

Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση



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

Η φωτογραφία του τρέχοντος εξωφύλλου, έχει ληφθεί από τον κ. Χαρίτωνα Πολάτογλου, αναπληρωτή καθηγητή στο Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ., στη Βαρσοβία. Τέσσερις πίδακες νερού ξεκινούν από διαφορετικά σημεία, έχουν την ίδια γωνία εκτόξευσης, φτάνουν σε διαφορετικό ύψος και καταλήγουν, λίγο πολύ, στο ίδιο σημείο. Τι μπορούμε να πούμε για τις ταχύτητες εκτόξευσης του νερού από τα τέσσερα διαφορετικά σημεία; Πώς σχετίζονται; Μπορείτε να προτείνετε έναν τρόπο διδακτικής αξιοποίησης της φωτογραφίας μέσα στην τάξη;

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

Δείτε την ερμηνεία για τη φωτογραφία του 6^{ου} τεύχους στις σελίδες 97-99.

Editorial	4
Για το περιοδικό	5-6
Συνέδριο 2016	7-8
Διαχρονικά και κλασικά	
Προλογικό σημείωμα της επιμελήτριας, <i>Π. Τσακμάκη</i>	9-10
Η ύλη διασκορπίζεται, η ενέργεια υποβαθμίζεται. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής αποτελεί κοινή εμπειρία, <i>K. Ross</i>	11-21
Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες	
Τι είναι η φύση της επιστήμης και γιατί οι μαθητές πρέπει να μαθαίνουν γι' αυτήν <i>N. Κανδεράκης</i>	23-31
Η ηθική διάσταση στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, <i>Σ. Χατζίκου, I.N. Μαρκόπουλος</i>	33-40
Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Δημοτικό	
«Move forward»: Από τα παιχνίδια του παππού ...στα παιχνίδια του εγγονιού <i>Οδ. Κνάβας, Δ. Τσίντζας</i>	41-47
Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο	
Το «Μοντέλο Μεταφοράς Ενέργειας»: μία πρόταση για τη διδασκαλία της έννοιας ενέργεια <i>Αν. Πάλλας, Ελ. Σταυρίδου</i>	49-58
Τι διδάσκουμε για την έννοια πίεση; Πώς, τότε και γιατί εισήχθη η έννοια πίεση στη Φυσική; <i>Π. Κουμαράς</i>	59-68
Μέσα στην τάξη	
Ένα διερευνητικό μοντέλο για τη μελέτη της ώσμωσης και της διάχυσης ουσιών δια μέσου βιολογικών μεμβρανών, <i>Γ. Δομουχτσίδου</i>	69-80
Παίζοντας με τις Φυσικές Επιστήμες: όταν οι μαθητές καλούνται να αντιμετωπίσουν προβλήματα προσανατολισμένης διερεύνησης, <i>Α. Γκιγκούδη, Αθ. Καρούτης, Θ. Πιερράτος, Μ. Τσακίρη</i>	81-93
Πρόκειται να συμβούν	95
Γράψατε για το εξώφυλλο	97-99
Ευρετήριο συγγραφέων	100-101

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. Εύσσμου
Πολάτογλου Χαρίτων, Αν. καθηγητής Τμ. Φυσικής του Α.Π.Θ.

Διαχείριση δικτυακού τόπου

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

Συντακτική ομάδα

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

Επιμέλεια Εξώφυλλου

Μαΐδου Ανθούλα, Εκπ/κος Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

Επιστημονική Επιτροπή

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

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

Editorial – Ιούνιος 2015

Αδιαμφισβήτητα, η έννοια ενέργεια αποτελεί μία κεντρικής σημασίας έννοια με κορμό την οποία έχει επιχειρηθεί ακόμη και η δημιουργία προγραμμάτων Φυσικών Επιστημών σε κάποιες χώρες. Ωστόσο, οι διαφορετικές, και πολλές φορές αντίθετες, απόψεις που διατυπώνονται διεθνώς δεν έχουν ακόμη οδηγήσει σε συμφωνία σχετικά με τους στόχους και το περιεχόμενο της διδασκαλίας της έννοιας αυτής. Πράγματι, στο 5ο τεύχος του περιοδικού *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση* υποστηρίχθηκε ότι το μεγαλύτερο μέρος τις βιβλιογραφίας, που αφορά στα βιβλία διδακτικής και στα ειδικά περιοδικά του χώρου, σχετικά με τη διδασκαλία και τη μάθηση της έννοιας ενέργεια, σε αντίθεση με όλες τις άλλες έννοιες, είναι αφιερωμένο στο τι πρέπει να διδάσκεται και ποια πρέπει να είναι η γλώσσα που οι εκπαιδευτικοί και τα βιβλία πρέπει να χρησιμοποιούν στη διδασκαλία της ενέργειας.

Στο τρέχον τεύχος, πέρα από τις πολύ ενδιαφέρουσες και στοχευμένες εργασίες που αφορούν τη διαχείριση μέσα στην τάξη συγκεκριμένων διδακτικών ενοτήτων, περιλαμβάνονται τρεις εργασίες, ένα μικρό αφιέρωμα, που αφορούν τη διδασκαλία της έννοιας ενέργεια. Η πρώτη, με τίτλο «*Η ύλη διασκορπίζεται, η ενέργεια υποβαθμίζεται. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής αποτελεί κοινή εμπειρία*», η οποία αποτελεί μετάφραση εργασίας που δημοσιεύεται με σχετική άδεια του περιοδικού *School Science Review*, και η

δεύτερη, με τίτλο «*Μοντέλο Μεταφοράς Ενέργειας: μία πρόταση για τη διδασκαλία της έννοιας ενέργεια*», παρά τις μεταξύ τους διαφορές, προτείνουν την εισαγωγή του 2ου νόμου της θερμοδυναμικής ταυτόχρονα ή και νωρίτερα ακόμη από τον 1ο νόμο, που στις συνήθεις διδακτικές σειρές κυριαρχεί. Η τρίτη εργασία, με τίτλο «*Move forward: Από τα παιχνίδια του παππού ...στα παιχνίδια του εγγονιού*», δίνει, πέραν των άλλων, και μια όμορφη ιδέα: ένα θεατρικό έργο με σενάριο δραστηριοτήτων Φυσικής.

Ελπίζουμε οι εργασίες αυτές να προβληματίσουν και να σταθούν αφορμή για να ξεκινήσει μία καρποφόρος συζήτηση η οποία θα μπορούσε να λάβει χώρα και στο πλαίσιο του Πανελλήνιου Συνεδρίου με τίτλο «*Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες*», το οποίο προκηρύσσεται στις σελίδες που ακολουθούν. Όσο για τη σχέση και τη διδακτική δυναμική μεταξύ άτυπων μορφών εκπαίδευσης (όπως το θέατρο για παράδειγμα) και των Φυσικών Επιστημών, ελπίζουμε να δοθεί η ευκαιρία να επανέλθουμε.

Κλείνοντας, να υπογραμμίσω μία νέα ιδέα στην οποία σας καλούμε να συμμετέχετε από το τρέχον τεύχος. Πέρα από την ερμηνεία του φυσικού φαινομένου της φωτογραφίας του εξώφυλλου, θα θέλαμε να μας στείλετε τις ιδέες σας για το πώς μπορεί η φωτογραφία αυτή να αξιοποιηθεί διδακτικά μέσα στην τάξη.

Καλή ανάγνωση!

Εκ μέρους της εκδοτικής ομάδας
Παναγιώτης Κουμαράς

Πρόσκληση για εργασίες

Καλωσορίζουμε εργασίες τριών κατηγοριών:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Επιπλέον στο περιοδικό σχεδιάζεται να υπάρχουν:

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

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

1η Ανακοίνωση

Κατά τις δεκαετίες του '60 και του '70 αναδύθηκε, για διάφορους λόγους, η ανάγκη «παραγωγής» Φυσικών επιστημόνων. Τότε η εργαστηριακή διδασκαλία των εν λόγω μαθημάτων, στη μορφή κυρίως της καθοδηγούμενης ανακάλυψης, προωθήθηκε και υποστηρίχθηκε ισχυρά καθώς θεωρήθηκε ότι μπορεί να δώσει λύση στα καταγεγραμμένα προβλήματα της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες. Σήμερα, μετά από δεκαετίες έρευνας στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, η καθοδηγούμενη ανακάλυψη και ο ρόλος του εργαστηρίου στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διδασκαλίας έχουν τεθεί υπό αμφισβήτηση, εγείροντας διάφορα, ανοικτά ακόμη, ζητήματα που αφορούν κυρίως την παιδαγωγική του διαχείριση. Την ίδια στιγμή η εισχώρηση των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών ανοίγει νέες προοπτικές αλλά και θέτει επίσης διάφορους προβληματισμούς που σχετίζονται με τα διδακτικά οφέλη που κομίζουν.

Στο διεθνές αυτό πλαίσιο προβληματισμού που έχει αναπτυχθεί, το Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Α.Π.Θ., το Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ. και η Πανελλήνια Ένωση Υπευθύνων Εργαστηριακών Κέντρων Φυσικών Επιστημών (ΠΑΝ.Ε.Κ.Φ.Ε.), ανακοινώνουν τη διοργάνωση Πανελλήνιου Συνεδρίου, στις 16 και 17 Απριλίου 2016, στη Θεσσαλονίκη, με τίτλο:

Διδακτικές προσεγγίσεις και πειραματική διδασκαλία στις Φυσικές Επιστήμες

Κατά τη διάρκεια του Συνεδρίου είναι επιθυμητό να παρουσιαστούν και να συζητηθούν ερευνητικά δεδομένα αλλά και προτάσεις που απαντούν σε ερωτήματα που προέρχονται από την εμπειρία που έχει αποκτηθεί διεθνώς τόσο στην Πρωτοβάθμια όσο και στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Ενδεικτικά ερωτήματα που θα μπορούσαν να απασχολήσουν τις εργασίες του Συνεδρίου είναι τα εξής:

- Ποιος ο ρόλος του πειράματος στο Δημοτικό Σχολείο, ποιος στο Γυμνάσιο και ποιος στο Λύκειο; Είναι κατ' ανάγκη ο ίδιος ή μπορεί/πρέπει να διαχωρίζεται;
- Πείραμα σε οργανωμένο εργαστήριο ή πείραμα στην τάξη; Πείραμα αυστηρά με τη χρήση επιστημονικών οργάνων ή πείραμα με τη χρήση καθημερινών υλικών; Πείραμα που αναδεικνύει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός φαινομένου ή πείραμα που ακολουθείται από αυστηρά οργανωμένες μετρήσεις; Ποια τα πλεονεκτήματα των μεν και ποια των άλλων; Σε ποιες περιπτώσεις προκρίνεται η χρήση των μεν και σε ποιες των άλλων;
- Είναι αποτελεσματικά τα πειράματα του τύπου «συνταγή μαγειρικής»; Προσελκύουν το ενδιαφέρον των μαθητών; Τι προσφέρουν διδακτικά; Θα μπορούσαν, και αν ναι με ποιον τρόπο, να αντικατασταθούν από πειράματα προσανατολισμένης ή ανοικτής διερεύνησης;
- Πώς λειτουργούν τα πειράματα σε ομάδες μέσα στην τάξη; Τι προβλήματα υπάρχουν; Οδηγούν σε βαθύτερη κατανόηση των εμπλεκόμενων εννοιών; Υπό ποιες συνθήκες; Εμπειρίες και συμπεράσματα από τη διετή εφαρμογή του εργαστηριακού μαθήματος Φυσικής στην Α' Γυμνασίου.
- Εικονικό ή πραγματικό πείραμα; Ποιος ο ρόλος των εξ αποστάσεως πειραμάτων στην εποχή των διαδραστικών πινάκων;
- Πώς θα μπορούσε να υποστηριχθεί πιο αποτελεσματικά η πειραματική διδασκαλία; Ποιος ο ρόλος του εκπαιδευτικού και του υπεύθυνου σχολικού εργαστηρίου;
- Πώς αποτιμάται ο ρόλος των Εργαστηριακών Κέντρων Φυσικών Επιστημών (Ε.Κ.Φ.Ε.) στην προαγωγή της πειραματικής διδασκαλίας στην Πρωτοβάθμια και Δευτεροβάθμια εκπαίδευση στην Ελλάδα; Τι τροποποιήσεις και βελτιώσεις θα μπορούσαν να γίνουν;
- Τι χαρακτηριστικά θα έπρεπε να έχει ένα πρόγραμμα σπουδών Φυσικών Επιστημών ώστε να ενδυναμώνει την πειραματική διδασκαλία των συγκεκριμένων μαθημάτων; Καθιέρωση

ξεχωριστής ώρας ως εργαστήριου ή ένταξη των εργαστηριακών οδηγιών στα σχολικά εγχειρίδια;

Σκοπός του συνεδρίου είναι να παρουσιαστούν ερευνητικά δεδομένα, εμπειρίες και απόψεις εκπαιδευτικών και ερευνητών σχετικά με τα παραπάνω ερωτήματα ώστε:

- A. Να βγουν συμπεράσματα που θα μπορούν να εφαρμοστούν και να αξιοποιηθούν στην καθημερινή διδακτική πράξη.
- B. Να εκκινήσει μία γόνιμη συζήτηση γύρω από το ζήτημα της διαμόρφωσης ενός προγράμματος σπουδών και να αποτελέσει την αφορμή της γενίκευσης της σχετικής συζήτησης με την εμπλοκή σε αυτήν περισσότερων φορέων, ώστε να αφορά το σύνολο των Φυσικών Επιστημών στην Πρωτοβάθμια και στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, προκειμένου να καταλήξει σε ολοκληρωμένη πρόταση προγράμματος σπουδών Φυσικών Επιστημών.

Το συνέδριο απευθύνεται σε

- Εκπαιδευτικούς Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης
- Εκπαιδευτικούς Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης του κλάδου ΠΕ04
- Ερευνητές στο χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών
- Υπευθύνους Ε.Κ.Φ.Ε.
- Σχολικούς Συμβούλους Φυσικών Επιστημών
- Επιμορφωτές Τ.Π.Ε.
- Υποψήφιους διδάκτορες και μεταπτυχιακούς φοιτητές και φοιτήτριες στο χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών
- Φοιτητές και φοιτήτριες Παιδαγωγικών Τμημάτων και Σχολών Θετικών Επιστημών

Σημαντικές ημερομηνίες

2^η ανακοίνωση (αναλυτικές πληροφορίες για τη σύνταξη και κατάθεση εργασιών): 11 Σεπτεμβρίου 2015

Άνοιγμα πλατφόρμας υποβολής εργασιών: 30 Νοεμβρίου 2015

Υποβολή εργασιών μέχρι: 10 Ιανουαρίου 2016

Ενημέρωση αποδοχής εργασιών μέχρι: 10 Φεβρουαρίου 16

Ημερομηνία διεξαγωγής του συνεδρίου: 16 – 17 Απριλίου 2016

Πληροφορίες για το συνέδριο θα αναρτώνται στον δικτυακό τόπο του περιοδικού *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση* (<http://physcool.web.auth.gr/>) καθώς και στο δικτυακό τόπο της ΠΑΝΕΚΦΕ (<http://panekfe.gr/>).

Μέσα από την στήλη “Διαχρονικά και κλασικά” θα δημοσιεύονται μεταφρασμένα κλασικά άρθρα με απόψεις για τις Φυσικές Επιστήμες και τη διδασκαλία τους. Φιλοδοξία είναι η στήλη να αποτελέσει μια από τις μόνιμες στήλες του περιοδικού. Παρακαλούνται οι συνάδελφοι που έχουν υπόψη τους άρθρο κατάλληλο για αυτή τη στήλη, πριν ξεκινήσουν τη μετάφρασή του, να επικοινωνήσουν με τη συντακτική επιτροπή του περιοδικού ώστε να εξασφαλιστεί η σχετική άδεια του αρχικού εκδότη.

Η ύλη διασκορπίζεται, η ενέργεια υποβαθμίζεται. Ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής αποτελεί κοινή εμπειρία

Keith A. Ross

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ - ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΣΑΚΜΑΚΗ

Προλογικό σημείωμα της επιμελήτριας

Η έννοια ενέργεια και η διδασκαλία της έχει εγείρει εδώ και μερικές δεκαετίες έντονες συζητήσεις και αντιπαραθέσεις. Ενδεικτικά, από τη μία προτείνεται να μη διδάσκεται η ενέργεια στην υποχρεωτική εκπαίδευση επειδή οι μαθητές σε αυτή την ηλικία δεν έχουν ούτε την αφαιρετική σκέψη ούτε τις μαθηματικές γνώσεις που απαιτούνται για την κατανόηση αυτής της έννοιας (Warren, 1982, 1986). Από την άλλη, υπάρχει η άποψη η ενέργεια να διδάσκεται από μικρή ηλικία, ώστε οι μαθητές ως πολίτες να αντιλαμβάνονται στο μέλλον θέματα όπως “ενεργειακή κρίση”, “εξοικονόμηση της ενέργειας” και “θερμική ρύπανση” (Κουμαράς, 2015, σελίδα 365).

Επί του παρόντος, σε διεθνές επίπεδο, η ενέργεια διδάσκεται στην υποχρεωτική εκπαίδευση και ο ιστός γύρω από τον οποίο χτίζεται η διδασκαλία της είναι η αρχή διατήρησής της. Στο υπάρχον διδακτικό πλαίσιο η υποβάθμιση της ενέργειας, η οποία συνδέεται μέσω του 2ου Νόμου της θερμοδυναμικής με την εντροπία, παραγκωνίζεται. Ως αποτέλεσμα, η διατήρηση της ενέργειας και ταυτόχρονα η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φαίνονται στους μαθητές ως αντιφατικές απόψεις για καταστάσεις της καθημερινής ζωής τους. Κάποιοι θα μπορούσαν να αναρωτηθούν: αν η ενέργεια είναι ίση στην αρχή και στο τέλος ενός φαινομένου, τότε γιατί χρειάζεται να κάνουμε “εξοικονόμηση ενέργειας”; Πώς μπορεί “η ενέργεια να διατηρείται” και ταυτόχρονα να “υπάρχει ανάγκη για ενεργειακούς πόρους”; (Doménech et al, 2007, p. 58)

Η Solomon (1985) επιχειρηματολογεί ότι η διδασκαλία της υποβάθμισης της ενέργειας, χωρίς βέβαια καμία αναφορά στην εντροπία, όχι μόνο πρέπει να διδάσκεται αλλά πρέπει να προηγείται από

τη διδασκαλία της διατήρησης της ενέργειας, διότι: α) οι ερμηνείες των μαθητών (για κατανάλωση, άρα μη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της ενέργειας) πλησιάζουν περισσότερο στην ιδέα της υποβάθμισης της ενέργειας παρά στην ιδέα της διατήρησης και β) θα αποτρέψει τους μαθητές από λανθασμένες ερμηνείες για τη διατήρηση της ενέργειας, όπως π.χ. ότι αφού η ενέργεια διατηρείται άρα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Ο Duit (1986) πρότεινε, επίσης, την παράλληλη διδασκαλία της διατήρησης και της υποβάθμισης της ενέργειας, διότι χωρίς την πτυχή της υποβάθμισης, η κατανόηση της έννοιας ενέργεια είναι ελλιπής: δεν μπορούν να λυθούν προβλήματα έξω από το σχολικό πλαίσιο.

Στο άρθρο που ακολουθεί η Ross υποστηρίζει, ήδη από το 1988, ότι αυτά που οι μαθητές αποδίδουν στην «ενέργεια», δηλαδή, τη μη διατήρησή της και ότι είναι το αίτιο των αλλαγών που συμβαίνουν γύρω μας, οι Φυσικοί τα αποδίδουν στην «ελεύθερη ενέργεια». Συμφωνώντας με τον Feynman (2009, σελ. 57) προτείνει μάλιστα τον όρο «διαθέσιμη ενέργεια» αντί για τον παρεξηγήσιμο όρο «ελεύθερη ενέργεια», προσβλέποντας σε καλύτερα διδακτικά αποτελέσματα, καθώς: α. η διαθέσιμη ενέργεια είναι η αιτία που συμβαίνουν οι αλλαγές γύρω μας (κάνει τα «πράγματα» να λειτουργούν), β. η διαθέσιμη ενέργεια ανακατανέμεται και μπορεί να περιέλθει σε μη αξιοποιήσιμη κατάσταση (2ος Νόμος της Θερμοδυναμικής), γ. στο τέλος μίας διαδικασίας όλο το ποσό της αρχικής διαθέσιμης ενέργειας εξακολουθεί να υπάρχει (1ος Νόμος) αλλά μπορεί να είναι όχι μόνο άχρηστη αλλά και ρύπος.

Οι διδακτικές ιδέες της Ross οι οποίες απλώνονται σε ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, ενδεχομένως θα μπορούσε να βοηθήσει στην αναδόμηση της διδασκαλίας μας και στη σύνδεσή της με την καθημερινότητα των μαθητών μας.

Βιβλιογραφία

- Doménech, J., L., Gil-Pérez, D., Gras-Martí, A., Guisasola, J., Martínez-Torregrosa, J., Salinas, J., Trumper, R., Valdés, P. και Vilches, A. (2007). Teaching of energy issues: A debate proposal for a global reorientation. *Science & Education*, 16, 1, pp.43-64
- Duit, R. (1986). In search of an energy concept. In R. Driver, & R. Millar, Eds., *Energy Matters. Proceedings of an invited conference. Teaching about energy within the secondary science curriculum* (pp 67-101). Leeds, UK: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds
- Feynman, R. (2009). *Οι Διαλέξεις Φυσικής του Feynman. Τόμος Α' (Μηχανική – Ακτινοβολία – Θερμότητα)*. Εκδόσεις Τζιόλα. Θεσσαλονίκη.
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education* 20, p.p. 165 – 170.
- Warren, J. (1982). The nature of energy. *Eur.J. Sci. Educ.* 4,3, p.p. 295-297
- Warren, J. (1986). At what stage should energy be taught. *Phys. Educ.* 21, p.p. 154-156.
- Κουμαράς Π., 2015. *Μονοπάτια της σκέψης στον κόσμο της Φυσικής*. Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα.

Reproduced with permission from The Association for Science Education. Copyright 1988. K. A. Ross, "Matter scatter and energy anarchy. The second law of Thermodynamics is simply common experience". School Science Review, March 1988, pp. 438-445.

Ιδού μερικά πράγματα που έχουν πει μαθητές [1] τα οποία υποδεικνύουν ένα εναλλακτικό πλαίσιο απόψεων για την ενέργεια, παρόμοια με κάποια από τα ευρήματα από το Πρότζεκτ για την Μάθηση των Παιδιών στις ΦΕ (Children's Learning in Science Project) [2]:

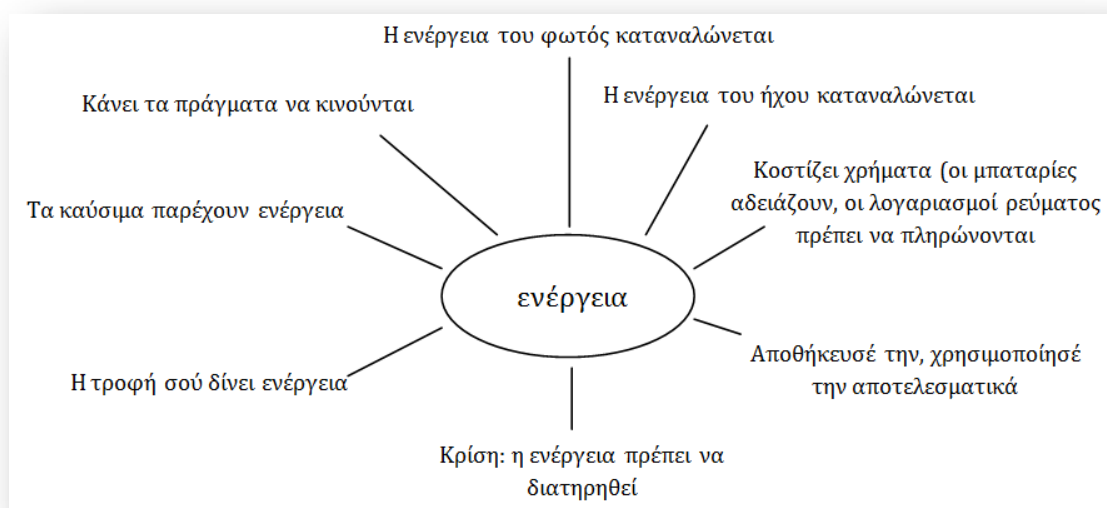
Η ενέργεια μέσα στο πετρέλαιο καταναλώθηκε για να κινήσει τα αυτοκίνητο.

