, χρώμα) των αποδιαταγμένων πρωτεϊνών που περιέχονται στο ασπράδι του αυγού. Ελέγχουν την αρχική τους πρόβλεψη (Φάση 1) μέσα από την προσεκτική παρακολούθηση animation που επεξηγεί το φαινόμενο της συσσωμάτωσης.
- Στη Φάση 5 (εκτιμώμενη διάρκεια: 15 λεπτά), οι ομάδες καλούνται, μέσα από την εξέταση μίας μελέτης περίπτωσης, να αναπτύξουν τους πιθανούς μηχανισμούς που ερμηνεύουν την αποτελεσματικότητα του πυρετού ως αμυντικού φραγμού έναντι μίας γενικευμένης μικροβιακής μόλυνσης.
- Στη Φάση 6 (εκτιμώμενη διάρκεια: 15 λεπτά), οι ομάδες επιχειρούν να ερμηνεύσουν μία σειρά από καταστάσεις της καθημερινής ζωής, μέσα από τη γνώση και την κατανόηση που έχουν αποκτήσει για το φαινόμενο της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών.

Αποτελέσματα

Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση, συνολικής διάρκειας δύο διδακτικών ωρών, επτά ομάδες μαθητών (τρία άτομα ανά ομάδα) από τη Β' Λυκείου διερεύνησαν το φαινόμενο της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών που περιέχονται στο ασπράδι του αβγού, μέσα από την εφαρμογή καινοτόμων διδακτικών-παιδαγωγικών προσεγγίσεων. Όλες οι ομάδες περάτωσαν το σύνολο των δραστηριοτήτων μέσα στον προβλεπόμενο χρόνο. Τόσο η διαμορφωτική όσο και η τελική αξιολόγηση κατέδειξαν τον ικανοποιητικό βαθμό επίτευξης των μαθησιακών στόχων.

Οι ομάδες αξιολογήθηκαν ως προς την ορθότητα και την πληρότητα των απαντήσεων που υπέβαλλαν στο ΦΔ (τελική αξιολόγηση). Όλες σχεδόν οι ομάδες κατόρθωσαν να ερμηνεύσουν αναλυτικά τόσο το φαινόμενο της θερμικής αποδιάταξης όσο και αυτό της συσσωμάτωσης των πρωτεϊνών με βάση τις χημικές αλληλεπιδράσεις που περιλαμβάνονται. Επιπλέον, εξήγησαν ικανοποιητικά τους λόγους για τους οποίους ο πυρετός συνιστά αποτελεσματικό αμυντικό φραγμό έναντι μίας γενικευμένης μικροβιακής μόλυνσης. Τέλος, έκαναν σωστή εφαρμογή της νέας γνώσης που απέκτησαν μέσα από την τεκμηριωμένη ερμηνεία εφαρμογών της θερμικής μετουσίωσης στην καθημερινή ζωή (π.χ. φορμάρισμα μαλλιών, αποστείρωση ειδών οικιακής χρήσης και ιατρικού εξοπλισμού, UHT κ.λπ.).

Η διαμορφωτική αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε από τον εκπαιδευτικό μέσα από τη διακριτική παρατήρηση των ομάδων κατά την εκτέλεση της εργαστηριακής άσκησης, έδειξε ότι όλοι οι μαθητές ενεπλάκησαν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία. Ανέπτυξαν ικανότητες διαπροσωπικής επικοινωνίας μέσα από τη διατύπωση επιχειρημάτων, την αποδοχή της διαφορετικής άποψης, τη διαχείριση προβλημάτων και συγκρούσεων στην ομάδα, την αλληλοϋποστήριξη και αλληλοβοήθεια.