Η ηλεκτρική ενέργεια μέσα στο φως καταναλώθηκε έτσι πρέπει να ανάψει ξανά το φως για να συνεχίσεις.

Καταναλώνουμε την ενέργεια μέσα στο φαγητό μας οπότε πρέπει να τρώμε διαρκώς.

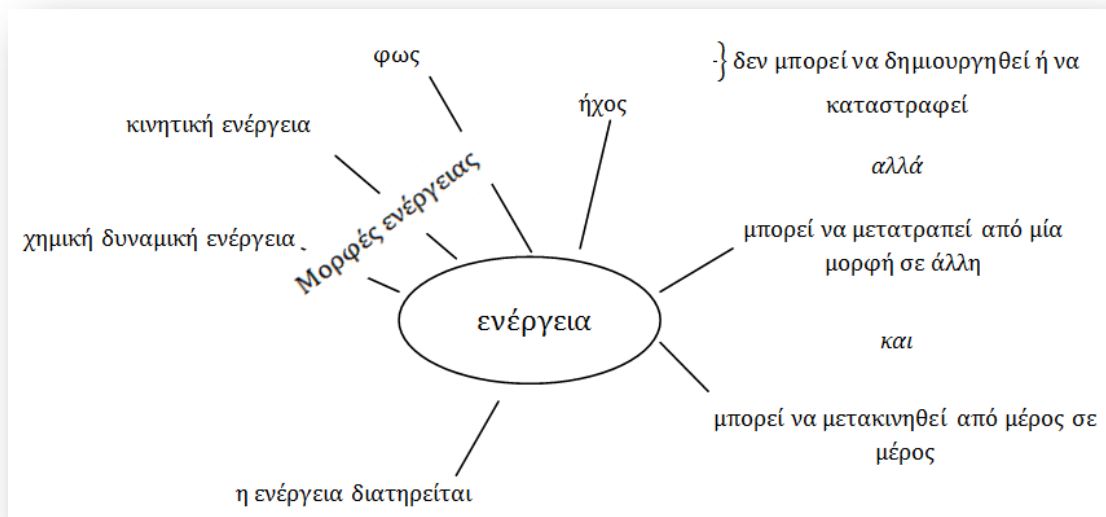
Η ενέργεια κοστίζει χρήματα οπότε πρέπει να τη χρησιμοποιούμε προσεκτικά και αποτελεσματικά.

Αυτή η άποψη για την ενέργεια αναπαριστάται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Τι εννοούν οι μαθητές με τη λέξη «ενέργεια».

Συγκρίνετε αυτή την εικόνα με την έννοια ενέργεια την οποία προσπαθούμε να οικοδομήσουμε κατά τα μαθήματα ΦΕ (Εικόνα 2), η οποία εστιάζει στην ιδέα ότι η ενέργεια ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, αλλά απλά μετατρέπεται από μία μορφή σε μία άλλη (ο 1ος Νόμος της Θερμοδυναμικής).



Εικόνα 2. Τι εννοούμε με τη λέξη «ένέργεια» στα μαθήματα ΦΕ.

Σύμφωνα με το 2ο Νόμο της Θερμοδυναμικής αν και η ενέργεια μπορεί να μετατρέπεται από μία μορφή σε μία άλλη, η διαδικασία αυτή ποτέ δεν είναι 100% αποτελεσματική, κάποια ποσότητα ενέργειας πάντα «χάνεται» ως θερμότητα που αποβάλλεται. Ο νόμος αυτός είχε, κατά το παρελθόν, περιοριστεί να διδάσκεται σε πανεπιστημιακό επίπεδο. Το αναθεωρημένο μάθημα Χημείας επιπέδου Α του προγράμματος Nuffield έχει προσεκτικά επιτρέψει σε αυτόν να λειτουργεί ως μία έννοια γύρω από την οποία οργανώνεται όλο το μάθημα. Τον βλέπουμε ακόμη να μπαίνει στα μαθήματα GCSE. Το Patterns Book 1 αφιερώνει τέσσερις σελίδες σε αυτόν [3: 151-155]. Το εκπαιδευτικό υλικό του SATIS έχει μία ενότητα με τίτλο «Ο δεύτερος νόμος-τίνος;» [4]. Όμως έχουμε διδαχθεί να τον φοβόμαστε, να τον θεωρούμε πέρα από ό,τι μπορούν να κατανοούν οι μαθητές μας.

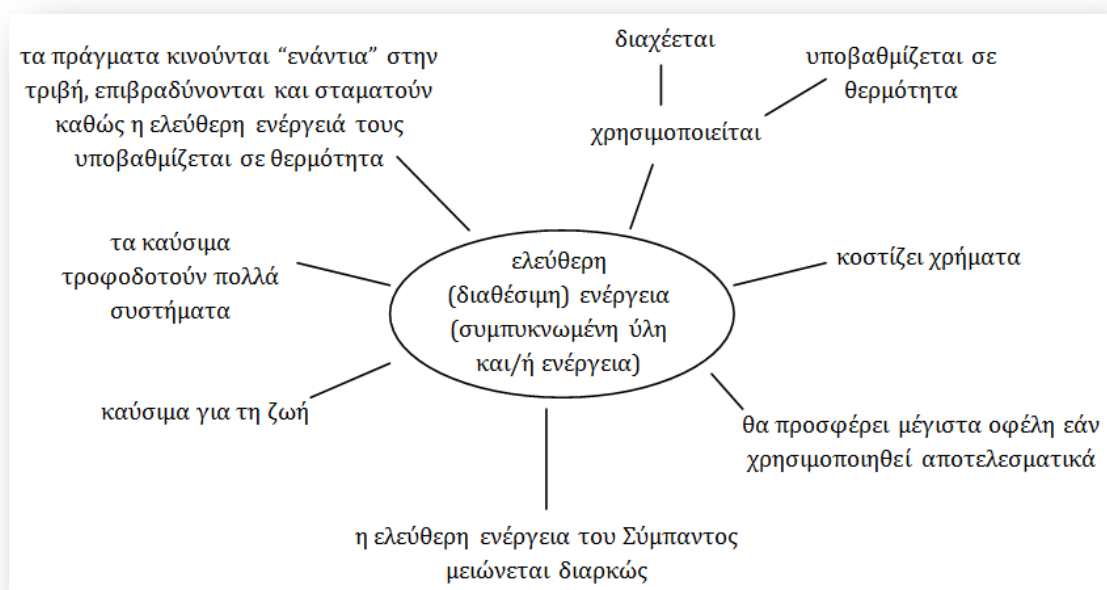
Ο σκοπός αυτού του άρθρου είναι να δείξει ότι ο 2ος Νόμος αποτελεί κοινή εμπειρία, και ότι εάν τον διδάξουμε πρώτα, προτού την εισαγωγή της διατήρησης της ενέργειας (1ος Νόμος), θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχουν πολύ λιγότερα «εναλλακτικά πλαίσια» απόψεων μεταξύ των μαθητών μας.

Ο 2ος Νόμος της Θερμοδυναμικής απλά αποτελεί κοινή εμπειρία

Στην Εικόνα 3 επιχειρείται να περιληφθούν όσα λέει ο 2ος Νόμος: η ύλη διασκορπίζεται και η ενέργεια υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου – είναι ο νόμος αύξησης της εντροπίας. Περνούμε όλη μας

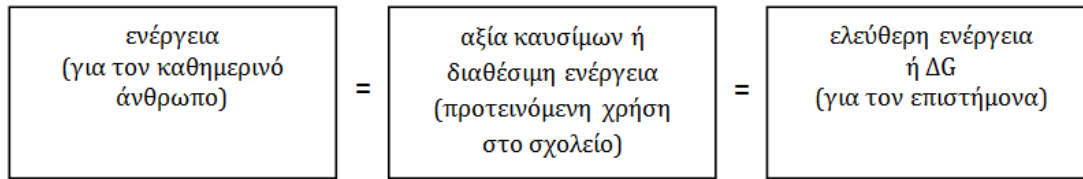
τη ζωή αποτρέποντας την εξάπλωση της αταξίας. Έτσι, τα δωμάτια διατηρούνται καθαρά, κτήρια συντηρούνται, μεταλλεύματα εξορύσσονται, άνθρωποι μετακινούνται – απλά δαπανώντας καύσιμα.

Παραδοσιακά, και στις περισσότερες μη ανεπτυγμένες βιομηχανικά περιοχές του κόσμου, ο άνθρωπος έχει χρησιμοποιήσει ανανεώσιμα ηλιακά καύσιμα (ανθρώπινη ή ζωική μυϊκή δύναμη, καύση ξύλων, νερόμυλους, ανεμόμυλους κ.ά.). Πιο πρόσφατα έχουμε προσθέσει “εμφιαλωμένο” ηλιακό φως (ορυκτά καύσιμα) και πυρηνικά καύσιμα (δες αναφορά [9]). Χωρίς τη σταθερή χρήση καυσίμων, τα δωμάτια γίνονται ακατάστατα, τα κτήρια καταρρέουν, τα μεταλλεύματα παραμένουν αναμεμιγμένα μέσα στους βράχους – όλα διαδικασίες κατά τις οποίες η ύλη διασκορπίζεται ή παραμένει διασκορπισμένη.



Εικόνα 3. Το νόημα του 2ου Νόμου της Θερμοδυναμικής.

Συγκρίνετε τώρα την Εικόνα 3 (τον 2ο Νόμο) με την Εικόνα 1 (τις ιδέες των μαθητών για την ενέργεια). Είναι σχεδόν ταυτόσημες! Όταν η λέξη «ενέργεια» χρησιμοποιείται στην καθημερινή γλώσσα από τους πολιτικούς, τους βιομηχάνους και τους μαθητές, σημαίνει κάτι σαν την «ελεύθερη ενέργεια» για την οποία μαθαίνουμε στα πανεπιστημιακά μαθήματα θερμοδυναμικής. Φυσικά δεν μπορούμε να την αποκαλέσουμε ελεύθερη ενέργεια στους μαθητές μας γιατί κοστίζει χρήματα. Ο John Ogborn [5] σε πρόσφατο άρθρο του για την «ενέργεια και τα καύσιμα» προτείνει τη λέξη “Exergy” (εξέργεια). Θα ήθελα να προτείνω να τη λέμε «αξία καυσίμων» (Fuel value) ή «διαθέσιμη ενέργεια». Έχουμε την εξής κατάσταση:



Βλέπουμε το 2ο Νόμο της Θερμοδυναμικής σε δράση διαρκώς. Ο 1ος Νόμος, σύμφωνα με την Joan Solomon [6], δεν έρχεται πρώτος. Είναι σε αντίθεση με τις εμπειρίες της καθημερινής ζωής. Πρέπει να εφεύρουμε τροχούς χωρίς τριβές για να τον «αποδείξουμε». Στις παραγράφους που ακολουθούν θα πάρω μερικές ιδέες των παιδιών για το φυσικό κόσμο, οι οποίες συχνά αναφέρονται ως εναλλακτικές – λανθασμένες ιδέες, και θα δείξω ότι μπορούμε να τις διαχειριστούμε μόνο αν διδάξουμε πρώτα στα παιδιά την ελεύθερη ενέργεια (δηλαδή τη διαθέσιμη ενέργεια).

Ηλεκτρικό ρεύμα

Ξοδεύουμε πολύ χρόνο προσπαθώντας να πείσουμε τα παιδιά ότι το ρεύμα κατά μήκος ενός κλειστού κυκλώματος είναι σταθερό. Γνωρίζουν πολύ καλά ότι οι μπαταρίες αδειάζουν και οι λογαριασμοί του ηλεκτρικού πρέπει να πληρωθούν. Ξέρουν ότι οι λάμπες παράγουν θερμότητα και φως από τον ηλεκτρισμό, επομένως η ενέργεια πρέπει να προέρχεται από κάπου. Τα περισσότερα παιδιά μπορούν να τα βγάλουν πέρα με ιδέες για την ηλεκτρική ενέργεια στο σπίτι, και ακόμη να κάνουν απλούς υπολογισμούς του κόστους χρήσης συσκευών σε μονάδες ισχύος. Η ηλεκτρική ελεύθερη ενέργεια (διαθέσιμη ενέργεια) καταναλώνεται και δεν θα πρέπει να αποθαρρύνουμε τα παιδιά όταν σκέφτονται έτσι ξεκινώντας για πρώτη φορά να εργάζονται στον ηλεκτρισμό. Η έννοια ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να έρθει αρκετά αργότερα στο μάθημα – ως η ροή φορέων ενέργειας (φορτία) οι οποίοι προφανώς δεν καταναλώνονται κατά μήκος ενός κυκλώματος.

Το παρακάτω απόσπασμα αναδεικνύει τη διάσταση απόψεων.

Πήρα συνέντευξη από τρεις μαθητές της Τετάρτης τάξης του επιπέδου-Ο Φυσικής. Ένας από αυτούς (Μαθητής 1) εξέφρασε διστακτικά την άποψη των φορτίων ως φορέων της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι άλλοι δύο (μαθητές 2 και 3) χρησιμοποίησαν τη λέξη ρεύμα εννοώντας ηλεκτρική ενέργεια και υποστήριξαν ότι το ρεύμα καταναλώθηκε. Ο Μαθητής 1 χρησιμοποίησε την αναλογία με μπουκάλια γάλακτος για να βοηθήσει τους συμμαθητές του να καταλάβουν χωρίς όμως επιτυχία.

[εγώ] τι είναι αυτό το ρεύμα που ρέει;

[Μαθητής 1] λοιπόν είπατε ότι είναι ...εε... μία μορφή ... κάτι ... ένα ρευστό ή κάτι που πηγαίνει γύρω ... το ρευστό χρησιμοποιείται αλλά διαθέτεις πάντα αποθήκες που θα επιστρέψει ... πες τα μπουκάλια γάλακτος ... έχεις το μπουκάλι γάλακτος για να πιεις το γάλα και θα επιστρέψεις το μπουκάλι ώστε να γεμίσει ξανά με περισσότερο γάλα ... είναι μία συνεχής αλυσίδα ... εάν δεν επιστρέψεις τα μπουκάλια γάλακτος που έχεις τότε δεν θα πάρεις γάλα την επόμενη ημέρα.

[Μαθητής 3] η λάμπα δεν χρησιμοποιεί πάντως όλο το ρεύμα ... χρησιμοποιεί μόνο λίγο

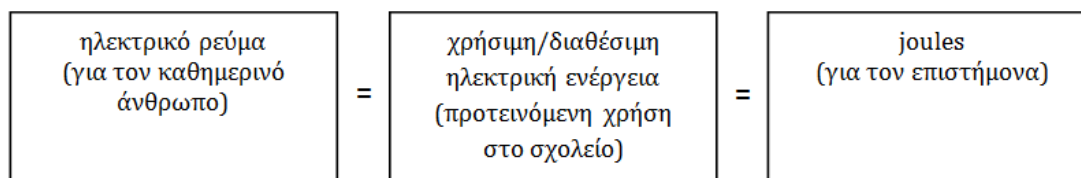
[Μαθητής 2] και τότε όταν επιστρέφει στη μηχανή χρησιμοποιείται ξανά και κάνει όλο τον κύκλο γύρω-γύρω ανάβοντας τη λάμπα και μετά επιστρέφει

[εγώ] εσείς [προς τους μαθητές 2 και 3] μιλάτε για ενέργεια και εσύ [προς το μαθητή 1] μιλάς για το ρεύμα και δεν νομίζω ότι μιλάτε για το ίδιο πράγμα.

[Μαθητής 1] η ενέργεια από την μπαταρία θα είναι λιγότερη αλλά το ρεύμα θα είναι το ίδιο ... εάν τοποθετήσεις ένα αμπερόμετρο στο θετικό πόλο μίας μπαταρίας και στον αρνητικό μία μπαταρίας θα εξακολουθείς να έχεις το ίδιο ... ποσό από ... ρεύμα

Είναι σπάνιο να συναντήσεις έναν μαθητή που βλέπει το πρόβλημα τόσο καθαρά: το ρεύμα (μπουκάλια ανά ημέρα) εισέρχονται και εξέρχονται εξίσου στο σπίτι, αλλά η ενέργεια (γάλα) μεταφέρεται από τη γαλακτοκομική μονάδα (μπαταρία) προς το σπίτι (λάμπα). Ακόμη κι εδώ υπάρχει μία ισχυρή συσχέτιση με την ενέργεια που καταναλώνεται (γάλα που έχουμε πει), κάτι που ισχύει αν ενέργεια σημαίνει «χρήσιμη ενέργεια».

Άρα έχουμε:



Φως

Έχω συναντήσει λίγα παιδιά που θέλουν να εξηγήσουν τη μοίρα της ηλεκτρικής ενέργειας από τη στιγμή και μετά που έχει μετατραπεί σε φως (ή ομοίως σε κίνηση ή ήχο επίσης). Όταν το φως (ή αντίστοιχα το μίξερ ή το ραδιόφωνο) κλείσει, δεν υπάρχει άλλος ηλεκτρισμός, για αυτό τα παιδιά λένε ότι το φως (ή η κίνηση ή ο ήχος) σταματάει.

“Τι συμβαίνει με το φως (ή την κίνηση ή τον ήχο) που έχει ήδη παραχθεί, που πηγαίνει;”

“Καταναλώθηκε”, θα πουν.

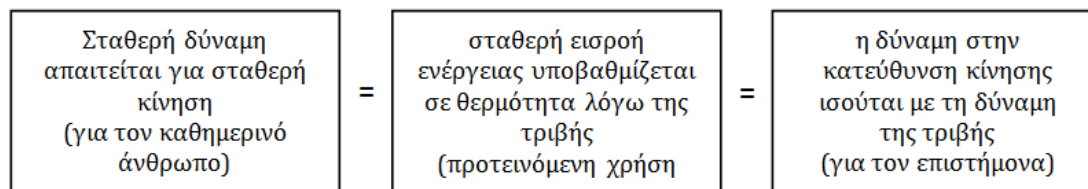
Εάν όμως ξεκινήσουμε τη διδασκαλία μας με το 2ο Νόμο μπορούμε να οικοδομήσουμε σε αυτή την ιδέα: ο ηλεκτρισμός «χρησιμοποιήθηκε» και πληρώσαμε για αυτόν, η αξία τους ως καύσιμο εξαφανίστηκε. Αργότερα μπορούμε να συνεχίσουμε προτείνοντας ότι η ενέργεια καταλήγει σε αποβαλλόμενη θερμότητα, μία ιδέα η οποία σταδιακά τρέπεται στην παραδοσιακή «διατήρηση της ενέργειας» (1ος Νόμος).

Δύναμη και κίνηση

Η λέξη «δύναμη» χρησιμοποιείται από πολλά παιδιά (και ενήλικες) για να εννοηθεί κάτι παρόμοιο με ό,τι οι φυσικοί λένε ορμή, δείτε σχετικά το κεφάλαιο 5 από το βιβλίο της Driver [7]. Για την παρεξήγηση αυτή ευθύνεται η τριβή. Πρέπει να συνεχίσεις να σπρώχνεις κάτι για να εξακολουθήσει να κινείται, διαφορετικά σταματάει. Έτσι, στην καθημερινή ζωή η δύναμη είναι ανάλογη με την

ταχύτητα. Αυτός είναι και πάλι ο 2ος Νόμος, η ενέργεια υποβαθμίζεται σε θερμότητα, έτσι η σταθερή κατανάλωση καυσίμων είναι απαραίτητη ώστε το αυτοκίνητο να συνεχίσει να κινείται. Μήπως θα έπρεπε να το διδάξουμε με αυτό τον τρόπο και να εισάγουμε τη δύναμη και την ορμή αργότερα;

Έχουμε έτσι:



Μέγιστο έργο

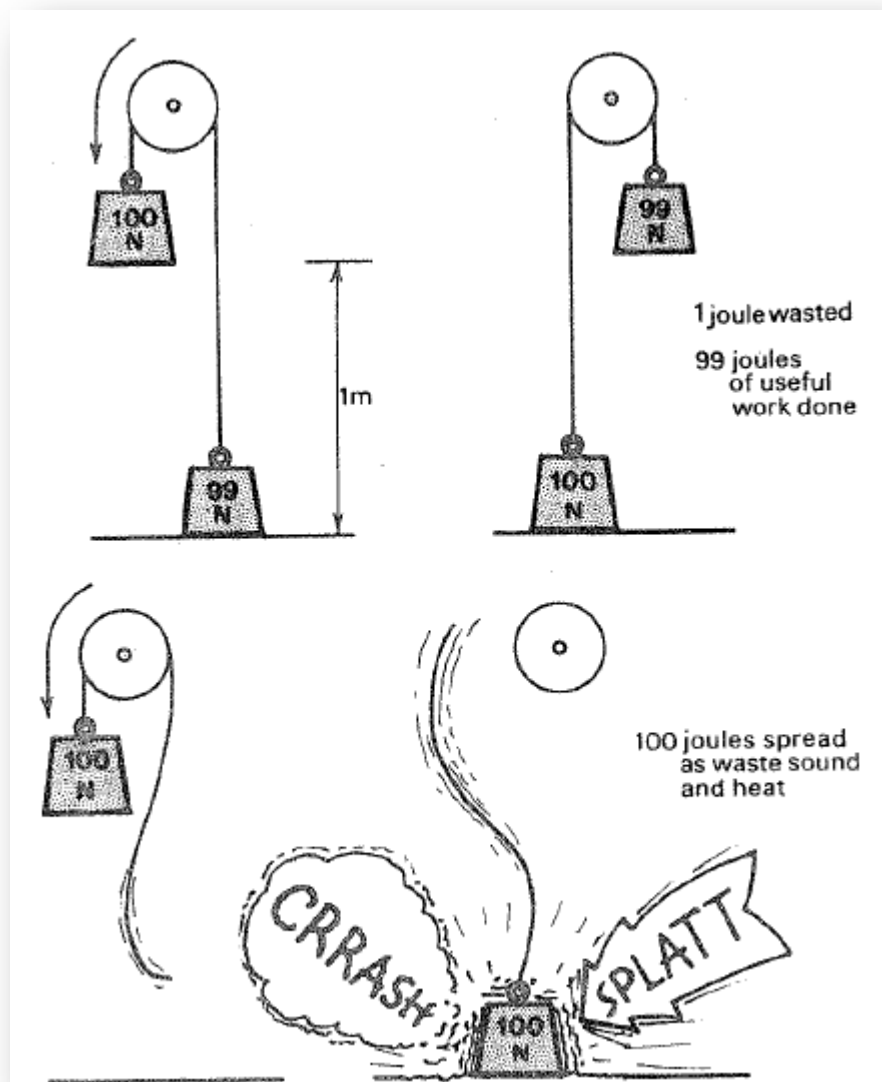
Η καθημερινή εμπειρία δείχνει ότι χρειάζεται να καταναλώνουμε ενέργεια (δηλαδή καύσιμα) απλά για να διατηρήσουμε την κίνηση αντικειμένων ή για να τα εμποδίσουμε να σταματήσουν να λειτουργούν. Και η καθημερινή εμπειρία μάς λέει ότι χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια (δηλαδή τη διαθέσιμη ενέργεια) όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται. Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε το εξής πρακτικό πρόβλημα καθαρισμού πινέλων βαψίματος:

Διαθέτω δέκα βρώμικα πινέλα βαψίματος και ένα δοχείο με νερό (και επίσης μερικά εφεδρικά δοχεία). Πώς μπορώ να πλύνω όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται τα πινέλα; Τα περισσότερα παιδιά ξεκινούν σπαταλώντας όλο το νερό μονομιάς βουτώντας το πρώτο πινέλο στο καθαρό νερό. Είμαστε όλοι ένοχοι κάνοντας λίγο πολύ το ίδιο πράγμα όταν μπαίνουμε σε μία μπανιέρα γεμισμένη με καθαρό ζεστό νερό (κάνοντας ντους χρησιμοποιείτε ένα μόνο μέρος του παραπάνω νερού και καθαρίζετε πολύ καλύτερα). Το κάνουμε επίσης όταν βυθίζουμε τα βρώμικα πιάτα μέσα στο καθαρό νερό πλυσίματος.

Επιστρέφοντας στα παιδιά και τα πινέλα τους: πόσα από αυτά χρησιμοποιούν ένα σύνολο διατεταγμένων δοχείων, καθένα από τα οποία περιέχει μία πολύ μικρή ποσότητα νερού, ώστε να πάνε σε πολλά ξεβγάλματα; Με αυτό τον τρόπο κάθε πινέλο ξεπλένεται αρχικά στο δοχείο 1 (το οποίο γίνεται πολύ βρώμικο) αλλά κατά το τελευταίο ξέβγαλμα (στο δοχείο 5, για παράδειγμα) χρησιμοποιούμε σχεδόν καθαρό νερό. Κάθε τόσο πρέπει να πετάμε το δοχείο 1 και να μετατοπίζουμε κατά μία θέση όλα τα υπόλοιπα, προσθέτοντας λίγο καθαρό νερό από το απόθεμα που διαθέτουμε στο νέο, κάθε φορά, δοχείο 5. Το νερό καταναλώνεται πολύ αργά. Φυσικά το ίδιο το νερό δεν καταναλώνεται, αλλά η «αξία του ως καύσιμο».

Σε αυτή την αναλογία το νερό αντιστοιχεί στον πόρο που διαθέτουμε και το βρώμικο νερό αντιστοιχεί στη διασκορπισμένη ύλη - σε αταξία και άχρηστο. Εάν θέλουμε να καθαρίσουμε το βρώμικο νερό πρέπει ξανά να χρησιμοποιήσουμε καύσιμα. Το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι να εξασφαλίσουμε ότι παίρνουμε το μέγιστο όφελος από την ύλη και την ενέργειά μας καθώς αυτές σταδιακά διασκορπίζονται. Αν κάνουμε κάτι απείρως αργά, διατηρώντας το σταθερά «σε ισορροπία», μπορούμε να διατηρήσουμε ανέπαφα τα καύσιμά μας - δεν πραγματοποιείται καθόλου

διασκορπισμός. Όσο πιο αργά και προσεκτικά χρησιμοποιούμε τα καύσιμα τόσο λιγότερο από αυτά σπαταλάμε.



Εικόνα 4. Η αναλογία της τροχαλίας, η ιδέα του να παίρνεις το μεγαλύτερο έργο από ένα σύστημα. Σκεφτείτε τη «μοίρα» των 100 J που είναι αποθηκευμένα ως δυναμική ενέργεια σε αυτό το σύστημα: (πάνω) χρησιμοποιώντας την αργά, προσεκτικά, αποτελεσματικά (κάτω) απομυζώντας μία ενεργειακή πηγή

Χρησιμοποιώ την αναλογία με την τροχαλία της Εικόνας 4 (από τους Johnstone και Webb [8]) για να αναπαραστήσω αυτή την ιδέα. Όσο μεγαλύτερη η ανισορροπία τόσο πιο γρήγορα το φορτίο ανυψώνεται, αλλά τόσο περισσότερη «αξία του ως καύσιμο» χάνουμε. Στην ακραία περίπτωση το βαρίδιο πέφτει άσκοπα στο έδαφος χωρίς να ανυψώσει τίποτα.

Η ιδέα αυτή μπορεί επίσης να αναπαρασταθεί από μερικά ανθρώπινα καύσιμα, ένα ταπεινό φιστίκι. Βάλτε το φωτιά και η ενέργειά του (αξία του ως καύσιμο) σπαταλιέται, διασκορπίζεται, «καταναλώνεται». Στα κύτταρα του σώματος απαιτεί κόπο να καεί βήμα-βήμα (σύμφωνα με τον

κύκλο του Krebs). Διατηρώντας κάθε βήμα όσο πιο κοντά στην ισορροπία γίνεται, μέρος της χρήσιμης ενέργειας κληροδοτείται ως ATP (δείτε σχετικά την αναφορά [10]). Αυτή η χρήσιμη ενέργεια (καύσιμη αξία) σύντομα «καταναλώνεται» κατά τις διαδικασίες μεταβολισμού μας. Μέρος της θα χρησιμοποιηθεί για να κάνουμε χρήσιμες εργασίες έξω από το σώμα μας -να τακτοποιήσουμε ένα δωμάτιο, να σκάψουμε στον κήπο- αλλά αργά ή γρήγορα όλη η καύσιμη αξία θα εξαφανιστεί. Όλη η ενέργεια έχει μετατραπεί σε άχρηστη θερμότητα.

Μέγιστο έργο μέσω υδροηλεκτρισμού

Σκεφτείτε την ενέργεια που παρέχεται από τον κύκλο του νερού. Το μόριο του νερού κερδίζει ενέργεια από τον Ήλιο η οποία του επιτρέπει να δραπετεύσει μέσα στον αέρα και να μεταφερθεί στα βουνά. Όλη αυτή η ενέργεια έχει «χαθεί» από τη στιγμή που θα φτάσει και πάλι στη θάλασσα.

Με τον ίδιο τρόπο η ενέργεια του ανυψωμένου βαριδίου στην τροχαλία του Johnstone (Εικόνα 4) «χάνεται» όταν πέσει ελεύθερα. Γνωρίζουμε ότι η ενέργεια δεν «χάνεται» πραγματικά αλλά απλά υποβαθμίζεται σε θερμότητα. Αυτός είναι ο λόγος που ένας καταρράκτης είναι πιο ζεστός στον ταμιευτήρα στη βάση του παρά στην κορυφή του.

Αυτό που ένας νερόμυλος ή ένας σταθμός υδροηλεκτρικής ενέργειας κάνουν είναι να καθυστερούν αυτή την αναπόφευκτη διαδικασία. Όπως ακριβώς η τροχαλία –άφησε το νερό να περάσει αργά (σχεδόν σε ισορροπία) και θα πάρεις σχεδόν τη μέγιστη καύσιμη αξία- ανατίναξε το φράγμα και όλη χαράμιζεται. Φυσικά η ενέργεια θα διασκορπιστεί και στις δύο περιπτώσεις, αλλά στην «χρήσιμη» περίπτωση έχει δημιουργήσει τάξη κάπου αλλού, για παράδειγμα, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτήσει μία σκούπα για να καθαρίσεις ένα δωμάτιο ή (στην περίπτωση της τροχαλίας) για να ανυψώσει ένα φορτίο.

Φωτοσύνθεση: ό,τι σε περιβάλλει, μετράει

Οι περισσότερες αλλαγές που περιγράφηκαν παραπάνω δείχνουν καθαρά το διασκορπισμό της ύλης και την κατανάλωση της ενέργειας (καύσιμη αξία) με το πέρασμα του χρόνου. Πώς αντιμετωπίζουμε φαινόμενα που εμφανίζονται να δημιουργούν τάξη; Την ανάπτυξη κρυστάλλων, για παράδειγμα; Και ακόμη πιο εντυπωσιακά, τη φωτοσύνθεση, κατά την οποία η διασκορπισμένη ύλη διοξειδίου του άνθρακα και νερού οικοδομείται σε υψηλής τάξης σάκχαρο (και οξυγόνο), και ενέργεια αποθηκεύεται στο σύστημα σακχάρων-οξυγόνου παρέχοντας καύσιμα σε κάθε έκφανση ζωής;

Εάν το περιβάλλον ληφθεί υπόψη, και δεν κάνουμε το λάθος να θεωρήσουμε απομονωμένα αντικείμενα, όλες οι αλλαγές παράγουν περισσότερο χάος, ακόμη κι όταν το ίδιο το αντικείμενο καθίσταται περισσότερο οργανωμένο. Έτσι, όταν θέλουμε να τακτοποιήσουμε ένα δωμάτιο πρέπει να υποβαθμίσουμε τροφή (το δικό μας καύσιμο) ή ηλεκτρική ενέργεια (το καύσιμο της σκούπας) σε θερμότητα. Το δωμάτιο καθίσταται περισσότερο οργανωμένο αλλά το περιβάλλον, εξαιτίας της θερμότητας, πιο ανοργάνωτο. Με παρόμοιο τρόπο, όταν ο κρύσταλλος αναπτύσσεται (αυξανόμενη

τάξη) το διάλυμα και το περιβάλλον ζεσταίνεται από την ενέργεια που ελευθερώνεται κατά την κρυσταλλοποίηση (δημιουργώντας αταξία).

Όταν τα φυτά μεγαλώνουν διαχωρίζοντας οξυγόνο από το νερό και προσθέτοντας διοξείδιο του άνθρακα για να οικοδομήσουν σάκχαρα, τροφοδοτούνται ενεργειακά από το ηλιακό φως. Φωτόνια του ορατού ηλιακού φωτός απορροφούνται από την χλωροφύλλη και το πακέτο ενέργειάς τους αρχίζει να διασκορπίζεται. Μικρό μέρος της συγκρατείται από το φυτό. Η υπόλοιπη ενέργεια χάνεται στο περιβάλλον ως αποβαλλόμενη θερμότητα, δημιουργώντας αταξία. Και η αταξία αυτή είναι μεγαλύτερη από την τάξη που δημιουργήθηκε από την χλωροφύλλη.

Είναι ενθαρρυντικό να βλέπεις ότι αρκετοί μαθητές [1] βλέπουν τη βιομάζα και τα ορυκτά καύσιμα ως «εμφιαλωμένο ηλιακό φως». Πολλοί αναγνωρίζουν ότι το οικοσύστημα του πλανήτη μας και τα κλιματικά συστήματα τροφοδοτούνται ενεργειακά από τον Ήλιο. Ο λόγος για τον οποίο ένα δάσος μοιάζει το ίδιο καθώς οι αιώνες περνούν είναι η σταθερή εισροή υψηλού βαθμού οργάνωσης ενέργειας ορατών φωτονίων και η εκροή υποβαθμισμένης ενέργειας λόγω της διασκόρπισης της ενέργειας κάθε φωτονίου μεταξύ ενός ακατάληπτου αριθμού μορίων και η σταδιακή ακτινοβολή της στο διάστημα ως χαμηλού βαθμού οργάνωσης ενέργεια (θερμότητα ακτινοβολίας). Η ανισορροπία διατηρείται από αυτή τη σταθερή ενεργειακή τροφοδότηση. Εάν διακοπεί το ηλιακό φως για μερικά χρόνια όλο το σύστημα θα καταρρεύσει: αυτό είναι που προβλέπεται υπό το φόβο ενός πυρηνικού χειμώνα που θα ακολουθήσει τα σύννεφα σκόνης που θα προκληθούν από έναν πυρηνικό πόλεμο, και θεωρείται ως η αιτία της μαζικής εξάλειψης ειδών πριν 65 εκατομμύρια χρόνια, όταν, σύμφωνα με μία θεωρία, η πρόσκρουση ενός μετεωρίτη απέκοψε το ηλιακό φως για αρκετά χρόνια.

Αναπνοή

Πολλοί ενήλικες οργανισμοί εμφανίζονται χωρίς εμφανείς αλλαγές εβδομάδα με την εβδομάδα, μολονότι βρίσκονται μακριά από την ισορροπία. Τι δημιουργεί και συντηρεί αυτή την υψηλού βαθμού τάξη σε αυτούς; Τροφοδοτούνται με καύσιμα μέσω της κυτταρικής αναπνοής. Τα βιοχημικά συστήματα μεμονωμένων οργανισμών τροφοδοτούνται σταθερά με καύσιμα, αυτή τη φορά (στην περίπτωση των αερόβιων οργανισμών) από την αναπνοή των σακχάρων, μία διαδικασία που εύκολα φαίνεται να δημιουργεί χάος, καθώς η ύλη στα καύσιμα και το οξυγόνο διασκορπίζεται στο περιβάλλον ως διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Η ενέργειά τους διασκορπίζεται παρομοίως, ως σπαταλημένη θερμότητα. Από τη στιγμή που η παροχή καυσίμων και οξυγόνου διακοπεί ξεκινάει μία διαδικασία διάσπασης η οποία διασκορπίζει περαιτέρω την ύλη τους και την χημική δυναμική ενέργεια μέσα στο περιβάλλον.

Μεγάλη σύγχυση προκαλείται ζητώντας από τους μαθητές να πραγματοποιήσουν εργαστηριακούς ελέγχους που συνδέονται με τη φωτοσύνθεση, όπως για παράδειγμα η αναζήτηση αμύλου στα φύλλα –προτείνω ότι πρέπει να έχουν μία πολύ ευρύτερη εικόνα των φυτών και του Ήλιου ως πηγή

καυσίμων για τη ζωή προτού να μπορέσουν να τα βγάλουν πέρα με τις λεπτομέρειες. Αυτή η ευρύτερη εικόνα προκύπτει μέσα από τη θεώρηση του τρόπου με τον οποίο η ενέργεια (η καύσιμη αξία) από τον Ήλιο «καταναλώνεται» καθώς μετακινιόμαστε από ένα τροφικό επίπεδο στο επόμενο (τροφικές αλυσίδες). Επίσης βοηθά να αποδώσουμε την αξία του φαγητού τόσο πιο χαμηλά στην τροφική αλυσίδα όσο είναι δυνατό.

Ελεύθερη ενέργεια ή διαθέσιμη ενέργεια

Προσπάθησα να δείξω ότι μαθητές και απλός κόσμος χρησιμοποιούν τη λέξη «ενέργεια» για να εννοήσουν κάτι που είναι κοντά σε ό,τι οι επιστήμονες ονομάζουν «ελεύθερη ενέργεια», και ότι η χρήση αυτή βοήθησε στην ανάπτυξη μερικών πολύ χρήσιμων ιδεών στα μυαλά τους που βρίσκονται σε αντίθεση με τη «σχολική επιστήμη».

Προτείνω ότι πρέπει να αναθεωρήσουμε εκ βάθρων τη διδακτική μας προσέγγιση της ενέργειας για να λάβουμε υπόψη αυτό το γεγονός. Είναι μία προσέγγιση η οποία ξεκινά με την παραδοχή ότι η «ενέργεια» «καταναλώνεται» και μετά σταδιακά δείχνει ότι το «καταναλώνεται» σημαίνει στην πραγματικότητα ότι υποβαθμίζεται σε θερμότητα και άρα η «ενέργεια» είναι ακόμη εκεί. Αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μία νέα λέξη να αναπαραστήσει την καθημερινή λέξη «ενέργεια». Θεωρώ ότι η λέξη «καύσιμο» εξυπηρετεί το σκοπό μας. Τα καύσιμα έχουν διαθέσιμη ή ελεύθερη ενέργεια η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία των συστημάτων. Ο Ήλιος «τροφοδοτεί με καύσιμα» τη βιόσφαιρά μας. Το ουράνιο «τροφοδοτεί με καύσιμα» τις πυρηνικές ενεργειακές εγκαταστάσεις. Η βαρυτική δυναμική ενέργεια «τροφοδοτεί με καύσιμα» τις παλίρροιες. Το πετρέλαιο «τροφοδοτεί με καύσιμα» τα αυτοκίνητά μας. Όλα αυτά τα καύσιμα καταναλώνονται κατά τη διαδικασία ή καλύτερα, η αξία τους ως καύσιμα χάνεται. Μερικά είναι ανανεώσιμα, παρέχοντάς μας σταθερή καθημερινή ποσότητα, ενώ άλλα θα εξαντληθούν. Ο στόχος μας είναι να αντλήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο έργο από αυτά καθώς υποβαθμίζονται.

Υπάρχει, ωστόσο, μία ισχυρή συσχέτιση μεταξύ καυσίμων και καύσης: τα καύσιμα καίγονται. Και ήδη έχουμε την έκφραση «τα πυρηνικά καύσιμα “καίγονται” στην καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα» κάτι το οποίο σίγουρα δεν είναι καύση. Πολλοί άνθρωποι θεωρούν ότι το κάψιμο καταστρέφει την ύλη. Αλλά εάν θέλουμε να ενθαρρύνουμε τους μαθητές να αντιληφθούν το κάψιμο ως την οικοδόμηση οξειδίων, παρά ως μία διαδικασία αποσύνθεσης στην οποία η ενέργεια «χάνεται» [1] η ευρύτερη χρήση της λέξης “καύσιμα” πράγματι έχει μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό προτιμώ τη χρήση των λέξεων «αξία ως καύσιμο» και «διαθέσιμη ενέργεια» ως τη δική μας μετάφραση της λέξης «ενέργεια» των μαθητών.

Πιστεύω ότι τα παιδιά στο σχολείο πρέπει να γνωρίζουν περισσότερο το 2ο Νόμο. Πιστεύω ότι αυτό μπορεί να γίνει απλά κάνοντας ρητές τις κοινές τους εμπειρίες για την ενέργεια. Ίσως, τότε, στο μέλλον, θα αντιλαμβάνονται την ανάγκη να χρησιμοποιούν του πόρους του κόσμου (συγκεντρώσεις ύλης και ενέργειας) πιο προσεκτικά – την ανάγκη να παίρνουμε τη μέγιστη αξία ως καυσίμου από

αυτά προτού η ύλη διασκορπιστεί (προκαλώντας ρύπανση) και η διαθέσιμη ενέργεια καταναλωθεί (ο ευτελισμός της άχρηστης θερμότητας).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μαθητές μου στους οποίους οι ιδέες αυτές εφαρμόστηκαν καθώς και τους Steve Whitworth, Clive Sutton, Jon Ogborn και πολλούς άλλους που έκαναν χρήσιμα σχόλια σε αρχικές μορφές αυτού του άρθρου.

Αναφορές

1. Από δική μου αδημοσίευτη έρευνα στον τρόπο που οι άνθρωποι κατανοούν τα καύσιμα και την καύση.
2. Brooks, A. and Driver, R. Aspects of secondary students' understanding of energy: summary report. Children's Learning in Science Project (University of Leeds, 1984).
3. Lyth, M., (ed). Exploring Science: Making Patterns I. (Longmans, 1985).
4. Association for Science Education, Science and Technology in Society (SATIS), Book 3 SATIS number 308 (ASE, 1986).
5. Ogborn, J. Energy and fuel: the meaning of "the go of things". School Science Review, 1986, 242, 68, 30-5.
6. Solomon, J. How children learn about energy, or Does the first law come first? School Science Review, 1982, 224, 63, 415-22.
7. Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A. (eds). Children's Ideas in Science (Open University Press, 1985).
8. Johnstone, A. H. and Webb, C. Energy Chaos and Chemical Change, (Heinemann, 1977).
9. Δείτε τα σχόλιά μου στην τελευταία παράγραφο σχετικά με το πρόβλημα χρήσης της λέξης «καύσιμο» υπό αυτή την ευρύτερη έννοια.
10. Σημειώστε ότι το ATP έχει έναν ασθενή δεσμό σε αυτό ώστε όταν υδρολύεται υπάρχει απελευθέρωση ενέργειας καθώς σχηματίζονται ισχυρότεροι δεσμοί στο σύστημα ADP/φωσφορικό άλας. Για περισσότερες λεπτομέρειες δείτε: Gayford, C. G. Some aspects of the problems of teaching about energy in school biology, Eur. J. Sci. Educ., 1986, 3, 8, 443-50 και Novik, S. No energy storage in chemical bonds, J. Bio. Educ. 1986, 3, 10, 116-18.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

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

Τι είναι η φύση της επιστήμης και γιατί οι μαθητές πρέπει να μαθαίνουν γι’ αυτήν

Νίκος Κανδεράκης

Αφορμή για το κείμενο αυτό στάθηκε κάτι στα νέα προγράμματα σπουδών Φυσικής του Γενικού Λυκείου (ΦΕΚ 180/23-1-2015 και ΦΕΚ 184/23-1-2015) που “βγάζει μάτι”: σχεδόν σε κάθε κεφάλαιο επαναλαμβάνεται ως στόχος ότι «οι μαθητές πρέπει να γνωρίσουν την επιστημονική μέθοδο» ή ότι πρέπει «να περιγράφουν τα βασικά βήματα της επιστημονικής μεθόδου». Η εμμονή αυτή θέλει διερεύνηση. Υπάρχει μόνο μία επιστημονική μέθοδος; Ή μήπως υπάρχουν πολλές, όπως υποστηρίζουν οι περισσότεροι φιλόσοφοι και ιστορικοί της επιστήμης; Και αν υπάρχουν πολλές, ποιές είναι αυτές;

Το ζήτημα είναι προτιμότερο να ενταχθεί μέσα σε ένα πιο γενικό θέμα. Ποια είναι η φύση της επιστήμης ή, ειδικότερα, ποια είναι τα γενικά χαρακτηριστικά της επιστήμης (με τη λέξη αυτή υποδηλώνονται οι Φυσικές επιστήμες), τα οποία την ξεχωρίζουν από τις άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες; Σε στενή σχέση με αυτό είναι και το πώς παράγεται η επιστημονική γνώση (το παραγόμενο από την επιστημονική δραστηριότητα προϊόν), ποια είναι τα χαρακτηριστικά της και πώς αυτά διαφοροποιούν την επιστημονική γνώση από τις άλλες ανθρώπινες γνώσεις; Τέλος, έχει ενδιαφέρον να εξετασθεί γιατί οι μαθητές πρέπει να μαθαίνουν για τη φύση της επιστήμης, τι θα κερδίσουν από αυτό, και τι θα κερδίσει η κοινωνία από αυτό;

Βασικά χαρακτηριστικά της επιστήμης

Τα χαρακτηριστικά της επιστήμης θα αναπτυχθούν κάπως λειασμένα, ώστε να συμφωνούν με το γνωσιακό υπόβαθρο και τις δυνατότητες των μαθητών. Φιλοσοφικές κριτικές σε όψεις των χαρακτηριστικών αυτών, όπως π.χ. η συζήτηση για το αν επηρεάζονται ή όχι οι παρατηρήσεις από τη θεωρία την οποία ελέγχουν, ή αναφορές στις λεπτές αποχρώσεις τους, είναι μάλλον ακατάλληλες για τη σχολική τάξη.