Συμπεράσματα

Η εφαρμογή καινοτόμων διδακτικών-παιδαγωγικών προσεγγίσεων στη διδασκαλία της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών λειτούργησε εποικοδομητικά όσο και ευχάριστα για τους μαθητές. Η χρησιμοποίηση των μακροσκοπικών μοντέλων (hands-on δραστηριότητα, λογισμικό διαδραστικής προσομοίωσης, animation) αποτελεί μία ισχυρή διδακτική στρατηγική για την παρουσίαση διεργασιών σε ατομικό και μοριακό επίπεδο. Τα μοντέλα αυτά έχουν τη δυνατότητα να μετατρέψουν τις μικροσκοπικές οντότητες σε ορατά ή/και απτά αντικείμενα, μειώνοντας έτσι το βαθμό αφαίρεσης που απαιτεί η μελέτη φαινομένων, υλικών και διεργασιών των ΦΕ από τους μαθητές της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης. Μία τέτοια εξέλιξη ανοίγει το δρόμο για ενδιαφέρουσες όσο και ουσιαστικές συζητήσεις πάνω στη δομική συγκρότηση και τις βασικές αλληλεπιδράσεις της ύλης μέσα από την εξέταση συγκεκριμένων εμπειριών.

Σε γενικές γραμμές, τα παραπάνω συμπεράσματα συμφωνούν με τα διεθνή βιβλιογραφικά δεδομένα (Torres & Correia, 2007). Η επιλογή των δραστηριοτήτων εκμεταλλεύτηκε το χαμηλό βαθμό αφαίρεσης, που προάγει τη μαθητοκεντρική προσέγγιση της μαθησιακής διαδικασίας. Οι

προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών, λανθασμένες ή/και ελλιπείς, άλλαξαν μέσα από διαδικασίες εμπλουτισμού, διαφοροποίησης εννοιών ή/και μερικής ή ριζικής αναδιοργάνωσης της αρχικής γνώσης, με αποτέλεσμα την εμφάνιση νέας γνώσης (Βλάχος, 2004), συμβατής με την αποδεκτή μέχρι τώρα επιστημονική ερμηνεία των φαινομένων της θερμικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών.

Ως επέκταση της παραπάνω εργαστηριακής άσκησης θα μπορούσε να δοθεί η διερεύνηση της χημικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών που περιέχονται στο ασπράδι του αβγού με τη χρησιμοποίηση απόλυτης αιθανόλης, ενός οργανικού διαλύτη. Στο συγκεκριμένο project, το παραδοτέο κάθε ομάδας πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής μέρη: (α) πρωτόκολλο εκτέλεσης του πειράματος, (β) καταγραφή παρατηρήσεων, (γ) ερμηνεία των φαινομένων με βάση τις χημικές αλληλεπιδράσεις που περιλαμβάνονται, (δ) σύγκριση με τη θερμική μετουσίωση σε επίπεδο παρατηρησιακών δεδομένων και ερμηνειών σε ατομικό και μοριακό επίπεδο, και (ε) παρουσίαση εφαρμογών της χημικής μετουσίωσης των πρωτεϊνών με απόλυτη αιθανόλη στην καθημερινή ζωή.

Τέλος, η συγκεκριμένη εργαστηριακή άσκηση μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ομαλή εισαγωγή των μαθητών στη διδασκαλία: (α) της επίδρασης της θερμοκρασίας στη δράση των ενζύμων στην υποενότητα "Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων" της ενότητας 3.2 Ένζυμα - Βιολογικοί καταλύτες, και (β) των υδρόφοβων αλληλεπιδράσεων στην υποενότητα "Λιπίδια" της ενότητας 1.2 Μακρομόρια του σχολικού εγχειριδίου της Β΄ τάξης Γενικού Λυκείου (Καψάλης κ.α., 2012).

Αναφορές

- Aalsvoort, J. V. (2004). Logical positivism as a tool to analyse the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education. *International Journal of Science Education*, 26(9), 1151-1168.
- Anderson, T., & Schönborn, K. (2008). Bridging the educational research-teaching practice gap: Conceptual understanding, part 1: The multifaceted nature of expert knowledge. *Biochem Mol Biol Educ*, 36(4), 309-15.
- Beck, C., Butler, A., & Burke da Silva, K. (2014). Promoting Inquiry-Based Teaching in Laboratory Courses: Are We Meeting the Grade?, *CBE Life Sciences Education*, 13(3), 444-452.
- Bodner, G. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *J Chem Educ*, 63, 873-879.
- Burewicz, A., & Miranowicz, N. (2002). Categorization of visualization tools in aspects of chemical research and education. *International Journal of Quantum Chemistry*, 88(5), 549-563.
- Fernández-Santander, A. (2008). Cooperative learning combined with short periods of lecturing: A good alternative in teaching biochemistry. *Biochem Mol Biol Educ*, 36(1), 34-8.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. *J Chem Educ*, 76, 548-554.
- Herron, J. D., & Eubanks, I. D. (1996). *The chemistry classroom: Formulas for successful teaching*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Hughes, P., & Ellefson, M. (2013). Inquiry-based training improves teaching effectiveness of biology teaching assistants. *PLoS ONE*, 8(10), e78540.
- Mayer, R. (2002). Rote versus meaningful learning. *Theory Pract*, 41, 226-232.
- Minderhout, V., & Loertscher, J. (2007). Minderhout V, Loertscher J. Lecture-free biochemistry: A Process Oriented Guided Inquiry Approach. *Biochem Mol Biol Educ*, 35(3), 172-80.
- Nakhleh, M. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *J Chem Educ*, 69, 191-196.

- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *Int J Sci Educ*, 23, 707-730.
- Orgill, M., & Bodner, G. (2007). Locks and keys: An analysis of biochemistry students' use of analogies. *Biochem Mol Biol Educ*, 35(4), 244-54.
- Orgill, M., & Sutherland, A. (2008). Undergraduate chemistry students' perceptions of and misconceptions about buffers and buffer problems. *Chem Educ Res Pract*, 9, 131-143.
- Tanner, K., & Allen, D. (2005). Approaches to biology teaching and learning: understanding the wrong answers--teaching toward conceptual change. *Cell Biol Educ*, 4 (2), 112-7.
- Torres, B.B., & Correia, P.R. (2007). Using Denatured Egg White as a Macroscopic Model for Teaching Protein Structure and Introducing Protein Synthesis for High School Students. *J. Chem. Educ. Journal of Chemical Education*, 84(12), 1941.
- Villafañe, S., Bailey, C., Loertscher, J., Minderhout, V., & Lewis, J. (2011). Development and analysis of an instrument to assess student understanding of foundational concepts before biochemistry coursework. *Biochem Mol Biol Educ*, 39(2), 102-9.
- Voet, D., & Voet, J. G. (2004). *Biochemistry*. Hoboken, NJ: J. Wiley & Sons.
- White, B. (2006). A simple and effective protein folding activity suitable for large lectures. *CBE Life Sci Educ*, 5(3), 264-9.
- Wood, E. (1990). Biochemistry is a difficult subject for both student and teacher. *Biochem Educ*, 18, 170-172.
- Xie, C., Tinker, R., Tinker, B., Pallant, A., Damelin, D., & Berenfeld, B. (2011). Computational Experiments for Science Education. *Science*, 332(6037), 1516-1517.
- Βλάχος, Ι. Α. (2004). Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες. Η πρόταση της Εποικοδόμησης. Αθήνα: Εκδόσεις Γρηγόρη.
- Βουδούρης, Ε. Κ., Κοντομηνάς, Μ. Γ. (1999). ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ. Αθήνα: ΟΕΔΒ.
- Γιαγτζόγλου, Σ. (2016). Μια επίδειξη της αναδίπλωσης των πρωτεϊνών. Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες, 11, 65-73
<http://physcool.web.auth.gr/>
- Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι., Περάκη, Β., & Σαλαμαστράκης, Σ. (2012). Βιολογία Β' τάξης Γενικού Λυκείου Γενικής Παιδείας. Αθήνα: ΙΤΥΕ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ».
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο. (2011). Μείζον Πρόγραμμα Επιμόρφωσης Εκπαιδευτικών - Βασικό Εκπαιδευτικό Υλικό (Τόμος Γ').



Ο Στέφανος Γιαγτζόγλου έχει σπουδάσει Βιολογία στο Πανεπιστήμιο Αθηνών και έχει Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης στις Φυσικές Επιστήμες. Από το 2007 εργάζεται στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση και από το 2012 είναι εκπαιδευτικός στο ΓΕΛ Ν. Χαλκηδόνας. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα σχετίζονται με τη διεπιστημονική προσέγγιση φαινομένων των Φυσικών Επιστημών και τη διδασκαλία εννοιών των βιοεπιστημών μέσα από τη συνδυασμένη χρήση καινοτόμων παιδαγωγικών-διδακτικών προσεγγίσεων και ψηφιακών εργαλείων.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

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.