Τα πιο σημαντικά από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι τα εξής (Cromer, 1993; Αραμπατζής κ.ά., 2000; Lederman et al, 2002; Γαβρόγλου, 2004; Chalmers, 2007; McComas, 2008a και 2008b; Matthews, 2012):

- I. Η επιστημονική γνώση προκύπτει, συχνά έμμεσα, από αντικειμενικά ή μάλλον διϋποκειμενικά εμπειρικά δεδομένα και στηρίζεται πάνω στα δεδομένα αυτά. Οι επιστημονικές απόψεις, επομένως, είναι καλά τεκμηριωμένες, αφού στηρίζονται γερά πάνω σε εμπειρικά στοιχεία, σε αντίθεση με άλλες δημόσιες απόψεις (πολιτικές, ιδεολογικές, αισθητικές κ.λπ.), οι οποίες είναι από μετρίως έως καθόλου τεκμηριωμένες.
- II. Η επιστημονική γνώση είναι προσωρινή - υφίσταται κατά διαστήματα σημαντικές αναθεωρήσεις - αλλά διάγει και μακρές περιόδους σταθερότητας. Οι αναθεωρήσεις επιβάλλονται κυρίως λόγω της εμφάνισης νέων εμπειρικών στοιχείων, αλλά συχνά και για λόγους αισθητικούς, οικονομίας των υποθέσεων κ.ά. (όπως συνέβη π.χ. στην αναθεώρηση του γεωκεντρικού συστήματος του κόσμου από τον Κοπέρνικο). Οι νέες γνώσεις, πέρα από τα παλιά στοιχεία, μπορούν να εξηγήσουν και τα νέα στοιχεία ή να εξηγήσουν τα παλιά στοιχεία με πιο κομψό, γενικό και οικονομικό τρόπο. Η επιστημονική γνώση επίσης αλλάζει, και αλλάζει ριζικά, όταν εισάγονται νέα μεθοδολογικά εργαλεία στην επιστημονική έρευνα. Αυτό συνέβη π.χ. τον 17^ο αιώνα όταν εισήχθησαν τα μαθηματικά και το πείραμα στη μελέτη της φύσης.
- III. Η επιστήμη, από την εμφάνισή της στις αρχαίες ελληνικές δημοκρατικές πόλεις, έχει εγγενώς δημόσιο χαρακτήρα. Η επιστημονική έρευνα μπορεί κάποιες φορές να γίνεται ιδιωτικά, τα αποτελέσματά της όμως, αλλά και οι μέθοδοι με τις οποίες αυτά προέκυψαν, κοινοποιούνται πάντοτε στο δήμο (τουλάχιστον στη βασική επιστήμη), ώστε να συζητηθούν και να τους ασκηθεί δημόσια κριτική. Τα αποτελέσματα αυτά γίνονται αποδεκτά από τις σχετικές επιστημονικές κοινότητες μόνο αφού περάσουν τη βάσανο πολλαπλών ελέγχων. Αν και κατά καιρούς διάφορα επιστημονικά ιερατεία καταφέρνουν να επιβάλουν τις απόψεις τους, πνίγοντας όλες τις άλλες, η ικανοποιητική λειτουργία των επιστημονικών κοινοτήτων απαιτεί ένα μίνιμουμ δημοκρατικής λειτουργίας (τουλάχιστον στα επιστημονικά ζητήματα) και τη δυνατότητα της έκφρασης όλων των απόψεων, συμπεριλαμβανομένης της κριτικής.
- IV. Η επιστήμη είναι μια εγγενώς κοινωνική δραστηριότητα. Ακόμη και όταν ένας ερευνητής εργάζεται μόνος του - πολύ σπάνιο στη σημερινή εποχή - η ερευνητική του ατζέντα προσδιορίζεται είτε από την ευρύτερη κοινωνία (π.χ. για τη θεραπεία μιας αρρώστιας) είτε από τη μικροκοινωνία με την οποία συζητά και συνδιαλέγεται. Για παράδειγμα, η βασική ερευνητική ατζέντα του Νεύτωνα στη μηχανική, δηλαδή η εξήγηση της τροχιακής κίνησης των πλανητών με μια συμβατή με την αρχή της αδράνειας φυσική, είχε ήδη τεθεί σε γενικές γραμμές από τους Γαλιλαίο, Descartes, Huygens κ.λπ.
- V. Η επιστήμη είναι μια ανθρώπινη δραστηριότητα που γίνεται πάντοτε για κάποιο σκοπό. Η επιστημονική δραστηριότητα είναι ένα ανθρώπινο εγχείρημα, τμήμα της κουλτούρας της κοινωνίας που την ασκεί. Έχει σημασία επομένως, για να προωθηθεί η ανάπτυξη της επιστήμης, κάποιες από τις αξίες και τις πρακτικές της επιστήμης (όπως η ελεύθερη διατύπωση απόψεων ή η ανοχή στην κριτική) να γίνουν, με την εκπαίδευση, κτήμα της

καλλιέργειας των νέων, ακόμα και αν αυτοί δεν πρόκειται να γίνουν επιστήμονες ή μηχανικοί. Η επιστημονική δραστηριότητα, όμως, έχει πάντοτε ένα συγκεκριμένο στόχο. Παραδείγματος χάριν, δεν αρχίζει κανείς να μελετά, χωρίς λόγο, το εκκρεμές. Το κάνει γιατί κάτι επιδιώκει. Ο Γαλιλαίος μελετά το εκκρεμές ως ένα είδος δεσμευμένης πτώσης, μέρος της μελέτης της πτώσης των σωμάτων, με στόχο να πολεμήσει την αριστοτελική φυσική και τελικά την αριστοτελική κοσμολογία (γεωκεντρισμό). Ο Huygens το μελετά για να βελτιώσει τα μηχανικά ρολόγια. Και ούτω καθεξής.

- VI. Η επιστήμη αρκείται στις φυσικές εξηγήσεις των φαινομένων και εξοστρακίζει από τη συζήτηση όλες τις υπερφυσικές εξηγήσεις όπως π.χ. τη δράση των θεών (στην αρχαιότητα) ή του Θεού (στη νεώτερη εποχή).

Είναι αλήθεια, βέβαια, ότι στα νεώτερα χρόνια κάποιοι ερευνητές, παράλληλα με τη φυσική επιχειρηματολογία, χρησιμοποίησαν και μεταφυσικά ή θεολογικά επιχειρήματα για να υποστηρίξουν τις βασικές παραδοχές τους (ή τις υποθέσεις τους), τα ίδια τα φαινόμενα όμως εξηγούνταν μόνο από τις φυσικές αρχές και όχι από τις θεϊκές ενέργειες. Ο Leibniz π.χ. επιστρατεύει το αλάθητο του Θεού για να στηρίξει την αρχή της διατήρησης της $vis\ viva$ ($m \cdot v^2$) που προτείνει (Alexander, 1998). Αυτό όμως είναι ένα εκ των υστέρων επιχείρημα, το οποίο παρουσιάζεται αφού έχει ήδη συνάγει την αρχή αυτή από την ανάλυση συγκεκριμένων φαινομένων (με φυσικούς και μαθηματικούς συλλογισμούς), και αφού την έχει χρησιμοποιήσει για να εξηγήσει άλλα φαινόμενα (Leibniz, 1989).

Συμβαίνει επίσης συχνά, να επηρεάζεται θετικά ένας ερευνητής από διάφορες μεταφυσικές δοξασίες και να οδηγείται σε έννοιες και αρχές ιδιαίτερα παραγωγικές. Σπάνια όμως οι δοξασίες αυτές καταγράφονται στα δημοσιευμένα κείμενα. Ξέρουμε, παραδείγματος χάριν, ότι ο Νεύτων επηρεάστηκε ισχυρά από τις αλχημικές ιδέες, και ιδιαίτερα από την ιδέα ότι υπάρχουν «ενεργές αρχές» στην ύλη που προκαλούν φαινόμενα, για να διαμορφώσει τη βαρύτητα ως δύναμη εξ αποστάσεως. Το δημοσιευμένο προϊόν των ερευνών του όμως - τα Principia Mathematica - χαρακτηρίζεται από ψυχρό ορθολογισμό, χωρίς μεταφυσικές αιτίες και εξηγήσεις (Westfall, 1983).

- VII. Στα νεώτερα χρόνια, η επιστήμη βρίσκεται σε συνεχή αλληλεπίδραση με την τεχνολογία.

Μετά την επιστημονική επανάσταση, και ακόμη περισσότερο μετά τη βιομηχανική επανάσταση, η επιστήμη συνδέεται στενά με τις τεχνολογικές καινοτομίες. Νέα τεχνικά εργαλεία (τηλεσκόπιο, μικροσκόπιο κ.ά.) οδηγούν σε νέες επιστημονικές ανακαλύψεις, ενώ νέες επιστημονικές θεωρίες ή και νέες επιστημονικές μέθοδοι οδηγούν (μέσα από περίπλοκες συνήθως διαδρομές) σε τεχνολογικές καινοτομίες (π.χ. ατμομηχανή, ηλεκτροκινητήρες κ.ά.).

- VIII. Η επιστήμη κατακτά την επιστημονική γνώση με πολλές και διαφορετικές μεθόδους και πρακτικές. Οι πρακτικές όμως αυτές δεν είναι ποτέ αλγοριθμικές – σειρές προκαθορισμένων

ενεργειών που οδηγούν απρόσκοπτα στο αποτέλεσμα – αλλά περίπλοκες δραστηριότητες που απαιτούν μεγάλες δόσεις δημιουργικότητας και φαντασίας.

Κάποιες από τις μεθόδους και πρακτικές αυτές είναι οι εξής:

- Η κατηγοριοποίηση και η ταξινόμηση (όπως π.χ. στα βιολογικά είδη ή στις χημικές ουσίες).
- Η επαγωγική γενίκευση, δηλαδή η συναγωγή καθολικών προτάσεων από ένα περιορισμένο αριθμό εμπειρικών δεδομένων. Παραδείγματος χάριν, από την εμπειρική διαπίστωση ότι μια σειρά οξέων έχει όξινη γεύση συνάγεται ότι τα οξέα έχουν όξινη γεύση.
- Η δημιουργία εξηγητικών υποθέσεων με «απαγωγή» ή «συναγωγή στην καλύτερη εξήγηση». Κατά τη μελέτη μιας ομάδας συναφών φαινομένων προτείνεται (συχνά με τη βοήθεια μιας αναλογίας) μια γενική πρόταση - μια υπόθεση - η οποία μπορεί να εξηγήσει τα φαινόμενα αυτά. Παραδείγματος χάριν, για να εξηγηθεί η ασυμφωνία που παρατηρήθηκε ανάμεσα στην κατανομή των ταχυτήτων των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων στις διασπάσεις-β (των ατομικών πυρήνων) με την αρχή της διατήρησης της ενέργειας, προτάθηκε το 1930 από τον Pauli η ύπαρξη ενός νέου σωματιδίου, του νετρίνου, το οποίο θα μοιράζονταν την παραγόμενη ενέργεια με το ηλεκτρόνιο. Το νεutrino ανιχνεύθηκε μόλις το 1956.
- Η λογικο-παραγωγική και μαθηματική επεξεργασία των υποθέσεων μαζί με γνωστές φυσικές αρχές και νόμους, ώστε να παραχθούν νέες προτάσεις - σχέσεις μεταξύ φυσικών μεγεθών ή εννοιών.
- Ο έλεγχος των υποθέσεων, ή των συμπερασμάτων που συνάγονται από αυτές, με πειράματα.

Το πείραμα ως εργαλείο ελέγχου των υποθέσεων (αλλά και ως τρόπος διερεύνησης των φαινομένων) είναι από τις σημαντικότερες καινοτομίες της νεώτερης επιστήμης. Με τη βοήθεια των πειραμάτων, πολλά από τα οποία διεξάγονταν και δημόσια (π.χ. κατά τις συναντήσεις της Royal Society στο Λονδίνο), αυξήθηκε σημαντικά η αξιοπιστία της επιστημονικής γνώσης.

- Η χρήση του πειράματος ως μέσου πραγμάτωσης των φαινομένων σε ελεγχόμενες συνθήκες και της συστηματικής διερεύνησής τους. Κλασικό παράδειγμα είναι η πειραματική ανάδειξη και διερεύνηση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής από τον Faraday, και η συναγωγή των βασικών νόμων που την διέπουν.
- Η κατασκευή και η διαχείριση μοντέλων.

Αν και υπάρχουν πολλές και διαφορετικές χρήσεις των μοντέλων στην επιστήμη (Matthews, 2012), έχει ενδιαφέρον να δούμε τα μοντέλα που κατασκευάζονται για την εφαρμογή των θεωριών σε νέες φυσικές καταστάσεις. Στη Φυσική, αλλά και στις

επιστήμες που τη χρησιμοποιούν (αστρονομία, γεωδυναμική, μετεωρολογία κλπ), για να εφαρμοσθεί μια θεωρία στον σύνθετο και περίπλοκο φυσικό κόσμο, χρειάζεται πάντοτε η κατασκευή απλοποιημένων φυσικών μοντέλων, μέσα από μια σειρά από απλοποιήσεις, προσεγγίσεις και εξιδανικεύσεις των εξεταζόμενων φυσικών καταστάσεων. Από τα φυσικά μοντέλα, στη συνέχεια, παράγονται μαθηματικά μοντέλα, δηλαδή σύνολα μαθηματικών σχέσεων, από την επεξεργασία των οποίων προκύπτουν συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των εξεταζόμενων φυσικών συστημάτων. Τα μοντέλα αυτά κατασκευάζονται επίσης και για να ανακαλυφθούν-δημιουργηθούν οι νέες θεωρητικές επιστημονικές γνώσεις. Η επιστημονική γνώση έχει πάντα ένα στοιχείο ανακάλυψης (πώς συμπεριφέρεται η φύση;) και ένα στοιχείο δημιουργίας-κατασκευής (πώς προσδιορίζονται οι έννοιες με τις οποίες θα περιγράψουμε και θα διερευνήσουμε τη φύση;). Στις επιστήμες που αναφέραμε, τόσο η δημιουργία όσο και η εφαρμογή της επιστημονικής γνώσης δε γίνεται στον πραγματικό κόσμο (λόγω της περιπλοκότητάς του) αλλά σε απλοποιημένα και εξιδανικευμένα μοντέλα του (Halloun, 2006).

- Η εξήγηση γνωστών φαινομένων με τη βοήθεια της θεωρίας και των θεωρητικών εννοιών της. Παραδείγματος χάριν, η εξήγηση των παλιρροιών με τη βοήθεια των εννοιών, των αρχών και των νόμων της νευτώνειας μηχανικής.
- Η πρόβλεψη νέων φαινομένων.

Η εφαρμογή μιας θεωρίας σε νέες καταστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε προβλέψεις φαινομένων που δεν είχαν παρατηρηθεί μέχρι τότε. Η πειραματική ή η παρατηρησιακή επαλήθευση των προβλέψεων αυτών είναι ένα πολύ ισχυρό στοιχείο για την αποδοχή μιας νέας θεωρίας. Για παράδειγμα, η γενική θεωρία της σχετικότητας προέβλεπε ότι πολύ βαριά ουράνια σώματα, όπως ο Ήλιος, κάμπτουν τις φωτεινές ακτίνες που περνούν από κοντά τους (λόγω της βαρυτικής έλξης), και επομένως οι αστέρες που φαίνονται πολύ κοντά στον Ήλιο, και των οποίων οι φωτεινές ακτίνες περνούν σχεδόν εφαπτομενικά από τον Ήλιο, έπρεπε να φαίνονται ότι μετατοπίζονται στον ουρανό σε σχέση με τις γνωστές θέσεις τους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε το 1919 κατά την ολική έκλειψη του Ήλιου (μόνο τότε μπορούν να παρατηρηθούν οι αστέρες κοντά στον Ήλιο), και συνέβαλε αποφασιστικά στην αποδοχή της γενικής σχετικότητας.

Δεν υπάρχει, επομένως, μία μόνο επιστημονική μέθοδος. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι και πρακτικές, οι οποίες συχνά διαφέρουν από τον ένα επιστημονικό κλάδο στον άλλο, και από τη μία εξεταζόμενη φυσική κατάσταση στην άλλη, και χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση. Όπως γράφουν οι Lederman et al., «δεν υπάρχει καμιά μοναδική επιστημονική μέθοδος που να

εγγυάται την ανάπτυξη αλάθητης γνώσης ... Επίσης, δεν υπάρχει καμιά μοναδική σειρά δραστηριοτήτων (ως συνταγή ή κάπως αλλιώς) που να οδηγεί χωρίς λάθος σε λειτουργικές ή έγκυρες λύσεις ή απαντήσεις ...» (Lederman et al, 2002, σελ. 501-502). Είναι αλήθεια βέβαια ότι η υποθετικο-παραγωγική μέθοδος, η οποία προτείνεται συχνά ως η επιστημονική μέθοδος, είναι συνήθως ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζεται η έρευνα στα επιστημονικά περιοδικά. Αυτό δε σημαίνει όμως ότι έτσι γίνεται στην πράξη, στα εργαστήρια και στα σπουδαστήρια, η επιστημονική έρευνα.

IX. Βασικά στοιχεία της επιστημονικής γνώσης

Τα βασικά στοιχεία της επιστημονικής γνώσης είναι οι επιστημονικές έννοιες (π.χ. η έννοια «μάζα»), οι πειραματικοί νόμοι (π.χ. ο νόμος του Ohm), οι φυσικές αρχές (π.χ. η αρχή της διατήρησης της ενέργειας), τα μοντέλα (π.χ. το μοντέλο των ιδανικών αερίων) και οι θεωρίες (π.χ. η ειδική θεωρία της σχετικότητας). Σύμφωνα με τον Ben-Ari, «μια επιστημονική θεωρία είναι ένα περιεκτικό και συνεκτικό σύνολο εννοιών, ισχυρισμών και νόμων (συχνά διατυπωμένων μαθηματικά), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει και να προβλέψει φυσικά φαινόμενα ορθώς και με ακρίβεια. Μια θεωρία συχνά περιλαμβάνει και ένα μηχανισμό που εξηγεί πώς οι έννοιες, οι ισχυρισμοί και οι νόμοι της προκύπτουν από θεωρίες χαμηλότερου επιπέδου [π.χ. μικροσκοπικού].» (Ben-Ari, 2005, σελ. 24).

Γιατί πρέπει οι μαθητές να μαθαίνουν για τη φύση της επιστήμης;

Το ερώτημα «γιατί οι μαθητές πρέπει να μαθαίνουν για τη φύση της επιστήμης» μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά από περισσότερα στοχευμένα ερωτήματα. Τα ερωτήματα αυτά, μαζί με κάποιες απόπειρες απάντησης, είναι τα εξής:

- a. Έχει αξία η φύση της επιστήμης αυτή καθαυτή (και ειδικότερα η μεθοδολογική συνιστώσα της επιστήμης), ως αντικείμενο διδασκαλίας;

Η απάντηση είναι περίπου αυτονόητη. Επιστήμη δεν είναι μόνο το σώμα των επιστημονικών γνώσεων, αλλά και οι μέθοδοι και οι πρακτικές με τις οποίες αυτή η γνώση ανακαλύπτεται-δημιουργείται. Επομένως, η δεύτερη αυτή συνιστώσα της επιστήμης πρέπει και αυτή να διδάσκεται στα σχολεία, όχι όμως ως δηλωτική γνώση, αλλά ως διαδικαστική γνώση: στην πράξη, μέσα από δραστηριότητες (Κουμαράς, 2015α).

- b. Μπορεί η φύση της επιστήμης να βοηθήσει στη διδασκαλία και στην κατανόηση του περιεχομένου της επιστήμης, δηλαδή των επιστημονικών εννοιών;

Κυρίαρχο μοντέλο σήμερα για τη διδασκαλία και τη μάθηση της επιστήμης είναι το διερευνητικό μοντέλο (ή απλούστερα η διερεύνηση). Βασικό χαρακτηριστικό της διερεύνησης είναι η μετατόπιση του κέντρου βάρους της διδασκαλίας από το περιεχόμενο της επιστήμης στις μεθόδους και τις πρακτικές της. Η μετατόπιση αυτή, που σημαίνει ενεργό και δημιουργική συμμετοχή των μαθητών στη διδασκαλία, αναμένεται να προσελκύσει το ενδιαφέρον των

μαθητών (με την προϋπόθεση ότι οι σχετικές δραστηριότητες δεν είναι ρουτινιάρικες και βαρετές), και να βελτιώσει την κατανόηση των επιστημονικών εννοιών. Η κατανόηση όμως αυτή διευκολύνεται και για ένα επιπρόσθετο λόγο. Συχνά το νόημα των επιστημονικών εννοιών και νόμων κατακτάται αποτελεσματικότερα μέσα από τις διαδικασίες της δημιουργίας τους. Για παράδειγμα, η έννοια της πίεσης γίνεται περισσότερο καθαρή αν δει κανείς (έμπρακτα) τα προβλήματα, τα πειράματα και τους συλλογισμούς που οδήγησαν στη δημιουργία της (Κουμαράς, 2015β).

Επιπλέον, ο επιστημονικός εγγραμματισμός (βασικές γνώσεις τόσο του περιεχομένου όσο και των πρακτικών της επιστήμης για το σύνολο του μαθητικού πληθυσμού) είναι ένας από τους δύο κεντρικούς σκοπούς των προγραμμάτων σπουδών για τις επιστήμες σχεδόν σε ολόκληρο τον κόσμο (ο άλλος είναι η προετοιμασία ενός αριθμού μαθητών για επιστημονική καριέρα). Όμως, ένα σημαντικό στοιχείο του επιστημονικού εγγραμματισμού είναι η γνώση (σε κάποιο βαθμό) της φύσης της επιστήμης. Για παράδειγμα, οι βασικές δεξιότητες που αξιολογεί το P.I.S.A., για τον επιστημονικό εγγραμματισμό αφορούν: «την εξήγηση των φαινομένων με επιστημονικό τρόπο», «το σχεδιασμό και την αξιολόγηση μιας επιστημονικής αναζήτησης», και «την ερμηνεία εμπειρικών και άλλων δεδομένων με επιστημονικό τρόπο». Οι δεξιότητες αυτές, εκτός από το περιεχόμενο της επιστήμης, απαιτούν και κατανόηση του πώς ανακαλύπτονται-δημιουργούνται και καθιερώνονται οι επιστημονικές γνώσεις, και με ποιους τρόπους αποκτούν την εγκυρότητα και την αξιοπιστία τους (OECD, 2013). Δηλαδή απαιτούν και κάποια γνώση της φύσης της επιστήμης.

- c. Σε τι θα ωφεληθούν οι μαθητές (και μελλοντικοί πολίτες) από τη γνώση της φύσης της επιστήμης; Σε τι θα ωφεληθεί η κοινωνία από τη γνώση αυτή;

Σχεδόν κάθε μέρα διαβάζουμε και ακούμε για διάφορα κοινωνικο-επιστημονικά και τεchnο-επιστημονικά ζητήματα όπως η κλιματική αλλαγή, τα μεταλλαγμένα τρόφιμα κ.λπ. Για να τα κατανοήσει αυτά ο πολίτης, και για να μπορεί να αξιολογεί τις αλληλοσυγκρουόμενες απόψεις που κυκλοφορούν, πράγμα κατ' αρχήν χρήσιμο για τον ίδιο, οφείλει να έχει κάποια γνώση όχι μόνο για το περιεχόμενο, αλλά και για τη φύση της επιστήμης. Οι γνώσεις και οι δεξιότητες αυτές, καθώς και η καλλιέργεια μιας πιο ορθολογικής (επιστημονικής) αντιμετώπισης των προβλημάτων (π.χ. να εξάγει συμπεράσματα βασισμένος σε στοιχεία), θα του επιτρέπουν, επιπλέον, να παίρνει περισσότερο εμπεριστατωμένες θέσεις πάνω σε διάφορα ζητήματα, οι οποίες θα εκφραστούν με κάποιο τρόπο και στις πολιτικές αποφάσεις, βελτιώνοντας τη λειτουργία της δημοκρατίας.