Συνθήκες έλλειψης βαρύτητας στην τάξη

Παρασκευή Τσακμάκη

Η γνωστική σύγκρουση, η οποία θεωρείται ότι συμβαίνει όταν ένα πείραμα αντίκειται στη διαίσθηση του μαθητευόμενου ή όταν ασύμβατες μεταξύ τους ιδέες αναδύονται κατά την πραγμάτευση μίας κατάστασης, φαίνεται να έχει κεντρικό ρόλο στη μάθηση καθώς μπορεί να αξιοποιηθεί για να επιφέρει ό,τι αποκαλείται εννοιολογική αλλαγή. Έτσι, συχνά επιλέγεται ως αφετηρία της διδασκαλίας.

Το πιο διαδεδομένο και αποδεκτό μοντέλο εννοιολογικής αλλαγής προτάθηκε από τους Posner et al. (1982) και επεκτάθηκε από άλλους ερευνητές (Hewson & Hewson 1984, 1992). Το βασικό στοιχείο αυτού του μοντέλου είναι η αναδιοργάνωση των υπάρχουσών ιδεών των μαθητών σε αντίθεση με την επαύξηση, την εναρμόνιση (Βοσνιάδου και Brewer 1988). Η αλλαγή υποτίθεται ότι συμβαίνει όταν ένας μαθητής δυσαρεστείται με μία αρχική του άποψη και του παρέχεται μία νέα ιδέα-έννοια που μοιάζει ικανή να αντικαταστήσει την παλαιά. Οι συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται από τη νέα ιδέα είναι να είναι κατανοητή, προφανής και αποτελεσματική. Αυτό σημαίνει ότι το νόημά της είναι αντιληπτό από τον εκπαιδευόμενο, ο οποίος θεωρεί αυτή την έννοια πιστευτή και φέρουσα διάφορα πλεονεκτήματα: δίνει λύσεις σε διάφορα προβλήματα ή/και προκαλεί νέα ερωτήματα.

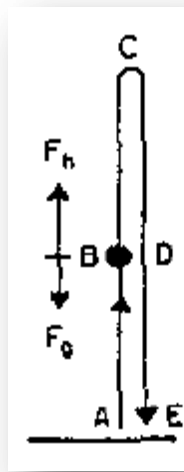
Στο άρθρο αυτό παρουσιάζεται ένα κρίσιμο πείραμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον εκπαιδευτικό για να εισάγει την έννοια της ελεύθερης πτώσης και να κάνει έναν ξεκάθαρο διαχωρισμό των δυνάμεων που ασκούνται στο νερό κατά την κίνησή του. Επίσης, το πείραμα αυτό δίνει τη δυνατότητα επίδειξης των συνθηκών έλλειψης βαρύτητας με έναν εντυπωσιακό και αδιαμφισβήτητο τρόπο. Όπως όλα τα κρίσιμα πειράματα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί έχοντας υπόψη ότι η γνωστική σύγκρουση που επιχειρείται να δημιουργήσει, είναι αναγκαία συνθήκη για την εννοιολογική αλλαγή ωστόσο όμως δεν είναι κατ' ανάγκη και ικανή.

Το πείραμα

Ένα δημοφιλές πρόβλημα, που φαίνεται ότι πρωτοδιατυπώθηκε από τον Clement (1982), και έκτοτε έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς σε πολλές έρευνες, είναι το εξής:

«Ένα νόμισμα πετιέται κατακόρυφα προς τα πάνω στον αέρα από το σημείο A και πιάνεται ξανά στο σημείο E. Στην τελεία που βρίσκεται στα αριστερά του σχεδίου να σχεδιάσεις ένα ή περισσότερα βέλη που δείχνουν την κατεύθυνση της κάθε δύναμης που ασκείται στο νόμισμα όταν βρίσκεται στο σημείο B. (Σχεδίασε μεγαλύτερα βέλη για μεγαλύτερες δυνάμεις.)»

Στην Εικόνα 1 φαίνεται μία συνηθισμένη λανθασμένη απάντηση μαθητή, όπως δίνεται από τον Clement (1982).



Εικόνα 1. Τυπική λανθασμένη απάντηση μαθητή.

Ο ερευνητής (I) παραθέτει το εξής απόσπασμα συνέντευξης ενός μαθητή (S1) για να φωτίσει τον τρόπο σκέψης όσων απαντούν όπως στην Εικόνα 1:

S1: Έτσι υπάρχει μία δύναμη προς τα πάνω και υπάρχει η δύναμη της βαρύτητας που το σπρώχνει κάτω. Και η βαρύτητα είναι μικρότερη επειδή το νόμισμα πηγαίνει ακόμη προς τα πάνω μέχρι να φτάσει στο σημείο C [σχεδιάζει ένα βέλος προς τα πάνω με τίτλο «δύναμη της ρίψης» και ένα μικρότερο βέλος προς τα κάτω με τίτλο «βαρύτητα» στο σημείο B] ...αν η τελεία πάει πάνω η δύναμη της ρίψης θα γίνεται όλο και μικρότερη επειδή η βαρύτητα το σπρώχνει προς τα κάτω, σπρώχνει κάτω.

I: Εντάξει. Τι συμβαίνει με το μήκος αυτού του βέλους («δύναμη της ρίψης»). Αν χρησιμοποιούμε αυτό για να αναπαραστήσουμε πόσο ισχυρή είναι η δύναμη, θα είναι ισχυρότερη από τη βαρύτητα στο σημείο B;

S1: Ναι, επειδή το νόμισμα εξακολουθεί να πηγαίνει πάνω, έτσι η δύναμη της ρίψης εξακολουθεί να ξεπερνάει τη δύναμη της βαρύτητας που θέλει να το κάνει να πάει κάτω.

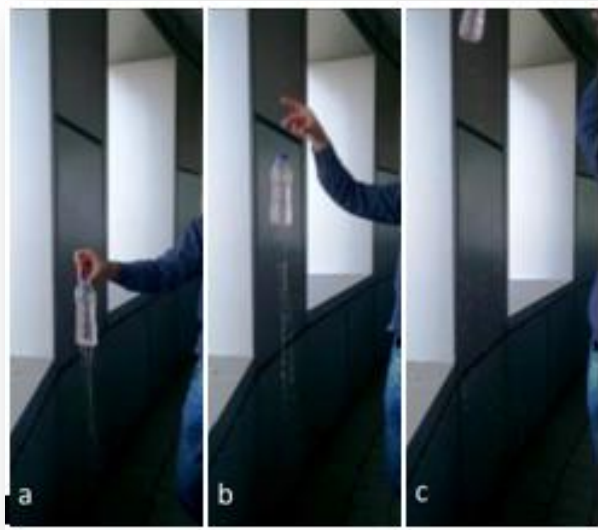
Όπως προκύπτει οι μαθητές δυσκολεύονται να συνειδητοποιήσουν ότι, αγνοώντας την αντίσταση του αέρα, η μόνη δύναμη που ασκείται στο νόμισμα είναι το βάρος του: στην πραγματικότητα το νόμισμα εκτελεί ελεύθερη πτώση (κίνηση με αρχική ταχύτητα υπό την επίδραση μόνο του βάρους του) ενώ κινείται προς τα πάνω!

Ένα ευφρές πείραμα που επιδεικνύει αυτή την κατάσταση είναι το παρακάτω (Corona, Slisko and Planinsic, 2006; Tsakmaki & Koumaras, in press):