Συμπέρασμα

Στο κείμενο παρουσιάστηκαν διάφορα χαρακτηριστικά της επιστήμης, όπως π.χ. ότι είναι μια εγγενώς κοινωνική δραστηριότητα, ότι είναι τμήμα της κουλτούρας μιας κοινωνίας, και ότι έχει

δημόσιο χαρακτήρα, καθώς και κάποια χαρακτηριστικά της επιστημονικής γνώσης, όπως ότι προκύπτει από εμπειρικά στοιχεία και ότι έχει προσωρινό χαρακτήρα. Επίσης, καταγράφηκαν πολλές και διαφορετικές μέθοδοι και πρακτικές που χρησιμοποιεί η επιστήμη, όπως η επαγωγική γενίκευση, η πειραματική διερεύνηση των φαινομένων, η κατασκευή και η διαχείριση μοντέλων κ.λπ. Ένα συμπέρασμα που προκύπτει από την περιήγηση αυτή είναι ότι δεν υπάρχει μία και μοναδική επιστημονική μέθοδος – η υποθετικο-παραγωγική – η οποία εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις, αλγοριθμικά, και χωρίς πρωτότυπη σκέψη, αλλά πολλές και διαφορετικές μέθοδοι, χρησιμοποιούμενες ανάλογα με την εξεταζόμενη περίπτωση, και οι οποίες απαιτούν φαντασία και δημιουργική σκέψη.

Τέλος παρουσιάστηκαν μερικές ιδέες γιατί και πώς πρέπει να διδάσκεται η φύση της επιστήμης στα σχολεία και σε τι θα ωφεληθούν οι μαθητές και η κοινωνία από αυτό. Κατ' αρχάς, η φύση της επιστήμης είναι μια βασική συνιστώσα τόσο της διερεύνησης (κυρίαρχης σήμερα πρότασης για τη διδασκαλία της επιστήμης) όσο και του επιστημονικού εγγραμματισμού (κοινού σκοπού των περισσότερων προγραμμάτων σπουδών). Πέρα από αυτό, η έμπρακτη, και όχι ως μεταφορά γνώσης, γνωριμία των μαθητών με τη φύση της επιστήμης, και ιδιαίτερα με τις μεθόδους και τις πρακτικές της, διευκολύνει τους νέους να σκέφτονται ορθολογικά, με θετικές συνέπειες τόσο για την προσωπική τους ανάπτυξη όσο και για τη λειτουργία της δημοκρατίας.

Βιβλιογραφία

- Alexander, H.G. (1995). *The Leibniz-Clarke Correspondence*. Manchester University Press, Manchester.
- Αραμπατζής, Θ., κ.α. (2000). *Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας*. ΟΕΔΒ, Αθήνα
- Ben-Ari, M. (2015). *Just a Theory: Exploring the Nature of Science*. Prometheus Books, Amherst N.Y.
- Γαβρόγλου, Κ. (2004). *Το Παρελθόν των Επιστημών ως Ιστορία*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- Chalmers, A. (2007). *Τι Είναι αυτό που το λέμε Επιστήμη*; Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- Cromer, A. (1993). *Uncommon Sense: The Heretical Nature of Science*. Oxford University Press, Oxford.
- Halloun, I. (2006). *Modeling Theory in Science Education*. Springer, Dordrecht.
- Κουλαϊδής, Β. κ.α. (2008). *Η Φύση των Επιστημών: Διδακτικές Προσεγγίσεις*. Child Services, Αθήνα.
- Κουμαράς, Π. (2015α). Η Φυσική δεν είναι μόνο Εννοιολογικό Περιεχόμενο, είναι επίσης Μεθοδολογία Λύσης (καθημερινών) Προβλημάτων και Στάση Ζωής. *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*, 6, 19-28.
- Κουμαράς, Π. (2015β). *Μονοπάτια της Σκέψης στον Κόσμο της Φυσικής: για την Ανάπτυξή της, για τη Διδασκαλία της, για τη Μάθησή της*. Gutenberg, Αθήνα, υπό έκδοση.
- Lederman, N., Abd-el-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Towards Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (6), 497-521.
- Leibniz G.W. (1989). Specimen Dynamicum. Στο L. Loemker (ed.), *Leibniz, Philosophical Paper and Letters*. Kluwer, Dordrecht.

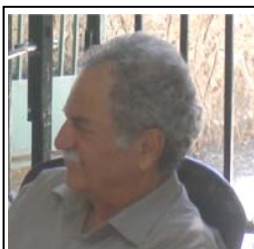
Matthews, M. (2012). Changing the Focus: From Nature of Science (NOS) to Features of Science (FOS). In M. S. Khine, *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies*. Springer, Dordrecht.

McComas, W. (2008a). *Ιδέες-κλειδιά για τη Διδασκαλία της Φύσης της Επιστήμης*. Στο Κουλαϊδής 2008.

McComas, W. (2008b). *Τα κυριώτερα Στοιχεία της Φύσης της Επιστήμης: Καταρρίπτοντας Μύθους*. Στο Κουλαϊδής 2008.

OECD, (2013). *PISA 2015: Draft Science Framework*. Διαθέσιμο στη διεύθυνση <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>.

Westfall, R. (1983). *Never at Rest: a Biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press, Cambridge.



Ο Νίκος Κανδεράκης έχει σπουδάσει Φυσική στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και έχει κάνει διδακτορικό στην Ιστορία και τη Φιλοσοφία των Επιστημών στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Έχει δουλέψει πολλά χρόνια στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Τα ενδιαφέροντά του εστιάζονται στην Ιστορία της Φυσικής και στη σχέση της με τη διδασκαλία της.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

Η ηθική διάσταση στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Στέλλα Χατζίκου και Ιωάννης Ν. Μαρκόπουλος

Η ανάδυση των σύγχρονων κοινωνικο-ηθικών, περιβαλλοντικών και βιοηθικών, υπό την ευρύτερη έννοια, προβλημάτων, που απειλητικά έρχονται στο προσκήνιο, λόγω της ανεξέλεγκτης ανάπτυξης της επιστήμης και των νέων τεχνολογιών, υπαγορεύουν την αδήριτη ανάγκη για μια ηθική θέση, και ανάλογη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (εφεξής ΦΕ) και των επιτευγμάτων τους.

Με δεδομένο ότι η φιλοσοφία των ΦΕ, με τον ενοποιητικό της ρόλο, επικεντρώνει το ενδιαφέρον της στην κριτική θεώρηση και αξιολόγησή τους και στη διερεύνηση της ουσίας και της σημασίας των επιστημονικών εννοιών, αρχών, θεωριών, πηγών γνώσης, μεθόδων αλλά και των επιτευγμάτων τους, είναι προφανές ότι οι ΦΕ, η φιλοσοφία τους αλλά και η διδασκαλία τους είναι άρρηκτα συνυφασμένες. Έτσι, παρόλη την εξειδίκευση της γνώσης και τον συνακόλουθο διαμελισμό της σκέψης, υπάρχει πράγματι, στην ενασχόλησή μας με τις επιστήμες αυτές, η αναπόφευκτη ανάγκη για ένα ενοποιημένο επιστημονικό, επιστημολογικό – με το διευρυμένο αξιακό περιεχόμενο των επιστημών αυτών – και διδακτικό εγχείρημα.

Η διδασκαλία επομένων των ΦΕ δεν μπορεί παρά να θεωρηθεί ενοποιημένα με το αξιακό τους περιεχόμενο, την αξιολόγηση των αρχών, μεθόδων και επιτευγμάτων τους, και με την ηθική διάστασή τους.

Η Διδασκαλία των ΦΕ και οι Επιστημικές τους Αξίες

Όπως και σε άλλη θέση έχει σχετικώς αναφερθεί, «Από όλες τις αξιωματικές παραδοχές για τη δόμηση της φυσικής επιστήμης και της επιστημονικής μας κοσμοεικόνας, η παραδοχή ότι επιστήμη και ηθική είναι αδιαχώρητες και ανεξάρτητες η μια από την άλλη, είναι ίσως η πιο θεμελιώδης, αλλά συγχρόνως και η πιο ευάλωτη σε παρερμηνείες. Τόσο κατά τη γέννησή της – τον 6^ο π.Χ. αιώνα στις ακτές της Ιωνίας – όσο και στα στάδια της μετέπειτα εκδίπλωσης και ανάπτυξής της – κυρίως τον 17^ο αιώνα και στη συνέχεια, με αλματώδη βήματα, στον 19^ο και προπαντός βέβαια στον 20^ο αιώνα – η φυσική επιστήμη έπρεπε για να εδραιωθεί ως αντικειμενική αλήθεια και γνώση να μείνει μακριά από υποκειμενικές αξίες και αρχές. Η επιστημονική μέθοδος προσέγγισης της αντικειμενικής γνώσης, το αίτημα δηλαδή της αντικειμενικότητας στη γνώση, είναι εξ ορισμού ανεξάρτητο και ανεπηρέαστο από την ηθική και τις

αξιολογικές της κρίσεις. Αυτή η τόσο κοινότοπη και σχεδόν αυτονόητη καταστατική αρχή, ενταγμένη σήμερα μέσα στο ασφυκτικό αλλά και ανούσιο πλαίσιο μιας άκρως θετικιστικής θεώρησης της φύσης, έχει αποκτήσει νοηματικές και πρακτικές προεκτάσεις, που είναι κοινωνικά προβληματικές και σίγουρα δεν της ανήκουν εγγενώς» (Μαρκόπουλος, 2011).

Οι θέσεις αυτές – ότι επιστήμη και ηθική δεν συνυπάρχουν (αδιαχώρητες) και είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη – υποστηρίζονται και από το λογικό θετικισμό (ή λογικό εμπειρισμό, επιστημονικό εμπειρισμό ή και νεοθετικισμό), τουλάχιστον κατά το ξεκίνημά του, και την «επιστημονική κοσμοαντίληψη», που αυτός πρέσβευε, όπως σχετικώς υποστηρίζεται από τον Κύκλο της Βιέννης. Η διδασκαλία του Κύκλου της Βιέννης, που ταυτίζεται και απαντάται και με την ονομασία λογικός θετικισμός, εμμένοντας στον αυστηρό διαχωρισμό είναι και δέοντος, γεγονότων και αξιών, θεωρεί ότι η σχέση ΦΕ και ηθικής, και επομένως και η ηθική θέαση των ΦΕ, δεν είναι αποδεκτή. Στο πλαίσιο της αντιφιλοσοφικής θέσης του λογικού θετικισμού, της λογικο-σημασιολογικής ανάλυσης της γλώσσας, που είναι βέβαια η γλώσσα των θετικών επιστημών, του διαχωρισμού γεγονότων και αξιών και της αρχής της επαληθευσιμότητας, η συσχέτιση των επιστημονικών προτάσεων με τις ηθικές αξίες θεωρείται α-νόητη και, επομένως, ανύπαρκτη (Ayer, 1959; Carnap, 1959; Ρουσόπουλος, 2008; Μαρκόπουλος, 2014).

Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι ο λογικός θετικισμός, με το ύφος και τις αρχές που εκφράζονταν από τον Κύκλο της Βιέννης, διαλύθηκε κατά τη δεκαετία του '30, ενώ ο απόηχός του υπήρξε έντονος στο ρεύμα της αναλυτικής φιλοσοφίας, στο πλαίσιο, ωστόσο, της οποίας κατορθώθηκε τελικά η διεύρυνση του ερευνητικού του πεδίου και του αξιακού του περιεχομένου και προς τα ηθικά ζητήματα, προς την ηθική «πρώτου επιπέδου», δίνοντας έτσι νέα ώθηση στη μελέτη της ηθικής φιλοσοφίας (Βιρβιδάκης, 2009; Μαρκόπουλος, 2014).

Άλλωστε, η ίδια η απαίτηση για την αντικειμενικότητα της γνώσης – αυτό που ο Γάλλος νομπελίστας φυσιολόγος Ζακ Μονό ονομάζει «ηθική της γνώσης», που είναι βασική προϋπόθεση για την ερευνητική και επιστημονική εργασία – είναι, πέρα από επιστημική αξία (epistemic, που σχετίζεται, δηλαδή, με την αυστηρά επιστημονική γνώση και αλήθεια), και μια ηθική αξία που προ-ορίζεται για τη θεμελίωση της γνώσης (Μονό, 1971; Μιλώ, 1971).

Σε ένα αυστηρά θετικιστικό-νεοθετικιστικό πλαίσιο, που καθορίζει και μια κοσμοθεώρηση επιστημονισμού και τεχνοκρατίας, και αποτελεί αναμφίβολα πρωτεύουσας και καθοριστικής σημασίας προϋπόθεση για την επιστήμη και την τεχνοεπιστήμη, θα πρέπει βέβαια να αναφερθούν και άλλες σημαντικές επιστημικές αξίες, που οι περισσότερές τους δεν αποτελούν ωστόσο, πρωτίστως, και ηθικές αξίες. Οι αξίες αυτές είναι κυρίως (Μαρκόπουλος, 2013):

- η αλήθεια
- η αντικειμενικότητα της γνώσης, που ήδη προαναφέρθηκε
- η ακρίβεια (γλωσσική/εκφραστική ακρίβεια, λιτότητα και σαφήνεια έκφρασης, πειραματική

και υπολογιστική ακρίβεια)

- η επαναληψιμότητα
- η επαληθευσιμότητα
- η διαψευσιμότητα
- η προτεραιότητα των δεδομένων
- η ειλικρίνεια
- η οικονομία της σκέψης
- η ωφελιμότητα, χρηστικότητα
- η αποδοτικότητα (μεθοδολογική, οικονομική, επιστημονική ή τεχνική)
- η καινοτομία
- η εφαρμοσιμότητα
- η ικανοποίηση κάποιων ποσοτικών δεικτών αξιολόγησης
- η πειραματική και τεχνική δεξιότητα
- η υλικοτεχνική επάρκεια

Εμμένοντας, ωστόσο, στις επιστημικές και λειτουργικές μόνο αξίες, ένας ολόκληρος κόσμος ηθικών αξιών και αρετών, δημιουργικής ενόρασης, επινόησης και διαισθήσεων, φαντασίας και αναστοχασμού υποβαθμίζεται ή και αποκλείεται πλήρως από το τεχνοεπιστημονικό εγχείρημα, ιδιαίτερα σε μια χρονική στιγμή που είναι καθοριστική για την εξέλιξη των ανθρώπινων κοινωνιών και την τύχη ολόκληρου του πλανήτη.

Ηθικές Αξίες και η Διδασκαλία των ΦΕ

Η πρόταση για μια νέα θεωρία των αξιών και για τη διδασκαλία των διευρυμένων αυτών αξιών στη διδασκαλία των ΦΕ περιλαμβάνει, εκτός από τις επιστημικές αξίες, πρωτίστως θα λέγαμε, διανοητικές και ηθικές αξίες, που εντάσσονται μέσα σε ένα ευρύτερο ρεαλιστικό πλαίσιο αξιακής αντικειμενικότητας, που πιο εξειδικευμένα χαρακτηρίζεται από έναν μετριοπαθή ηθικό ρεαλισμό. Με βάση αυτή τη θεώρηση, που βρίσκεται στον αντίποδα μιας θετικιστικής, αντιρεαλιστικής θεώρησης, οι αξίες υφίστανται ανεξάρτητα από τη συνείδησή μας και τις συναισθηματικές μας καταστάσεις (ηθικός ρεαλισμός), χωρίς ωστόσο να αποκλείεται εντελώς η συμμετοχή και μιας υποκειμενικής θεώρησης των αξιών (μετριοπαθής ηθικός ρεαλισμός).

Στη βάση μιας τέτοιας κατανόησης και στο πλαίσιο μιας ηθικής εκπαίδευσης (moral education), που δε θα υφίσταται μόνο ως ανεξάρτητο γνωστικό πεδίο και αντικείμενο διδασκαλίας, αλλά θα έχει μερικώς εισχωρήσει και στη διδασκαλία άλλων γνωστικών αντικειμένων, και ιδιαίτερα των ΦΕ, διανοητικές και ηθικές αξίες, όπως οι αριστοτελικές και νέο-αριστοτελικές έννοιες και αξίες της φρόνησης, της μεσότητας και της σωφροσύνης, αλλά και της ταπεινοφροσύνης, όπως, όμως και των αξιών που πηγάζουν από την ηθική θεωρία των δικαιωμάτων μπορούν να βρουν σημαντική θέση στη

διδασκαλία των ΦΕ. Ιδιαίτερα χρήσιμες, και στο πλαίσιο της διδασκαλίας των ΦΕ, είναι αξίες που εννοιολογικά φέρουν περιεχόμενο περιβαλλοντικό.

Στο πλαίσιο μιας νέο-αριστοτελικής αρετολογικής θεώρησης (που στηρίζεται στις βασικές αρχές της αριστοτελικής ηθικής θεωρίας της αρετής, ενταγμένες στο σύγχρονο κοινωνικο-πολιτικό πλαίσιο), αλλά και στη βάση μιας επανερμηνείας βασικών αρετολογικών εννοιών, όπως της φρόνησης και της ταπεινοφροσύνης («αρμόζουσα ταπεινοφροσύνη»), η Rosalind Hursthouse (2007) προτείνει, για την υπεράσπιση του περιβαλλοντικού της προτάγματος της *πράσινης πεποίθησης*, την αρετή να διαθέτει κανείς την προδιάθεση θαυμασμού για το μεγαλείο της φύσης αλλά και την αρετή να μπορεί κανείς να αναγνωρίζει την εγγενή αξία της φύσης και να αισθάνεται σεβασμό για αυτή.

Οι νέες αυτές αρετές σχετίζονται άμεσα με τις αξίες της περιβαλλοντικής αρμονίας-ομορφιάς, του οικολογικού σεβασμού αλλά και της περιβαλλοντικής αγάπης, που καταγράφηκαν στα σχολικά εγχειρίδια, όλων των μαθημάτων (εκτός από τα ανθολόγια) σε όλες τις τάξεις του Δημοτικού Σχολείου.

Οι αξίες που καταγράφηκαν, και παρουσιάζουν, σε ορισμένες περιπτώσεις, έναν ποσοτικά μη προσδιορίσιμο χαρακτήρα, ήταν:

- η οικολογική φροντίδα-διατήρηση (44,5%),
- η περιβαλλοντική ευαισθησία (16,5%),
- η οικολογική υπευθυνότητα (15%),
- ο οικολογικός σεβασμός (8,2%),
- η περιβαλλοντική αγάπη (5,5%),
- η οικολογική ισορροπία (5,5%) και
- η περιβαλλοντική αρμονία-ομορφιά (4,8%).

Με βάση αυτά τα δεδομένα (που παρουσιάζουν την επί τοις εκατό αναφορά των συγκεκριμένων αξιών στο σύνολο των περιβαλλοντικών αξιών σε όλα τα μαθήματα και τις τάξεις του Δημοτικού Σχολείου), καθώς και όλες τις περιβαλλοντικές αξίες που καταγράφηκαν ανά σχολική τάξη, οι αξίες αυτές φαίνεται να εμφανίζουν μια ανισομερή κατανομή τους στις διάφορες τάξεις, γεγονός που δύσκολα μπορεί να αξιολογηθεί και να αιτιολογηθεί σε μια πρώτη ερευνητική φάση. Πιο εξειδικευμένα ωστόσο παρατηρείται (Χατζίκου, 2013; Χατζίκου, 2014) μια ιδιαίτερη έμφαση παρουσίας των αξιών αυτών στις δύο τελευταίες τάξεις του Δημοτικού Σχολείου, με ακόμη πιο ξεχωριστή την παρουσία και διδασκαλία τους στην Ε' τάξη (29,4%, έναντι 21%, στην ΣΤ' τάξη) του Δημοτικού Σχολείου, και την πιο ασθενή στην Α' τάξη (5,14%) και στη Β' τάξη (9,8%). Τόσο στη Γ' όσο και στη Δ' τάξη οι περιβαλλοντικές αξίες εμφανίζονται με ίση παρουσία (17,3%).

Η διδασκαλία των περιβαλλοντικών αυτών αξιών στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση αποσκοπεί προφανώς στη συνειδητοποίηση των περιβαλλοντικών ζητημάτων και την ευαισθητοποίηση των μαθητών και μαθητριών πάνω στα ζητήματα αυτά.

Μερικές πιο εξειδικευμένες προτάσεις

Στο πλαίσιο, για παράδειγμα, της διδασκαλίας των ΦΕ (π.χ. στη Μελέτη Περιβάλλοντος ή στα Φυσικά), και χωρίς να πρέπει να εισέλθει κανείς σε λεπτομέρειες, θα μπορούσε άμεσα να συσχετισθεί η αφομοίωση (assimilation), από τα φυτά, του βλαβερού για το περιβάλλον CO₂, της ατμόσφαιρας – και η μετατροπή του με τη φωτοσύνθεση σε νέα φυτική ύλη – με όλες τις αντίστοιχες περιβαλλοντικές αξίες που προαναφέρθηκαν και έχουν καταγραφεί στο σχολικά εγχειρίδια. Πράγματι, καθώς απομακρύνεται σημαντικά το βλαβερό αυτό αέριο του θερμοκηπίου από την ατμόσφαιρα – με τα δάση να δρουν ως πνεύμονες του πλανήτη – επιτυγχάνεται η διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας, αρμονίας και ομορφιάς. Προστατεύοντας επομένως τα δάση, διδάσκουμε στους μαθητές και τις μαθήτρές μας την οικολογική υπευθυνότητα, τον οικολογικό σεβασμό και την περιβαλλοντική αγάπη, φροντίδα και ευαισθησία, με όλες αυτές τις έννοιες να αποτελούν, όπως προαναφέρθηκε, βασικές οικολογικές αξίες, που με τη διδασκαλία τους αποσκοπούν στη διαμόρφωση μιας κοινωνίας υπεύθυνων και χρηστών, κατά την αριστοτελική έννοια, πολιτών.

Και με την αναφορά στον εκπαιδευτικό αυτό σκοπό εισερχόμαστε ήδη στον γενικότερο εννοιολογικό χώρο της τελεολογίας, και με την έννοια αυτή συνδεόμαστε, πιο εξειδικευμένα εδώ, και με την αριστοτελική φιλοσοφία, και πιο συγκεκριμένα με την αριστοτελική αρετολογική ηθική.

Μεγάλη σημασία ασφαλώς οφείλουμε να δώσουμε και σε όρους που χρησιμοποιούμε κατά τη διδασκαλία, και όχι μόνο, καθώς η σύγχρονη ρητορική, που αφορά στο περιβάλλον και τα επιμέρους ζητήματα-προβλήματα που συνεχώς ανακύπτουν, χρησιμοποιεί μία νέα ορολογία προκειμένου να περιγράψει αυτά τα ζητήματα, να τα διερευνήσει και να προτείνει λύσεις. Το θέμα των ορισμών είναι πολύ σημαντικό, διότι οι εννοιολογικοί ορισμοί που επιλέγονται και αποδίδονται κάθε φορά σε φαινόμενα ή επιδιώξεις, φέρουν αναπόφευκτα αντιλήψεις, ιδεολογίες ή ακόμη και μια ολόκληρη φιλοσοφία που θέτει το περιεχόμενο και τα όρια των νέων προοπτικών αλλά και προθέσεων. Το ζήτημα των ορισμών άλλωστε εντάσσεται και σε μια προβληματική φιλοσοφικής φύσεως η οποία συνδέει την (πρακτική) φιλοσοφία με τη δημοκρατία, υπό την οπτική της συνειδητοποίησης ότι ο λόγος που εκφέρουμε έχει πρακτικές αντανakλάσεις στο δημόσιο βίο και υπό το πρίσμα μιας γενικότερης κοσμοαντίληψης του κάθε ανθρώπου-πολίτη.

Είναι λοιπόν σημαντικό να αναφερθεί, στη θέση αυτή, ότι πολλοί επιστήμονες, στις προτάσεις που καταθέτουν για την αντιμετώπιση του παγκόσμιου οικολογικού προβλήματος, αναφέρουν δίπλα από τον όρο ανάπτυξη τους όρους «αιεφόρος» και «βιώσιμη», είτε μαζί είτε επιλέγοντας έναν από τους δύο, αποδίδοντας την ίδια σημασία. Μία κατανόηση, ωστόσο, από τους εκπαιδευτικούς της εννοιολογικής διαφοράς των δύο αυτών όρων θα βοηθούσε στη σωστότερη διδασκαλία των περιβαλλοντικών αξιών.

Σε προηγούμενη εργασία μας επιχειρήσαμε να διαχωρίσουμε τις δύο αυτές έννοιες «βιώσιμη» και «αιεφόρος» ανάπτυξη. Σύμφωνα με τον παραπάνω εννοιολογικό διαχωρισμό των ορισμών, φαίνεται πως η αιεφορία επικεντρώνεται πρωτίστως στο περιβάλλον και στην οικολογία, και φέρει μέσα της,

κατά ένα μέρος μόνο τη βιωσιμότητα, η οποία αναφέρεται κυρίως στον άνθρωπο, θέτοντας στο προσκήνιο τις κοινωνικές και οικονομικές πρωτίστως συνιστώσες. Η αειφορία θεωρεί τον άνθρωπο μέρος της φύσης, ισότιμο με τα υπόλοιπα έμβια και άβια όντα του γήινου και συμπαντικού περιβάλλοντος χώρου, καθώς και με τα φυσικά εκείνα στοιχεία και φαινόμενα που είναι αντιληπτά ή μη, από τον ανθρώπινο νου. Συνεπώς, ο άνθρωπος κατέχει την ίδια θέση και έχει την ίδια αξία και σημασία με το λοιπό περιβάλλον που τον περιέχει και τον περιβάλλει, και ως εκ τούτου και τα ίδια δικαιώματα, αποτελώντας σε ισότιμο βαθμό σημείο αναφοράς με τα υπόλοιπα στοιχεία. Αυτό που προτείνεται ουσιαστικά μέσα από την αειφορία είναι η θέαση του ανθρώπου ως μέρος της ολότητας της φύσης, ως αναπόσπαστο κομμάτι της που αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα μέρη της. Άρα η βιώσιμη ανάπτυξη – που λαμβάνει υπόψη της και την ικανοποίηση των αναγκών των μελλοντικών γενεών – εντάσσεται στην αειφορία μόνο ως προς το μέρος που θέλει τον άνθρωπο κοινωνικό-σημείο αναφοράς του κόσμου (Μαρκόπουλος και Χατζίκου, 2013; Χατζίκου, 2014).

Η έννοια της αειφορίας φέρει την ηθική εκείνη που υπαγορεύει την ενάρετη χρήση της γνώσης για τον φυσικό κόσμο και πάνω σε αυτόν. Σύμφωνα με τον Σωκράτη, η γνώση που μπορεί να προκύψει ακολουθώντας επιστημονική μέθοδο είναι δυνατόν να οδηγήσει σε καθολικά αποδεκτές αλήθειες. Λαμβάνοντας υπόψη την αρχή ότι, σύμφωνα με τον Σωκράτη, η αρετή ταυτίζεται με τη γνώση, είναι δυνατόν να επιτύχουμε μια φιλοσοφία διδασκαλίας που εστιάζει στη φύση, τον άνθρωπο και την ουσιαστική ανθρώπινη ευτυχία, καθώς και στην αλήθεια της γνώσης, η οποία δε μπορεί παρά να είναι ενάρετη.

Αυτό που εισάγεται πλέον ως αρχή είναι η θεώρηση του ανθρώπου ως «ένα» με τη φύση, η οποία τον περιβάλλει και τον περιέχει, στην οποία είναι μέτοχος και συμμετοχος στην αέναη δημιουργία. Υπό την έννοια αυτή, η διδασκαλία των ΦΕ, οι οποίες μελετούν τη φύση, τη λειτουργία της, τους κανόνες της και τη συμπεριφορά της, θα πρέπει να προβάλλει τη θέση, ότι μέτρο όλων αυτών δεν είναι αυτή καθαυτή η φύση, ούτε όμως και ο άνθρωπος μόνο, όπως υποστήριζαν οι σοφιστές. Το μέτρο προσδιορίζεται από την κοσμολογική τάξη, η οποία αυτορυθμίζεται και ρυθμίζεται από τις ανάγκες επιβίωσης της φύσης, που περιέχει και τον άνθρωπο ως ένα αναπόσπαστο μέρος της. Δεν υποστηρίζεται στο σημείο αυτό μια δουλική υποταγή στους κανόνες της φύσης, όπως μας αποκαλύπτονται μέσα από τις ΦΕ μόνο, αλλά μία συνετή συνδημιουργία και συνανακαλυπτική τάση στο πλαίσιο ενός ελεύθερου οικολογικού σεβασμού.

Μία διδασκαλία των ΦΕ στο πλαίσιο μιας ηθικής εκπαίδευσης (moral education), ασφαλώς και δεν υπαγορεύει μία πορεία ηθικιστικής οπισθοχώρησης απέναντι στη γνώση και ειδικότερα στην τεχνοεπιστήμη. Αυτό που υπαγορεύει, είναι ένα μοντέλο διδασκαλίας το οποίο συνδέει τη γνώση με αξίες που δεν είναι αποκλειστικά και μόνο επιστημικές (epistemic) – όπως π.χ. η ακρίβεια, η επαληθευσιμότητα ή η αποδοτικότητα – και την παρουσιάζει, όπως την έχουμε προσεγγίσει και αντιληφθεί στην εκάστοτε δεδομένη στιγμή, με την αλήθεια της δύναμής της, τις δυνατότητες που μας δίνει, τους περιορισμούς και τους κανόνες που εμείς πρέπει να θέσουμε. Άλλωστε, ακόμη και για

τα παιδιά, ένα παιχνίδι χωρίς κανόνες, όχι μόνο δεν είναι παιχνίδι, αλλά μοιάζει ένας αγώνας χωρίς νόημα. Η γνώση των κανόνων-νόμων-περιορισμών αλλά και της πιθανής εξέλιξης των οικολογικών πραγμάτων, θα είναι κάτι που όχι απλώς δε θα περιορίζει τα παιδιά κατά τη διάρκεια μιας τέτοιας διδασκαλίας, αλλά αντίθετα θα τα εμπνέει.

Μια εκπαίδευση αξιακή μπορεί να συνδεθεί με τη σύγχρονη επιστήμη όταν ο ηθικός σκοπός είναι η ουσιαστική ευδαιμονία του ανθρώπου μέσα από μια ισορροπημένη και ισότιμη σχέση με το περιβάλλον του.

Αυτό που είναι ανάγκη να γίνει κατανοητό στα παιδιά, σε αυτούς τους μικρούς αποδέκτες της γνώσης, είναι πως ο άνθρωπος έχει το ύψιστο προνόμιο από όλα τα έμβια και άβια γνωστά όντα να μελετήσει την ύπαρξη και τη ζωή και να επεξεργαστεί τη γνώση, καθώς δεν είναι απλώς ένας θεατής της αλήθειας και της θεωρητικής γνώσης, αλλά αυτός που μπορεί να θέσει αυτή τη γνώση σε θετική κίνηση. Εδώ ακριβώς είναι που υπεισέρχεται η ηθική εκπαίδευση, μια εκπαίδευση που θα δώσει στον άνθρωπο τη δυνατότητα να ανακαλύπτει, να επεξεργάζεται, να δοκιμάζει, να κρίνει, να θέτει όρια, να εξελίσσεται, να απολαμβάνει και να διάγει τον βίο στην ουσία του. Η εκπαίδευση βέβαια αυτή διόλου δεν αποκλείεται να παρέχεται και μέσα από τη διδασκαλία όλων των άλλων μαθημάτων, διαθεματικά και διεπιστημονικά.

Καθώς η ηθική ολοκλήρωση είναι ένα κράμα, μια σύζευξη αληθινής γνώσης και ηθικής πράξης «θα μπορούσε συναφώς να υποστηριχθεί, ότι για την αριστοτελική φιλοσοφία, όπως άλλωστε και για τη φιλοσοφία του Πλάτωνα, “αληθινή” γνώση και ηθική πράξη ταυτίζονται, με τη γνώση να είναι καθοριστική για την ηθική αλλά και την ηθική να ολοκληρώνει αξιολογικά τη γνώση» (Μαρκόπουλος, 2014). Άλλωστε, η πρόοδος των ΦΕ δεν μπορεί να νοείται ως αυτοσκοπός, αλλά ως να έχει σκοπό την εξέλιξη του ανθρώπου και των συνθηκών της ζωής του.

Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη την παρούσα ταχύτητα εξέλιξης των ΦΕ και την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη της τεχνοεπιστήμης στα επόμενα χρόνια, οφείλουμε να διαφυλάξουμε ό,τι πολύτιμο, υλικό και άυλο μας έχει δοθεί ως ιστορικό κομμάτι της ανθρωπότητας. Μία τέτοιου τύπου διδασκαλία οφείλει πάνω και πέρα από όλα να έχει αποκοπεί παράλληλα από τον ιστορικό χρόνο και να λειτουργεί με νόμους και κανόνες άχρονους, δηλαδή νόμους και κανόνες που δεν προσδιορίζονται και επιτάσσονται από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βίοςφαιρα τη δεδομένη στιγμή, αλλά υπό μια σφαιρική α-χρονικότητα, που υποδεικνύει έναν αιώνιο σεβασμό προς τη φύση και τον άνθρωπο, και είναι απογυμνωμένη από τις ιστορικές και κοινωνικές συνθήκες.

Η ευθύνη του παιδαγωγού στην πορεία αυτή είναι να παρουσιάσει-μεταδώσει τη γνώση, διασαφηνίζοντας τα όρια του ανθρώπου πάνω στη φύση, και τη φύση του, και καταδεικνύοντας το μέτρο και την έκταση της χρησιμότητας των ΦΕ με τέτοιο τρόπο, ώστε να διαφυλάσσεται η ακεραιότητα και ισορροπία του οικοσυστήματος. Χρειάζεται να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί στη

σύγχρονη διδασκαλία των ΦΕ, ώστε να μην αναπαραγάγουμε το τεχνοκρατικό και καταστρεπτικό μοντέλο σκέψης που έχει σήμερα εδραιωθεί και εισχωρήσει στις επιστήμες, τείνοντας να αλλοτριώσει τις έννοιες, τις αξίες και τους σκοπούς τους.

Βιβλιογραφία

- Ayer, A.J. [ed.] (1959). *Logical Positivism*. New York: The Free Press, p.22.
- Carnap, R. (1959), The Elimination of Metaphysics Through Logical Analysis of Language, in *Logical Positivism*. Ayer, A. J. (ed.), op. cit. pp.60-81.
- Βιρβιδάκης, Στ. (2009). *Η Υφή της Ηθικής Πραγματικότητας*. Αθήνα: Leader Books, σ. 3.
- Hursthouse, R. (2007). Environmental Virtue Ethics, in *Working Virtue*. Rebecca L. Walker and Philip J. Ivanhoe (eds.). Oxford, New York: Oxford University Press, pp.155-171.
- Μαρκόπουλος, Ι.Ν. (2011). *Στοχασμοί και Αναστοχασμοί. Εναύσματα προβληματισμού και ασκήσεις κριτικού λόγου*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, σσ. 60 -63.
- Μαρκόπουλος, Ι.Ν., Χατζίκου, Στ. Personal communication, 18 Μαρτίου 2013.
- Μαρκόπουλος, Ι.Ν. (2013). *Θετικισμός, Νεοθετικισμός και μια Νέα Θεωρία των Αξιών της Τεχνοεπιστήμης*. e-Σημειώσεις (<http://elearning.auth.gr>), σ.29.
- Μαρκόπουλος, Ι.Ν. (2014). *Επιστήμη και Ηθική. Εισαγωγή στην περιπέτεια μιας διαχρονικά αμφίδρομης σχέσης*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, σσ. 38, 79-85.
- Μιλώ, Ζακ (1971). Μια Ηθική της Επιστήμης, στο Ζακ Μιλώ, Φιλίπ Καζέλ, Πιέρ Ζαιγκλ και Ζακ Νινιό, *Ο Μονό και η Διαλεκτική*. Μετάφραση Νίκος Π. Παπαδόπουλος. Αθήνα: Εκδ. Ράππα, σσ. 13-29.
- Μονό, Ζακ (1971). *Η τύχη και η αναγκαιότητα*. Εκδ. Ράππα, Αθήνα: Εκδ. Ράππα, σσ. 205-228.
- Ρουσόπουλος, Γ. [επιμ.](2008). *Σύγχρονος Εμπειρισμός. Από τον κύκλο της Βιέννης στον Davidson*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, σσ. 17, 21, 25, 65-69.
- Χατζίκου, Στ. (2013). *Περιβαλλοντικές Έννοιες και Αξίες στα Αναλυτικά Προγράμματα και Εγχειρίδια της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης*, Διπλωματική Εργασία. Θεσσαλονίκη: Π.Τ.Δ.Ε. της Παιδαγωγικής Σχολής του Α.Π.Θ.
- Χατζίκου, Στ.(2014). *Περιβαλλοντικές Αξίες στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση: Η Θεώρησή τους στο πλαίσιο μιας Αριστοτελικής Αρετολογικής Ηθικής*. Ανακοίνωση στο 26ο Διεθνές Συνέδριο Φιλοσοφίας με θέμα *Ελληνική Φιλοσοφία και Ηθικά και Πολιτικά Ζητήματα στην Παγκοσμιοτική Εποχή μας*, Βουλιαγμένη, 12-17 Ιουλίου.



Η Στέλλα Χατζίκου είναι απόφοιτος του Παιδαγωγικού Τμήματος της Παιδαγωγικής Σχολής του Α.Π.Θ., κάτοχος Μεταπτυχιακού Διπλώματος στην Ειδική Αγωγή του Πανεπιστημίου της Λευκωσίας και υποψήφια διδάκτωρ στο Π.Τ.Δ.Ε. της Παιδαγωγικής Σχολής του Α.Π.Θ.



Ο Ιωάννης Ν. Μαρκόπουλος σπούδασε Χημική Μηχανική και Φυσικοχημεία στο Πολυτεχνείο Darmstadt της Γερμανίας και στην Πολυτεχνική Σχολή του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, από όπου έλαβε και το διδακτορικό του, και είναι καθηγητής στο Π.Τ.Δ.Ε. της Παιδαγωγικής Σχολής του Α.Π.Θ., όπου διδάσκει Φιλοσοφία και Ηθική της Τεχνοεπιστήμης.

«Move forward ?» : Από τα παιχνίδια του παππού... στα παιχνίδια του εγγονιού

Οδυσσέας Κνάβας και Δημήτρης Τσίντζας

Τα νέα πιλοτικά Προγράμματα Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες ενθαρρύνουν τους εκπαιδευτικούς της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης να βοηθήσουν τους μαθητές ώστε οι ίδιοι να σχεδιάζουν και να υλοποιούν δραστηριότητες (Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, 2011). Προς την κατεύθυνση αυτή οι εκπαιδευτικοί καλούνται να διαμορφώσουν ένα μαθησιακό περιβάλλον όπου τα παιδιά αλληλεπιδρούν με νοητικά (θεωρίες, γλωσσικοί κώδικες) και χειραπτικά εργαλεία (πειραματικό υλικό), συμμετέχουν σε κριτικούς διαλόγους γύρω από έννοιες προερχόμενες από το χώρο των Φυσικών Επιστημών (Aikenhead, 2007) και διευκολύνονται σταδιακά να δημιουργούν τις ταυτότητές τους μέσα από τον δικό τους τρόπο επικοινωνίας (Pantidos et al, 2010).

Παράλληλα, στα νέα πιλοτικά Προγράμματα Σπουδών, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην αμοιβαία σχέση ανάμεσα στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία και ορίζονται συγκεκριμένες έννοιες, αρχές και συνθήκες αλληλεξάρτησης των δύο. Απώτερος στόχος του προγράμματος αναφέρεται πως αποτελεί ένα περιβάλλον όπου καλλιεργείται η Σχολική Επιστήμη και η Σχολική Τεχνολογία.

Οι συγγραφείς της παρούσας εργασίας, ως εκπαιδευτικοί Πειραματικού Δημοτικού Σχολείου, κληθήκαμε τα τελευταία δύο χρόνια να ασχοληθούμε ερευνητικά και κυρίως πρακτικά με την εφαρμογή των κατευθύνσεων των νέων πιλοτικών Προγραμμάτων Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες στο δημοτικό σχολείο. Έτσι, κατά τη σχολική χρονιά 2014 – 2015, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν σχέδια εργασίας μέσα από τα οποία επιδιώχθηκε οι μαθητές να:

- κατανοήσουν θεμελιώδεις έννοιες, νόμους και μοντέλα των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας,
- αναγνωρίσουν ότι οι Φυσικές Επιστήμες και η Τεχνολογία συνδέονται δυναμικά μεταξύ τους σε ολόκληρο το φάσμα του ανθρώπινου πολιτισμού, ενώ εξελίσσονται συνεχώς, για να ερμηνεύσουν τον κόσμο ή να βελτιώσουν την καθημερινή ζωή.

Στο πλαίσιο αυτό εφαρμόστηκε ένα σχέδιο εργασίας για την ενότητα «Ενέργεια» της Στ' τάξης που πραγματεύεται τα διαφορετικά φυσικά φαινόμενα (θερμικά, ηλεκτρικά, χημικά κ.λπ.) και πώς αυτά συνδέονται με ένα δίκτυο ενεργειακών μετατροπών. Ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του σχεδίου εργασίας ζητήθηκε από τους μαθητές να συνδυάσουν γνώσεις, φαντασία και ταλέντο για να πραγματοποιήσουν κατασκευές που να αναδεικνύουν τη σχέση Φυσικής και Τεχνολογίας.

Σχέδιο εργασίας για τη διδασκαλία της ενέργειας στην Στ' τάξη

Οι μαθητές ενός τμήματος της Στ' Τάξης δούλεψαν, κατά τη σχολική χρονιά 2014 – 2015, χωρισμένοι σε τέσσερις μεικτές ομάδες πάνω σε σχέδιο εργασίας που προτείνεται για την ενότητα Ενέργεια από το πιλοτικό πρόγραμμα σπουδών (Ψηφιακό Σχολείο, 2011).

Το πρώτο στάδιο, ως δραστηριότητα αφόρμησης και ευαισθητοποίησης, προέβλεπε επίσκεψη σε κάποιο σταθμό ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη πεδίου στο φωτοβολταϊκό πάρκο στη Μεγάλη Στέρνα του ν. Κιλκίς. Εκεί ζητήθηκε από τα παιδιά, ανά ομάδα, να επικεντρώσουν το ενδιαφέρον τους σε περιβαλλοντικά, οικονομικά, κοινωνικά και αισθητικά ζητήματα. Ενημερώθηκαν από τους αρμόδιους του σταθμού, έθεσαν τις ερωτήσεις τους (ενδεικτικά: κόστος κατασκευής εγκατάστασης, οικονομική σύγκριση ηλεκτρικής ενέργειας με άλλες πηγές ενέργειας, αριθμός σπιτιών που μπορούν να ηλεκτροδοτηθούν από το σταθμό αυτό, ανθρώπινο εργατικό δυναμικό, περιβαλλοντικές επιπτώσεις), κατέγραψαν τις πληροφορίες, φωτογράφησαν, βιντεοσκόπησαν και ηχογράφησαν ό,τι τους ενδιέφερε.

Σε επόμενη συνάντηση, μέσα στην τάξη, αναζητήσαν πληροφορίες στο διαδίκτυο για ανεμογεννήτριες, υδροηλεκτρικούς/θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, εστιάζοντας στις ερωτήσεις που είχαν θέσει στους αρμόδιους του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Με την ολοκλήρωση του δεύτερου σταδίου του σχεδίου εργασίας, ανατέθηκε στα παιδιά να ετοιμάσουν μια παρουσίαση, η καθεμιά ομάδα, για κάθε ξεχωριστό σταθμό ενέργειας, περιλαμβάνοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων τρόπων αξιοποίησης της ενέργειας. Μετά την παρουσίαση ακολούθησε συζήτηση μεταξύ των παιδιών εφαρμόζοντας τη διδακτική πρακτική της αντιπαράθεσης επιχειρημάτων όπου οι ομάδες υπερασπιζόταν την έρευνά τους.

Το τρίτο, και τελευταίο, στάδιο του σχεδίου εργασίας προέβλεπε για τις ομάδες να μελετήσουν και να παρουσιάσουν τις ενεργειακές μετατροπές κατά τη λειτουργία συσκευών/μηχανών, τις οποίες χρησιμοποιούμε (α) στο σπίτι (τηλεοράσεις, DVD, θερμοσίφωνας), (β) στο σχολείο (λάμπες φωτισμού, φωτοτυπικά μηχανήματα, Η/Υ), (γ) σε εξωτερικούς χώρους (λεωφορείο, φωτεινοί σηματοδότες). Έμφαση δόθηκε κυρίως σε συσκευές που χρησιμοποιούν τα ίδια τα παιδιά (όπως PSP, ηλεκτρονικά παιχνίδια, αυτοκινητάκια, κούκλες) αλλά και οι γονείς τους για να εξυπηρετήσουν κοινές τους ανάγκες (φούρνος, ψυγείο, κλιματιστικό, αυτοκίνητο). Στο τρίτο αυτό στάδιο στόχος μας ήταν

να συζητηθούν και τα φαινόμενα των ενεργειακών μετατροπών, με τις οποίες βέβαια έχουν ήδη έρθει σε επαφή κατά τη διάρκεια της φοίτησής τους στην Ε΄ Τάξη.

Move forward?

Μετά την ολοκλήρωση του παραπάνω σχεδίου εργασίας, ζητήθηκε από τους μαθητές να συνεργαστούν στην ομάδα τους και να καταθέσουν μία «εργασία», οποιαδήποτε μορφής, για να αποτυπώσουν ό,τι θεωρούν ότι έχουν μάθει σχετικά με την ενέργεια και τις μετατροπές της. Τα παιδιά ήρθαν με διάφορες ιδέες στην υλοποίηση των οποίων συνέδραμαν οι εκπαιδευτικοί του σχολείου.

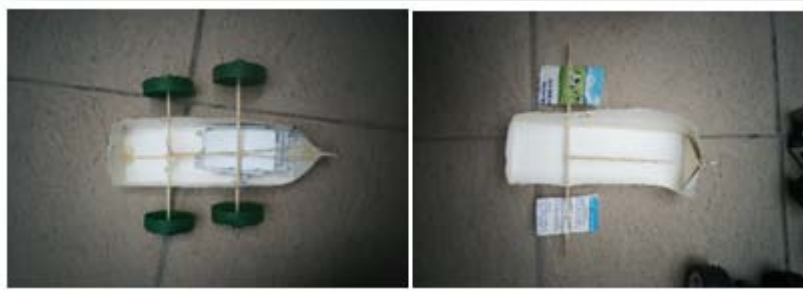
Μία εργασία που ξεχώρισε για την πρωτοτυπία της, προϊόν μιας ομάδας τριών παιδιών, ονομάστηκε «*Move forward? Από τα παιχνίδια του παππού... στα παιχνίδια του εγγονού*». Πρόκειται για ένα θεατρικό δρώμενο όπου παππούς και εγγονός συγκρίνουν τα παιχνίδια τους χτες και του σήμερα. Το σενάριο γράφτηκε και παίχτηκε (Εικόνα 1) από τα παιδιά με την καθοδήγηση των εκπαιδευτικών.