Παίρνουμε ένα πλαστικό μπουκάλι νερού των 500 ml και με ένα ζεστό καρφί τρυπάμε τον πάτο του και το καπάκι του. Το μπουκάλι γεμίζεται με νερό, το καπάκι του βιδώνεται και για να αποφύγουμε τη διαρροή του νερού τοποθετούμε το δάκτυλό μας καλύπτοντας την τρύπα στο καπάκι. Ελευθερώνοντας την τρύπα στο καπάκι επιδεικνύουμε στους μαθητές τη διαρροή του νερού από τον πάτο του μπουκαλιού. Ενώ το μπουκάλι διατηρείται ακίνητο οι μαθητές, όταν ρωτούνται, θεωρούν ότι η διαρροή του νερού που παρατηρούν είναι το προσανατολισμένο αποτέλεσμα (Τσακμάκη, 2017, σσ. 52-54) της δράσης του βάρους του νερού: υπάρχει μία αιτία (το βάρος του νερού) που κατευθύνεται προς τα κάτω και το αποτέλεσμα είναι η επίσης προς τα κάτω διαρροή του νερού. Ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν πώς θα επηρεαστεί η ροή του νερού αν αφήσουμε το μπουκάλι να εκτελέσει ελεύθερη πτώση. Συνήθως οι μαθητές προβλέπουν σωστά ότι η διαρροή του νερού θα σταματήσει κατά την ελεύθερη πτώση. Οι περισσότεροι από αυτούς δικαιολογούν την άποψή τους ισχυριζόμενοι ότι τόσο το νερό όσο και το μπουκάλι κινούνται προς τα κάτω με τον ίδιο τρόπο οπότε το νερό δεν προλαβαίνει να βγει έξω.

Ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν τι θα συμβεί αν αυτός που κρατάει το μπουκάλι με το νερό, ενώ το νερό ρέει από τον πάτο του, αντί να το αφήσει να πέσει το πετάξει κατακόρυφα προς τα πάνω. Τι θα συμβεί τότε με τη ροή του νερού; Θα σταματήσει, θα είναι περισσότερο ή λιγότερο έντονη σε σχέση με τη ροή όταν το μπουκάλι κρατιέται ακίνητο; Ο συλλογισμός των μαθητών συχνά βασίζεται σε ενδεχόμενες εμπειρίες τους (Corona, Slisko and Planinsic, 2006): «Όταν ένα άτομο είναι μέσα σε έναν ανελκυστήρα που ξεκινά κινείται προς τα πάνω, τότε αισθάνεται ότι είναι βαρύτερο. Συνεπώς, όταν θα είναι “βαρύτερο”, το νερό θα ρέει έξω από το μπουκάλι με μεγαλύτερη ταχύτητα.» Οι μαθητές δηλαδή, αλλά και συνάδελφοι εκπαιδευτικοί, προβλέπουν ότι το νερό θα εξέρχεται από τον πάτο του μπουκαλιού κινούμενο και μάλιστα με μεγαλύτερη ταχύτητα από ό,τι όταν απλά κρατάμε το μπουκάλι επειδή το νερό τείνει να κινηθεί προς τα κάτω ενώ το μπουκάλι προς τα πάνω.

Πραγματοποιώντας, ωστόσο, το πείραμα (Εικόνα 2) αποδεικνύεται ότι η ροή του νερού σταματά τόσο κατά την άνοδο όσο και κατά την κάθοδο του μπουκαλιού! Αφού το μπουκάλι με το νερό φύγει από το χέρι μας η μόνη δύναμη που ασκείται στο σύστημα μπουκάλι-νερό είναι το βάρος του και επομένως η κίνησή του είναι ελεύθερη πτώση. Όπως οι αστροναύτες στο Διεθνή Διαστημικό Σταθμό (ΔΔΣ) το νερό στο μπουκάλι είναι σε συνθήκες έλλειψης βαρύτητας (ας σημειωθεί ότι η επιτάχυνση της βαρύτητας στο ύψος που κινείται ο ΔΔΣ είναι περίπου το 90% αυτής στην επιφάνεια της Γης). Και «απουσία» βαρύτητας δεν υπάρχει ροή του νερού.



Εικόνα 2. (a) Ελευθερώνοντας την τρύπα στο καπάκι το νερό διαρρέει από το μπουκάλι (b) Καθώς το μπουκάλι εκτοξεύεται προς τα πάνω η διαρροή του νερού σταματά (c) Δεν υπάρχει διαρροή νερού κατά την άνοδο και την κάθοδο του μπουκαλιού.