Εικόνα 1. Ο «παππούς» και το εγγόνι συγκρίνουν τα παιχνίδια τους. (Φωτογραφία Οδ. Κνάβας).

Το σενάριο

Ο εγγονός παίζει με τα παιχνίδια του στο δωμάτιό του. Έχει μαζί του καλάι, σιλικόνη, κατσαβίδια, ενώ παντού είναι σκορπισμένα καλώδια, μπαταρίες, μοτεράκια κ.ά. Μπαίνει στο δωμάτιο ο παππούς του, τον παρακολουθεί κουνώντας το κεφάλι του και ξεκινάει τη συζήτηση ρωτώντας τον με τι ασχολείται. Όταν το παιδί λέει ότι επιδιορθώνει κάποια παιχνίδια του, ο παππούς ξεκινάει να περιγράφει στον εγγονό του τα παιχνίδια της εποχής του «που δεν χαλούσαν τόσο εύκολα». Ο παππούς, λοιπόν, φέρνει και του δείχνει ένα κουρδιστό αυτοκινητάκι και μία κουρδιστή βάρκα (Εικόνα 2) και του εξηγεί τον τρόπο λειτουργίας τους αναφέροντας όλες τις ενεργειακές μετατροπές που συμβαίνουν.



Εικόνα 2. Αυτοκινητάκι και βάρκα από καθημερινά υλικά. (Φωτογραφίες Οδ. Κνάβας).

Οι συγκεκριμένες κατασκευές, αλλά και όλες οι παρακάτω, πραγματοποιήθηκαν από τα παιδιά χρησιμοποιώντας καθημερινά υλικά που είχαν στο σπίτι τους (Παιδική βιβλιοθήκη Time life, 1998) .



Εικόνα 3. «Μηχανισμός» αυτοκινήτου. (Φωτογραφία Οδ. Κνάβας).

Οι βάσεις για το αυτοκινητάκι και την βάρκα έγιναν από συσκευασίες γάλακτος, ως ρόδες χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά καπάκια από μπουκάλια, τα πτερύγια της βάρκας φτιάχτηκαν από χαρτόνι, ενώ ως άξονες κίνησης χρησιμοποιήθηκαν ξυλάκια για σουβλάκια που ενώθηκαν στις ρόδες με σιλικόνη, καθώς και λαστιχάκια που είναι τυλιγμένα στους άξονες – ξυλάκια (Εικόνα 3). Τα λαστιχάκια είναι κολλημένα με σιλικόνη πάνω στα ξυλάκια για να μην φεύγουν και είναι περιτυλιγμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να γυρίζουν τα ξυλάκια αλλά και τα πτερύγια της βάρκας (Εικόνα 4).

Το λαστιχάκι όταν κουρδίζεται (όταν περιστρέφουμε τις ρόδες) αποθηκεύει δυναμική ενέργεια η οποία όταν ξετυλίγεται μετατρέπεται σε κινητική στις ρόδες και στα πτερύγια των κατασκευών.



Εικόνα 4. «Μηχανισμός» βάρκας. (Φωτογραφία Οδ. Κνάβας).

Επιστρέφοντας στη ροή του σεναρίου, ο εγγονός δεν «συγκινείται» από τα παιχνίδια του παππού του και φέρνει να του δείξει τα δικά του (αντίστοιχα με του παππού) παιχνίδια – κατασκευές που λειτουργούν με μπαταρίες: ένα «σύγχρονο» αυτοκινητάκι και μία σύγχρονη βάρκα με έλικα (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Αυτοκίνητο και βάρκα που τροφοδοτούνται ενεργειακά από μπαταρίες. (Φωτογραφίες Οδ. Κνάβας).

Ο παππούς τα περιεργάζεται και τρομάζει από το θόρυβο όταν ο εγγονός τα θέτει σε λειτουργία. Στη συζήτηση μεταξύ των δύο αναφέρεται από τον εγγονό πως στα σημερινά παιχνίδια πρωταγωνιστεί η ηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει από την αποθηκευμένη χημική ενέργεια στις μπαταρίες.

Και στην περίπτωση των σύγχρονων παιχνιδιών χρησιμοποιήθηκαν υλικά τα οποία τα παιδιά είχαν ήδη στο σπίτι τους. Για την κατασκευή του αυτοκινήτου χρησιμοποίησαν και πάλι μια συσκευασία από γάλα, μόνο που τώρα συνέδεσαν μια μπαταρία πλακέ (4,5 V) με ένα μοτοράκι το οποίο με τη σειρά του ήταν συνδεδεμένο με τις ρόδες – καπάκια. Ουσιαστικά σχεδίασαν ένα ηλεκτρικό

κύκλωμα με ένα διακόπτη: κλείνοντας το κύκλωμα η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική στο μοτοράκι, κινώντας τελικά το αυτοκίνητο ή τη βάρκα αντίστοιχα.

Ενώ παππούς και εγγονός συζητούν, μπαίνει η μητέρα του παιδιού μέσα και του ζητάει να συμμαζέψει και να ξεσκονίσει το δωμάτιό του. Το παιδί προσπαθώντας να αποφύγει την αγγαρεία προσαρμόζει στο πίσω μέρος ενός παιχνιδιού – αυτοκινητάκι ένα πανάκι καθαρισμού το οποίο κινούμενο σκουπίζει το πάτωμα: πρόκειται για τη διάσημη «τεμπέλα νοικοκυρά»! Η τεχνολογία στην υπηρεσία του ανθρώπου! Την επιδεικνύει στη μητέρα του κι αυτή του ζητάει με την ευκαιρία να καθαρίσει και τα υπόλοιπα δωμάτια του σπιτιού.

Καθώς το θεατρικό δρώμενο ολοκληρώνεται, παππούς και εγγονός συζητούν για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των παιχνιδιών της κάθε εποχής. Ο παππούς εστιάζει στην ευκολία και το χαμηλό κόστος κατασκευής των παλιών παιχνιδιών, στην υπερ-εκμετάλλευση των φυσικών πόρων που απαιτούνται για την ενεργειακή τροφοδοσία των νέων παιχνιδιών, στην ηχορύπανση που προκαλούν τα «φασαριόζικα νέα παιχνίδια» αλλά και στα προβλήματα που σχετίζονται με την απόθεση παλιών μπαταριών. Ο εγγονός υπερασπίζεται τα ηλεκτροκίνητα παιχνίδια του αναφερόμενος σε θέματα καλαισθησίας, αντοχής κατασκευής και αστειεύεται για τις θορυβώδεις κατασκευές και την ακοή του παππού του. Το θεατρικό ολοκληρώνεται με τον εγγονό να ζητά από τον παππού του να τον βοηθήσει να κατασκευάσουν ένα «μηχανικό πουλί» που θα πετάει όπως τα ελικόπτερα. «Μια μέρα παππού θα πάμε και εμείς στο φεγγάρι», καταλήγει ο εγγονός.

Συμπεράσματα – συζήτηση

Το σχέδιο εργασίας που παρουσιάζουμε είναι πλήρως συμβατό με τη φιλοσοφία του Νέου Πιλοτικού Προγράμματος Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες στο δημοτικό σχολείο καθώς περιλαμβάνει αντίστοιχο σχέδιο εργασίας που προβλέπεται από αυτό, ενώ εμπλουτίστηκε με πρωτότυπες δράσεις (π.χ θεατρικό δρώμενο) που σχεδιάστηκαν από τους εκπαιδευτικούς και τους μαθητές. Το συγκεκριμένο σχέδιο εργασίας ενέπλεξε τα παιδιά σε διαφορετικές μορφές και ρυθμούς μάθησης, αξιοποιώντας συνεργατικές μεθόδους, παιχνίδια ρόλων, διαδικασίες επιστημονικής και τεχνολογικής έρευνας. Παράλληλα, το θεατρικό δρώμενο της ομάδας παιδιών «Move Forward», ανέδειξε την αξία της βιωματικής εμπειρίας των παιδιών στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών φέρνοντας τη Φυσική κοντά στον καθημερινό τους κόσμο (Harlen W., 1992). Σε αντίθεση με τα υπάρχοντα σχολικά βιβλία, όπου συχνά παρατηρούμε εικόνες ειδικά κατασκευασμένων συσκευών είτε άγνωστων στα παιδιά είτε με λειτουργία δυσνόητη, οι κατασκευές που τα παιδιά σχεδίασαν και έφτιαξαν προσελκύουν την προσοχή και το ενδιαφέρον τους όχι απλά στις ίδιες τις κατασκευές αλλά στις έννοιες των Φυσικών Επιστημών, φέρνοντας τελικά τη μελέτη των φυσικών φαινομένων σε πρώτο πλάνο (Κουμαράς, 1994).

Βιβλιογραφία

- Aikenhead, G.S., Ogawa, M. (2007). Indigenous knowledge and science revisited. *Cultural Studies of Science Education*, 2:539–620. doi: 10.1007/s11422-007-9067-8
- Harlen, W. (1992). *The teaching of science*. David Fulton Publishers Ltd. London
- Pantidos, P. Valakas, K. Vitoratos, E. Ravanis K. (2010). The materiality of narrative spaces: A theatre semiotics perspective into the teaching of physics. *Semiotica*, 182, ¼: 305-325.
- Κουμαράς, Π. (1994). Υλικά καθημερινής χρήσης για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στους μαθητές της υποχρεωτικής εκπαίδευσης. *Εκπαιδευτική κοινότητα*, 27, 34 – 37.
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (2011). *Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών Δημοτικού Για Το «Νέο Σχολείο»*.
- Παιδική βιβλιοθήκη Time Life (1998). *Απλά Πειράματα*, Αθήνα: Αλκυών, σελ. 61.
- Ψηφιακό σχολείο. (2011). *Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικών Επιστημών Δημοτικού Για Το «Νέο Σχολείο»*, σελ. 89. Ανασύρθηκε από <http://digitalschool.minedu.gov.gr/>



Ο Οδυσσέας Κνάβας είναι εκπαιδευτικός στη Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση, πτυχιούχος του Τμήματος Οικονομικών Επιστημών του ΠΑ.ΜΑΚ. και πτυχιούχος του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης Α.Π.Θ. Ταυτόχρονα εκπονεί τη διδακτορική του διατριβή στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών στο Π.Τ.Δ.Ε. του Α.Π.Θ. Κύρια ενδιαφέροντα του είναι η πειραματική διδασκαλία της Φυσικής στο Δημοτικό Σχολείο με την χρήση απλών υλικών και η ενσωμάτωση της Παιδείας στα Ηλεκτρονικά Μέσα στη διδασκαλία της φύσης των Φυσικών Επιστημών.



Ο Δημήτρης Τσίντζας είναι εκπαιδευτικός στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση και διπλωματούχος Ναυπηγός Ε.Μ.Π. Υπηρετεί ως δάσκαλος στο 3^ο Πειραματικό Δημοτικό Σχολείο Ευόσμου. Τα ερευνητικά του ενδιαφέροντα εστιάζονται στην εισαγωγή του παιχνιδιού στην εκπαιδευτική διαδικασία, στην οικοδόμηση στάσεων και αξιών προς μια δημοκρατική και ελεύθερη συνείδηση καθώς και στην καλλιέργεια εσωτερικών κινήτρων μάθησης.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

Το «Μοντέλο Μεταφοράς Ενέργειας»: μία πρόταση για τη διδασκαλία της έννοιας ενέργεια

Αναστάσιος Πάλλας και Ελένη Σταυρίδου

Με τον όρο «**Μοντέλο Μεταφοράς Ενέργειας**», ή Μο.Μ.Ε. εν συντομία, εννοείται ένα σύνολο ιδιοτήτων, αρχών και νόμων που διέπουν την έννοια ενέργεια σε εννοιολογικό, επιστημολογικό, διδακτικό και λειτουργικό επίπεδο. Το προτεινόμενο μοντέλο, για τη δημιουργία του οποίου ελήφθησαν υπόψη τα πορίσματα και οι προτάσεις της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας (Σταυρίδου, 1995; Etkina, Warren & Gentile, 2006; Κολιόπουλος, 2006; Kurnaz, & Arslan, 2011), αποτελεί μια δημιουργική και πρωτότυπη σύνθεση των απόψεων και προτάσεων που έχουν διατυπωθεί τις τελευταίες δεκαετίες για τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την έννοια ενέργεια.

Μια από της κεντρικές ιδέες του μοντέλου αποτελεί η έννοια «μεταφορά» ενέργειας, για την οποία αρκετοί ερευνητές της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών τόνισαν την σημασία της και τη λειτουργικότητα της (Schmid, 1982; Ellse, 1988; Chisholm, 1992; Pallas, Stauridou & Triantafyllou, 2007; Jewett, 2008b; Πάλλας, 2011; Millar 2014). Στο πλαίσιο του Μο.Μ.Ε., η έννοια «μεταφορά» ενέργειας αναδεικνύεται κυρίαρχη έννοια ενώ υποβαθμίζονται οι έννοιες «μετατροπή» και «μορφές» ενέργειας και προτείνεται η κατάργησή τους.

Λαμβάνοντας υπόψη τις θεωρητικές εργασίες και εμπειρικές έρευνες που συνδέουν την ενέργεια με τις διάφορες μεταβολές που παρατηρούνται στη φύση (Besson, 2004; Hecht, 2007; Nordine, 2008), προτείνεται η σύνδεση της ενέργειας με τις αλλαγές με ένα συγκεκριμένο τρόπο ο οποίος απαντά άμεσα στο ερώτημα που αφορά τη φύση της ενέργειας, ενώ συνδέεται έμμεσα με τις βασικές αρχές της που είναι η διατήρηση και η διασπορά της.

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας (Α.Δ.Ε) επεκτείνεται και συμπληρώνεται με την αρχή της διασποράς της, που είναι ο διδακτικός μετασχηματισμός του 2^{ου} θερμοδυναμικού νόμου. Η ενοποίηση αυτή, που βρίσκεται στο επίκεντρο του προβληματισμού της διδασκαλίας της έννοιας ενέργεια αρκετές δεκαετίες (Solomon, 1982; Ahmad & Fauziah, 1998; Andersson, Bach & Zetterqvist, 2002; Solbes, [Guisasola & Tarin](#), 2009; Duit, 2014), οδηγεί στην αρχή διατήρησης και διασποράς της ενέργειας (Α.Δ.Δ.Ε). Η ιδέα του διαχωρισμού της ενέργειας σε διαθέσιμη ή χρήσιμη και διασπειρόμενη αποτελεί την πρόταση του Mo.M.E. για γεφυροποίηση της φαινομενικής αντίφασης που υπάρχει μεταξύ της επιστημονικής χρήσης της έννοιας (η ενέργεια διατηρείται) και αυτής που χρησιμοποιείται στην καθημερινή ζωή (η ενέργεια παράγεται και καταναλώνεται).

Ακόμη, αυτός ο διαχωρισμός βοηθά στην κατανόηση της έννοιας της απόδοσης, μιας έννοιας που αναφέρεται συχνά σε κοινωνικοεπιστημονικά θέματα που σχετίζονται με την ενέργεια, όπως είναι η κατανάλωση καυσίμων, η ελάττωση των ορυκτών καυσίμων κ.λπ. (Hinrichs & Kleinbach, 2002). Η συνεισφορά του Mo.M.E. στην κατανόηση της έννοιας της απόδοσης έρχεται να προστεθεί στον προβληματισμό και στις σχετικά λίγες έρευνες που έχουν γίνει γύρω από τη διδασκαλία της (Viglietta, 1990; Summers et al., 1998).

Ιδιαίτερη, επίσης, έμφαση δίνεται στην έννοια ισχύς, η οποία, αν και οι δυσκολίες στη διδασκαλία της είναι γνωστές (Hırça, Çalik & Akdeniz, 2008; Dalaklioğlu, Demirci & Sekercioğlu, 2015), δεν έχει τη θέση που της αρμόζει στην παραδοσιακή διδασκαλία των ενεργειακών θεμάτων.

Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται εν συντομία οι βασικές αρχές του Mo.M.E. και μια πρόταση διδασκαλίας της βαρυτικής δυναμικής ενέργειας στο πλαίσιο του μοντέλου.

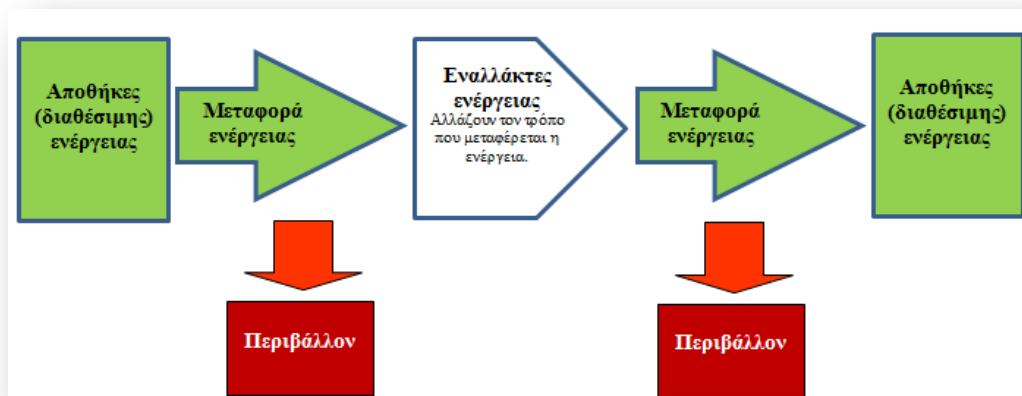
Συνοπτική περιγραφή του Mo.M.E.

Σύμφωνα με το Μοντέλο Μεταφοράς Ενέργειας η ενέργεια θεωρείται ότι είναι εντοπισμένη «κάπου» και, όταν συμβαίνει «κάτι» ή παρατηρείται κάποια κατάλληλη αλλαγή, η ενέργεια μεταφέρεται με κάποια διαδικασία από το ένα μέρος στο άλλο. Τυπικές εκφράσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής: «η ενέργεια της μπαταρίας μεταφέρεται στη λάμπα με το ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτρικά) και από τη λάμπα στο περιβάλλον με το φως και με τη θέρμανση (θερμικά)» ή «η ενέργεια από τον Ήλιο μεταφέρεται στα φυτά με ακτινοβολία» κ.λπ. Έτσι, το Mo.M.E. εστιάζει σε ερωτήσεις, όπως: *Πού ήταν η ενέργεια στην αρχή και στο τέλος του φαινομένου; Πώς πήγε εκεί;*

Στην ορολογία της «μεταφοράς» ενέργειας τρεις είναι οι βασικές έννοιες - κλειδιά:

- Οι αποθήκες ή πηγές ενέργειας (αποθήκευση ενέργειας)
- Οι τρόποι μεταφοράς ενέργειας (μεταφορά ενέργειας)
- Οι εναλλάκτες ενέργειας (αλλάζουν τον τρόπο μεταφοράς ενέργειας)

Στην Εικόνα 1 φαίνεται ο τρόπος που οι τρεις παραπάνω έννοιες - κλειδιά οικοδομούν το μοντέλο της ενεργειακής μεταφοράς, ενώ στον Πίνακα 1 δίνονται οι βασικές αρχές του μοντέλου.



Εικόνα 1. Σχηματική αναπαράσταση του Μοντέλου Μεταφοράς Ενέργειας.

1	Ενέργεια: μια μετρήσιμη οντότητα αποθηκευμένη σε ενεργειακές αποθήκες ή πηγές. Δεν υπάρχουν μορφές και μετατροπές ενέργειας, αλλά διαφορετικοί τρόποι αποθήκευσης της (κινητικά αποθηκευμένη, χημικά αποθηκευμένη κ.λπ.)
2	Η φύση της παραμένει ή ίδια, αλλάζει ο τρόπος μεταφοράς και αποθήκευσης.
3	Κατά τη μεταφορά και αποθήκευσή της, η ενέργεια προκαλεί διάφορες αλλαγές στους ενεργειακούς δείκτες που συνδέονται με τα σώματα ή συστήματα από τα οποία προέρχεται ή με αυτά στα οποία μεταφέρεται: π.χ. η κινητικά αποθηκευμένη ενέργεια συνδέεται με την ταχύτητα, η δυναμικά αποθηκευμένη με το ύψος, η θερμικά αποθηκευμένη με τη θερμοκρασία κ.λπ. Αυτή ακριβώς η ιδιότητά της να προκαλεί αλλαγές αποτελεί και τον πυρήνα του ορισμού της.
4	Υπάρχουν 5 τρόποι για μεταφορά της ενέργειας: Μηχανικά (έργο δύναμης), Ηλεκτρικά (ηλεκτρικό ρεύμα), Θερμικά (θέρμανση), Κυματικά (ακτινοβολία, ήχος), Μαζικά (μεταφορά μάζας).
5	Εναλλάκτες: αλλάζουν τον τρόπο μεταφοράς της ενέργειας. Π.χ. ο κινητήρας αλλάζει τον τρόπο μεταφοράς της ενέργειας από ηλεκτρικά σε μηχανικά.
6	Η ενέργεια διακρίνεται σε: Διαθέσιμη και Διασπειρόμενη. Η διαθέσιμη είναι αυτή που είναι αποθηκευμένη σε διάφορα σώματα ή συστήματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να μεταφερθεί μελλοντικά π.χ. η ενέργεια του συμπιεσμένου ελατηρίου κ.λπ., ενώ διασπειρόμενη είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στο περιβάλλον και δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί.
7	«Η διαθέσιμη ενέργεια μειώνεται» (αρχή διασποράς ενέργειας)

8	«Το σύνολο της ενέργειας (διαθέσιμης και διασπειρόμενης) παραμένει σταθερό» (αρχή διατήρησης της ενέργειας)
9	Σημαντικές έννοιες είναι ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας (ισχύς) και η απόδοση.

Πίνακας 1. Βασικές αρχές του Μο.Μ.Ε.

Παραδείγματα περιγραφής φαινομένων με το Μο.Μ.Ε.

Μερικά φαινόμενα στα οποία εφαρμόζεται το Μο.Μ.Ε. είναι ενδεικτικά τα εξής:

1. (Ηλεκτρικό κύκλωμα). Ενέργεια μεταφέρεται *ηλεκτρικά* (με το ηλεκτρικό ρεύμα) από την μπαταρία (χημικά αποθηκευμένη ενέργεια) στη λάμπα και από τη λάμπα στο περιβάλλον *θερμικά* (με θέρμανση) και *φωτεινά* (με το φως).
2. (Εκτόξευση βέλους). Ενέργεια μεταφέρεται *μηχανικά* από την τοξοβόλο (χημικά αποθηκευμένη ενέργεια) στο τόξο, όπου και αποθηκεύεται (ελαστικά αποθηκευμένη ενέργεια). Όταν το βέλος αφεθεί ελεύθερο, η ενέργεια από το τόξο μεταφέρεται *μηχανικά* στο βέλος.
3. (Θέρμανση νερού). Ενέργεια μεταφέρεται *θερμικά* από το καύσιμο στο νερό, όπου και αποθηκεύεται προσωρινά (θερμικά αποθηκευμένη ενέργεια).

Σε όλα τα παραπάνω φαινόμενα κατά την μεταφορά ενέργειας από το ένα μέρος στο άλλο, ένα μέρος της θα μεταφέρεται (διασπείρεται) στο περιβάλλον *θερμικά*.