Αναφορές

- Clement, J. (1982). Student's preconception in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Corona, A. Slisko, J. & Planinsic, G. (2006). Freely rising bottle of water also demonstrates weightlessness, *Physics Education*, 41(3), 208-209.
- Hewson, P.W. & Hewson, M.G. (1984). The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13, 1-13.
- Hewson, P.W. & Hewson, M.G. (1992). The status of students conceptions. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niederer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies, Proceedings of an international workshop* (59-73), Kiel, Germany: Leibniz Institute for Science Education.
- Posner, C. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.
- Tsakmaki, P. & Koumaras, P. (in press, March 2017). When things don't fall: the counter-intuitive physics of balanced forces. *Science in School*.
- Βοσνιάδου, Σ. & Brewer, W. F. (1988). Θεωρίες της αναδιοργάνωσης της γνώσης κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης. *Σύγχρονη Εκπαίδευση*, 39, 35-45.
- Τσακμάκη, Π. (2017). Αναζήτηση "νόμων", στο πλαίσιο της αιτιότητας, στις απόψεις των μαθητών/τριών για την πρόβλεψη και ερμηνεία φαινομένων και διδακτική αξιοποίησή τους στη διδασκαλία της Φυσικής. ΑΠΘ, Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Διαθέσιμη στο: <http://ikee.lib.auth.gr/record/287829>.



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 και τη διδακτορική της διατριβή στο ΠΤΔΕ του ΑΠΘ. Εργάζεται στη Δημόσια Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Τα ενδιαφέροντά της εντοπίζονται κυρίως στην εργαστηριακή διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών.

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

5ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία»

Η Ελληνική Επιστημονική Ένωση τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση (ΕΤΠΕ) διοργανώνει το 5ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριό της με σκοπό τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών κοινοτήτων που δραστηριοποιούνται ενεργά στην σχεδίαση, ανάπτυξη και αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) στην Εκπαίδευση και τη Μάθηση.

Το Συνέδριο θα πραγματοποιηθεί στην Αθήνα 21-27 Απριλίου 2017.

Δικτυακός τόπος του Συνεδρίου:

<http://etpe2017.aspete.gr/>.

9ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΤΠΕ Σύρου

Η Ελληνική Ένωση για την αξιοποίηση των ΤΠΕ στην Εκπαίδευση e-Δίκτυο-ΤΠΕ-Ε, η Πανελλήνια Ένωση εκπαιδευτικών για τις Φυσικές Επιστήμες «Μιχάλης Δερτούζος», το Πανεπιστήμιο Αιγαίου (Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Σύρος), ο Σύλλογος Επιμορφωτών για την αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση, ΣΕΠ - ΤΠΕ@Ε, και η Πανελλήνια Επιστημονική Ένωση Νηπιαγωγών για την Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών,

Π.Ε.Ε.Ν.Α@ΤΠΕ, διοργανώνουν το 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΤΠΕ.

Το Συνέδριο θα πραγματοποιηθεί 28-30 Απριλίου 2017 στη Σύρο.

Δικτυακός τόπος του Συνεδρίου: <http://e-diktyo.eu>.

3ο Διεθνές Συνέδριο για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας

Η Επιστημονική Ένωση για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας (Ε.Ε.Π.Ε.Κ.) σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Παιδαγωγικό Τμήμα Π.Ε., Τμήμα Βιοχημείας & Βιοτεχνολογίας), το Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας (Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων και Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ) και το Σύλλογο καθηγητών Αγγλικής Γλώσσας και Φιλολογίας Ν. Λάρισας, διοργανώνουν το 3ο Διεθνές Συνέδριο για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας.

Σκοπός του είναι να προωθήσει το γόνιμο και δημιουργικό διάλογο μέσα στην εκπαιδευτική κοινότητα καθώς και να θέσει τις βάσεις ευρύτερων προβληματισμών αναφορικά με την υιοθέτηση οποιασδήποτε μορφής εκπαιδευτικής καινοτομίας που έχει σχέση, είτε με τη διδασκαλία και τη μάθηση σε όλες τις εκπαιδευτικές βαθμίδες, είτε με κάθε άλλη πτυχή της εκπαιδευτικής διαδικασίας και της σχολικής ζωής.

Το Συνέδριο θα πραγματοποιηθεί 13-15 Οκτωβρίου 2017 Στη Λάρισα.

Δικτυακός τόπος του Συνεδρίου: <http://synedrio.eepep.gr/>.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή



Στο εξώφυλλο του 13ου τεύχους δημοσιεύτηκε η φωτογραφία που έχει ληφθεί από τον κ. Παναγιώτη Κουμαρά. Ο δρόμος είναι χιονισμένος και παγωμένος ωστόσο η περιοχή πάνω από τη σχάρα είναι καθαρή: το χιόνι έχει λιώσει. Γιατί συμβαίνει αυτό; Πώς μπορεί να αξιοποιηθεί στη διδακτική πράξη;

Μεταξύ των απαντήσεων που λάβαμε υπήρξε και η απάντηση του κ. Βαγγέλη Κουντούρη:

«Η σκάρα είναι κατασκευασμένη από κράμα σιδήρου το οποίο είναι καλός αγωγός της θερμότητας, πολύ καλύτερος από το είδος μπετόν που είναι κατασκευασμένη η επιφάνεια του δρόμου, το οποίο είναι κακός αγωγός της θερμότητας (η θερμική αγωγιμότητα του σιδήρου είναι, περίπου, 60 φορές μεγαλύτερη από τη θερμική αγωγιμότητα του μπετόν) με συνέπεια, για ίδια επιφάνεια επαφής, το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται στο χιόνι και πάγο από τη σκάρα να είναι μεγαλύτερο από την αντίστοιχη από τον δρόμο, άρα εκεί η μετατροπή του χιονιού και πάγου σε νερό και η εν συνεχεία εξάτμισή του να γίνεται συντομότερα (το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο, αν το έδαφος έχει κάποια κλίση, οπότε το νερό που προκύπτει νερό από τη σκάρα συμπαρασύροντας και ποσότητες χιονιού και πάγου).

Το όλο φαινόμενο μπορεί να αξιοποιηθεί στη διδακτική-πειραματική πράξη στην περιοχή του κεφαλαίου της Θερμότητας και ειδικότερα στις ενότητες της διάδοσης θερμότητας και των αλλαγών φάσης, με πολλούς τρόπους, αναφέρω δύο:

α. μια χιονισμένη μέρα βγάζουμε τους μαθητές στο προαύλιο του Σχολείου και τους ζητάμε να παρατηρήσουν την εικόνα του χιονιού πάνω από πλακάκια και μεταλλικά αντικείμενα, να την περιγράψουν, να την σχεδιάσουν πρόχειρα και να την ερμηνεύσουν

β. μια τυχαία μέρα φέρνουμε μέσα στην τάξη δύο μικρές ράβδους, μία από μέταλλο και μία από πλαστικό (όλα τα σχολικά εργαστήρια διαθέτουν τέτοιες ράβδους), που έχουμε μεριμνήσει να βρίσκονται από την προηγούμενη μέρα στην κατάψυξη του ψυγείου του σχολείου, και ζητάμε από τους μαθητές να πιάσουν ταυτόχρονα, και για λίγο, τις δύο ράβδους, μία με κάθε χέρι, να περιγράψουν τη διαδικασία, να την σχεδιάσουν πρόχειρα και να ερμηνεύσουν τη διαφορά ερεθίσματος των χεριών τους.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

Ευρετήριο συγγραφέων (Τεύχος 12, Σεπτέμβριος 2016 – Τεύχος 14 Μάρτιος 2017)

Γιατζόγλου, Σ., 12ο, 53-60 & 13ο, 65-72 & 14ο, 55-67

Ευσταθίου, Α., 12ο, 41-52

Κουμαράς, Π., 12ο, 7-15 & 13ο, 73-75 & 14ο 5-15

Νούσης, Β., 12ο, 29-30 & 13ο, 41-52 & 14ο, 25-36

Πάλλας, Α., 12ο, 17-27 & 13ο, 29-40

Σφαέλος, Ι., 12ο, 41-52

Χατζηγεωργίου, Μ., 12ο, 61-71

Κανδεράκης, Ν., 13ο, 21-27

Πετρίδης, Π., 13ο, 53-64

Τσέτσος, Σ., 13ο, 7-19

Κοτσιφάκη, Μ., 14ο, 45-54

Ξαπλαντέρη, Μ., 14ο, 45-54

Πιερράτος, Θ., 14ο, 17-23

Σπανός, Σ., 14ο, 37-44

Τσακμάκη, Π. 14ο, 69-72