Διδάσκοντας τη βαρυτική δυναμική ενέργεια

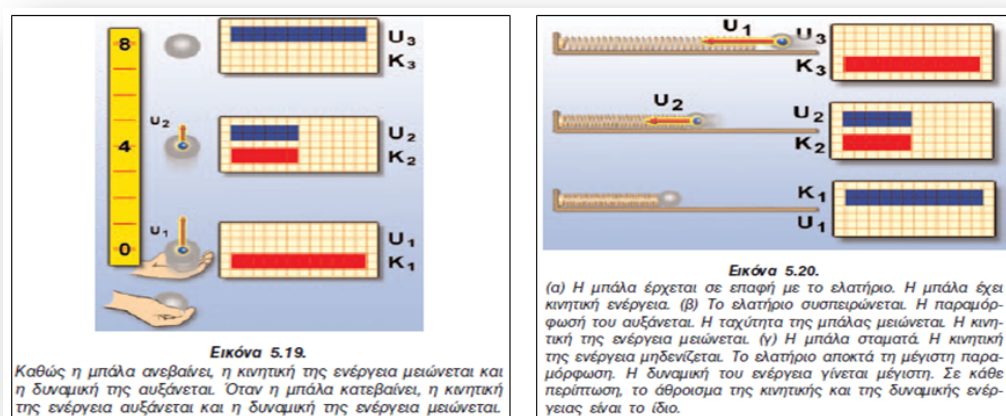
Υπάρχουν όμως και φαινόμενα όπου η μεταφορά ενέργειας συμβαίνει στο ίδιο το σύστημα και οι αποθήκες ενέργειας είναι δύσκολο να διακριθούν. Ακόμη όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις το Μο.Μ.Ε. προτείνει λύσεις επιστημονικά ορθές και διδακτικά μάλλον καταλληλότερες από το κυρίαρχο μοντέλο της μετατροπής ενέργειας.

Παραδείγματος χάριν, για την κίνηση ενός δρομέα με σταθερή ταχύτητα, συνήθως, αναφέρεται ότι «η *χημική ενέργεια των τροφών μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια*». Η παραπάνω έκφραση δεν αναφέρει ούτε πού γίνεται η μετατροπή της ενέργειας ούτε πώς γίνεται. Ακόμη, δεν γίνεται καμία αναφορά στη διασπορά της ενέργειας στο περιβάλλον και - το σημαντικότερο - η διατύπωση της πρότασης είναι αντιφατική και επιστημονικά λανθασμένη αφού δεν μπορεί να εξηγήσει τη συνεχή μείωση της ενέργειας των τροφών, ενώ η κινητική ενέργεια του δρομέα παραμένει σταθερή. Σύμφωνα με το Μο.Μ.Ε. το φαινόμενο μπορεί να περιγραφεί ως εξής : *Η (χημικά) αποθηκευμένη στις τροφές ενέργεια μεταφέρεται, και κατά ένα μέρος της αποθηκεύεται στον κινούμενο άνθρωπο, ενώ το υπόλοιπο μεταφέρεται στο περιβάλλον*. Όταν ο άνθρωπος αποκτήσει σταθερή ταχύτητα, δηλαδή σταθερή ενέργεια λόγω κίνησης (κινητική ενέργεια) «*όλη η ενέργεια από τις τροφές μεταφέρεται στο περιβάλλον*».

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Το μεγαλύτερο, όμως, πρόβλημα εφαρμογής των αρχών του Μο.Μ.Ε. αφορά το κλασικότερο παράδειγμα που εμφανίζεται στη διδασκαλία της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας και αναπαριστά την άνοδο και κάθοδο ενός αντικειμένου π.χ. μια μπάλας στο βαρυτικό πεδίο της Γης.

Στο βιβλίο Φυσικής Β' Γυμνασίου (Αντωνίου κ.ά., 2007) παρουσιάζεται το συγκεκριμένο παράδειγμα μαζί με ένα άλλο χαρακτηριστικό επίσης παράδειγμα, την παραμόρφωση του ελατηρίου από ένα κινούμενο προς αυτό μεταλλικό σφαιρίδιο (Εικόνα 3). Και στα δυο χρησιμοποιείται η έννοια της μετατροπής ενέργειας από κινητική σε δυναμική. Στο παράδειγμα της μπάλας και κατά την άνοδο της, η κινητική ενέργεια της μπάλας μετατρέπεται σε δυναμική της μπάλας, ενώ κατά την πτώση της η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική. Στην περίπτωση του ελατηρίου η κινητική ενέργεια του σφαιριδίου που πέφτει πάνω στο ελατήριο μετατρέπεται σε δυναμική του ελατηρίου κατά την συμπίεση και από δυναμική σε κινητική κατά την επιμήκυνσή του. Όπως φαίνεται και από την αναπαράσταση των ενεργειών με τις στήλες μπλε και κόκκινου χρώματος, το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας κάθε χρονική στιγμή παραμένει σταθερό: η μηχανική ενέργεια διατηρείται.



Εικόνα 3. Η διατήρηση της ενέργειας στα φαινόμενα: 1. Εκτόξευση μπάλας, 2. Παραμόρφωση ελατηρίου (Αντωνίου κ.ά., 2007).

Η βασική ομοιότητα των δυο παραδειγμάτων είναι ότι η κινητική ενέργεια αναφέρεται στα σώματα που κινούνται, ενώ η σημαντικότερη διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι η δυναμική ενέργεια στο παράδειγμα του ελατηρίου αποδίδεται σε αυτό και όχι στο σφαιρίδιο που κινείται, ενώ στο παράδειγμα της μπάλας, στην ίδια την μπάλα που κινείται. Αυτή η διαφορά αποτελεί και τον πυρήνα του προβληματισμού για τον τρόπο εφαρμογής της έννοιας αποθηκευμένη ενέργεια.

Αν και στην περίπτωση του ελατηρίου η χρήση του Μο.Μ.Ε. δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες και η έκφραση «ενέργεια από το σφαιρίδιο μεταφέρεται μηχανικά στο ελατήριο και αποθηκεύεται σ' αυτό» γίνεται εύκολα αποδεκτή, δε συμβαίνει και το ίδιο στην περίπτωση της μπάλας. Η αντίστοιχη

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

έκφραση «ενέργεια από την μπάλα λόγω κίνησης (κινητική ενέργεια) μεταφέρεται στην μπάλα και αποθηκεύεται λόγω θέσης (δυναμικά αποθηκευμένη ενέργεια ή δυναμική ενέργεια)» είναι αδόκιμη για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι η μεταφορά ενέργειας από ένα αντικείμενο στο ίδιο αντικείμενο είναι άνευ νοήματος γιατί δεν υπάρχουν σαφώς διαφορετικές αποθήκες ενέργειας και ο δεύτερος, γιατί αυτή η μεταφορά ενέργειας δεν αναφέρει τον τρόπο που γίνεται, αφήνοντας έτσι περιθώρια στο μοντέλο της μετατροπής ενέργειας να φαίνεται ελκυστικότερο και απλούστερο.

Αν και η ενέργεια αφορά συστήματα σωμάτων ή σώματα που αλληλεπιδρούν, ο διδακτικός μετασχηματισμός σε ένα εισαγωγικό επίπεδο για τη διδασκαλία της ενέργειας, όπου η χρήση της έννοιας του συστήματος παρουσιάζει δυσκολίες, απαιτεί η δυναμική ενέργεια να συνδέεται με εκείνο το σώμα του συστήματος που παίζει και το σημαντικότερο ρόλο. Μια τέτοια θεώρηση εκμεταλλεύεται τις αρχικές απόψεις των μαθητών που έχουν την τάση να αποδίδουν την ενέργεια σε συγκεκριμένα αντικείμενα και όχι στο σύστημα που αποτελείται από τα αντικείμενα (Bauman, 1992; Mallinckrodt & Leff, 1992; Arons, 1999; Heuvelen & Zou, 2001). Έτσι, η διδασκαλία του συστήματος, ιδίως του βαρυτικού, παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες (Jewett, 2008a) και μπορεί να εισαχθεί σε μεταγενέστερο στάδιο, χωρίς αυτή η καθυστέρηση να δημιουργεί αξεπέραστα εννοιολογικά προβλήματα. Π.χ. για το σύστημα «καύσιμα και οξυγόνο» η ενέργεια αναφέρεται ως ενέργεια των καυσίμων, η ενέργεια του συστήματος «ελατήριο και σφαιρίδιο» αναφέρεται ως ελαστική ενέργεια ή δυναμική ενέργεια του ελατηρίου κλπ.

Στη περίπτωση, όμως, της μπάλας που κινείται στο βαρυτικό πεδίο της Γης έχει επικρατήσει παραδοσιακά η αντίληψη να αναφέρεται η δυναμική ενέργεια του συστήματος Γης - μπάλας ως δυναμική ενέργεια της μπάλας. Ένα σημαντικό πρόβλημα αυτής της θεώρησης είναι ότι έρχεται σε σύγκρουση με την έννοια έργο δύναμης και δείχνει ασυνεπής ως προς τον ορισμό του έργου και τη σημασία του. Πράγματι, όταν η μπάλα πέφτει, σύμφωνα με τον ορισμό της έννοιας έργο, αυτό ισοδυναμεί με την μεταφορά ενέργειας από το σώμα που ασκεί την δύναμη στον αποδέκτη της δύναμης, δηλαδή με μεταφορά ενέργειας από τη Γη στην μπάλα.

Θα πρέπει λοιπόν να υπάρξει μια αναθεώρηση της παραδοσιακής θέσης ότι ένα αντικείμενο στο βαρυτικό πεδίο τη Γης θεωρείται ότι έχει δυναμική ενέργεια και να επικρατήσει η άποψη ότι αυτή η ενέργεια κατέχεται από την Γη και όχι από το αντικείμενο. Τη δυνατότητα, δηλαδή, να προκαλέσει αλλαγές (π.χ. να αυξήσει την ταχύτητα της μπάλας) την κατέχει η Γη που ασκεί τη δύναμη στην μπάλα και όχι η μπάλα που δεν ασκεί καμία δύναμη στο εαυτό της. Μια τέτοια αναθεώρηση δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για την χρήση του Mo.M.E. στη περιγραφή του προβληματικού αυτού φαινομένου. Πέφτοντας η μπάλα, αυξάνει συνεχώς την ενέργειά της (κινητική ενέργεια), ενέργεια που μεταφέρεται (μηχανικά) από τη Γη στην μπάλα μέσω του θετικού έργου του βάρους και γίνεται μέγιστη λίγο πριν κτυπήσει στο έδαφος (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Μεταφορά ενέργειας μέσω του έργου του βάρους, από τη Γη στη μπάλα.

Αν η μπάλα π.χ. εκτοξευθεί προς τα πάνω, τότε υπάρχει συνεχής μεταφορά ενέργειας (μηχανικά) από την μπάλα στη Γη (αρνητικό έργο), μέχρι να φτάσει στο ψηλότερο σημείο. Έτσι, κατά την άνοδο, η ενέργεια της μπάλας (κινητική) μειώνεται, ενώ αυξάνεται η ενέργεια (δυναμική) της Γης (Εικόνα 5). Σε οποιαδήποτε περίπτωση όμως, το άθροισμα των ενεργειών της μπάλας και της Γης παραμένει σταθερό (αν θεωρήσουμε ότι η ενέργεια που μεταφέρεται στο περιβάλλον είναι αμελητέα), δηλαδή τα δύο σώματα ανταλλάσσουν συνεχώς ενέργεια κατά την άνοδο και κάθοδο της μπάλας.

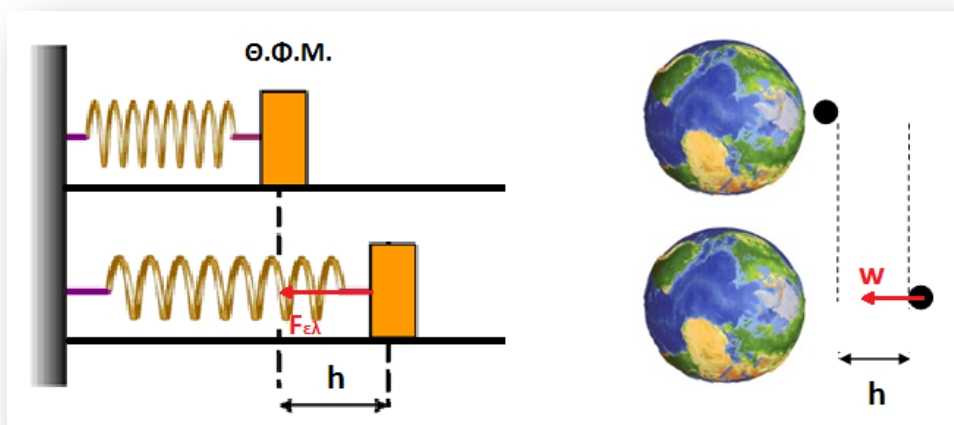


Εικόνα 5. Μεταφορά ενέργειας μέσω του έργου του βάρους, από τη μπάλα στη Γη.

Μια τέτοια αποδοχή εμφανίζει πολλές ομοιότητες με το παράδειγμα του ελατηρίου που προαναφέρθηκε. Στη Εικόνα 6 εμφανίζονται τα δυο παραδείγματα. Όταν το ελατήριο είναι

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

επιμηκυμένο με το σώμα δεμένο στο ένα άκρο του, θεωρείται ότι το ίδιο το ελατήριο έχει αυξήσει την δυναμική του ενέργεια και όχι το σώμα. Κατ' αντιστοιχία, όταν ένα σώμα βρίσκεται σε κάποιο ύψος από την επιφάνεια της Γης, η έκφραση «η Γη έχει αυξήσει ή κατέχει την δυναμική (βαρυτική) ενέργεια» είναι επιστημονικά ορθότερη και συνεπέστερη με τον ορισμό της έννοιας έργο δύναμης. Οι ομοιότητες των δυο παραδειγμάτων είναι προφανείς.



Εικόνα 6. Οι αναλογίες μεταξύ του επιμηκυμένου ελατηρίου και του ανυψωμένου, πάνω από την επιφάνεια της Γης, σώματος.

Μια τέτοια θεώρηση δεν αλλάζει τη μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων Μηχανικής. Αντιθέτως, η εφαρμογή της αρχής διατήρησης της μηχανικής ενέργειας (Α.Δ.Μ.Ε.), ή η εφαρμογή του θεωρήματος κινητικής ενέργειας – έργου, φαίνεται να είναι συνεπέστερες με την έννοια της αποθηκευμένης ενέργειας ή την έννοια έργο δύναμης ως έναν τρόπο μεταφοράς ενέργειας από το σώμα που ασκεί τη δύναμη σ' αυτό που τη δέχεται και αυξάνει με τον τρόπο αυτό την κινητική του ενέργεια. Π.χ. W_w ή $W_{F_{ελ}} = K_{τελ} - K_{αρχ}$ (το έργο βάρους ή έργο της δύναμης ελατηρίου είναι ίσο με τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας του σώματος).

Συμπερασματικά, η «μεταφορά ενέργειας» από ένα σύστημα σε άλλο ως έννοια θεωρείται απλούστερη αλλά και επιστημονικά ορθότερη από την έννοια «μετατροπή» και φαίνεται να προσφέρει μια συνεπέστερη κατανόηση της ενέργειας (τουλάχιστον στο Γυμνάσιο), η οποία μπορεί να συμπεριλάβει και ιδέες από το 2^ο θερμοδυναμικό νόμο που διδάσκεται, συνήθως, στις μεγαλύτερες τάξεις του Λυκείου.

Βιβλιογραφία

Ahmad, N. & Fauziah, S. (1998). Physics students' conceptions of energy and technological development in energy. *Renewable Energy*, 14(1-4), 415-419.

Andersson, B., Bach, F. & Zetterqvist, A. (2002). Understanding global and personal use of energy. *Journal of Baltic Science Education*, 1 (2), 4-18.

- Arons, A. (1999). Development of energy concepts in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 67(12), 1063-1067.
- Bauman, R. (1992). Physics that Textbook Writers Usually get Wrong. *The Physics Teacher*, 30, 264-269.
- Besson, U. (2004). Some features of causal reasoning: common Sense and physics teaching. *Research in Science & Technological Education*, 22(1), 113-125.
- Chisholm, D. (1992). Some energetic thoughts. *Physics Education*, 27, 215-220.
- Dalaklioglu, S., Demirci, N. & Sekercioğlu, A. (2015). Eleventh grade students' difficulties and misconceptions about energy and momentum concepts. *International Journal on New Trends in Education and Their Implications*, Vol 6(1), 13-21.
- Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In Robert F. Chen et al. (Eds) *Teaching and Learning of Energy in K – 12 Education, Part II*, pp 67-85, Springer International Publishing.
- Ellse, M. (1988). Transferring not transforming energy. *School Science Review*, 69(248), 427-437.
- Etkina, E., Warren, A. & Gentile, M. (2006). The Role of Models in Physics Instruction. *The Physics Teacher*, 44(1), 34-39.
- Hecht, E. (2007). Energy and Change. *The Physics Teacher*, 45(2), 88-92.
- Heuvelen, A. & Zou, X. (2001). Multiple Representations of Work-energy Processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184-194.
- Hinrichs, R. & Kleinbach, M. (2002). *Energy: Its use and the environment*. New York: Thomson Learning.
- Hırça, N., Çalık, M. & Akdeniz, F. (2008). Investigating Grade 8 Students' Conceptions of «Energy» and Related Concept. *Journal of Turkish Science Education*, 5(1), 75-87.
- Jewett, J. (2008a). Energy and the Confused Student II: Systems. *The Physics Teacher*, 46(2), 81-86.
- Jewett, J. (2008b). Energy and the Confused Student IV: A Global Approach to Energy. *The Physics Teacher*, 46(4), 210-217.
- Kurnaz, M. & Arslan, A. (2011). The Effects Of 'Model Of Model Based Instruction' Teaching Model To Students' Understanding Level About Energy Concept. *E-International Journal of Educational Research*, vol2, No2. 1-16.
- Mallinckrodt, J. & Leff, H. (1992). All about work. *American Journal Physics*, 60(4), 356-365.
- Millar, R. (2014). Teaching about energy: from every day to scientific understandings. *School Science Review*, 96(354), 45-50.
- Nordine, J. (2008). *Supporting middle school students' development of an accurate and applicable energy concept*. A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Education) in the University of Michigan.
- Pallas, A., Stauridou, H. & Triantafyllou, E. (2007). Design and development of innovative Physics simulations and teaching materials for the learning of the concept of Energy, Proceedings of the 10th IASTED International Conference Computers and Advanced Technology in Education, October 8-10, 2007, Beijing, China 2007.
- Schmid, G. (1982). Energy and its carriers. *Physics Education*, 17, 212-218.
- Solbes, J., [Guisasola, I.](#) & Tarin, F. (2009). [Teaching Energy Conservation as a Unifying Principle in Physics](#). *Journal of Science Education and Technology*, 18(3), 265-274.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Solomon, J. (1982). How children learn about energy or does the first law come first? *School Science Review*, 63, 415-422.

Summers, M., Kruger, C., Mant, J., & Childs, A. (1998). Developing primary teachers' understanding of energy efficiency. *Educational Research*, 40(3), 311-328.

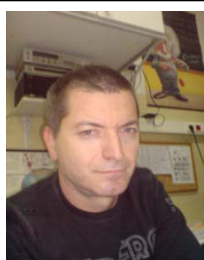
Viglietta, L. (1990). «Efficiency» in the teaching of energy. *Physics Education*, 25(6) 317-321.

Αντωνίου, Ν., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ. & Παπασιμπα, Λ. 2007. *Φυσική Β' και Γ' Γυμνασίου*. Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων, Αθήνα

Κολιόπουλος, Δ. (2006). Το εννοιολογικό πρότυπο των ενεργειακών αλυσίδων ως κατάλληλος διδακτικός μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης για την ενέργεια στην πρωτοβάθμια και στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. *Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών - Έρευνα και Πράξη*, 18, 78-83.

Πάλλας, Α. (2011). *Το μοντέλο μεταφοράς ενέργειας ως νέα διδακτική πρόταση για τη διδασκαλία της έννοιας της ενέργειας και η συμβολή των ΤΠΕ σ' αυτή*. Διδακτορική διατριβή, ΠΤΔΕ Παν/μίου Θεσσαλίας.

Σταυρίδου, Ε. (1995). *Μοντέλα φυσικών επιστημών και διαδικασίες μάθησης*. Αθήνα. Εκδόσεις Σαββάλας.



Ο Αναστάσιος Πάλλας είναι Φυσικός με Μεταπτυχιακές σπουδές στην Ηλεκτρονική Φυσική στο Φυσικό Τμήμα του ΑΠΘ και Διδάκτορας στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Διδάσκει το Πειραματικό Σχολείο του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης από το 1996 και το ενδιαφέρον του επικεντρώνεται κυρίως στη διδασκαλία της Φυσικής και της Τεχνολογίας.



Η Ελένη Σταυρίδου υπηρέτησε ως εκπαιδευτικός και ως Σχολικός Σύμβουλος Φυσικών Επιστημών (ΦΕ) στη Δ/θμια εκπαίδευση, και ως Καθηγήτρια Διδακτικής των ΦΕ στο ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και κατόπιν στο ΠΤΔΕ του ΑΠΘ, από όπου συνταξιοδοτήθηκε το 2010. Έχει πολυάριθμες δημοσιεύσεις σε ελληνικά και διεθνή επιστημονικά περιοδικά και πρακτικά συνεδρίων. Είναι συγγραφέας 2 βιβλίων και εκπαιδευτικού υλικού, καθώς και συνεργάτης για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού για τη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ.

Τι διδάσκουμε για την έννοια πίεση; Πώς, πότε και γιατί εισήχθη η έννοια πίεση στη Φυσική;

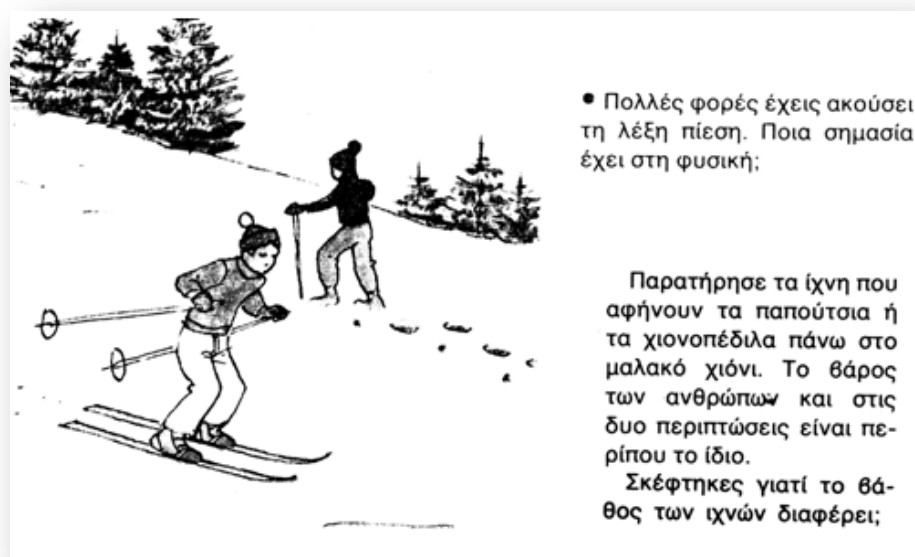
Παναγιώτης Κουμαράς

Στο 5ο τεύχος του παρόντος περιοδικού είχα παρουσιάσει προβληματικά σημεία των εγχειριδίων Φυσικής σχετικά με την έννοια ενέργεια. Στο άρθρο αυτό θα εστιάσω στο τι διδάσκουμε για την έννοια πίεση και αν αυτό είναι σε συνέπεια με τη Φυσική.

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται δύο κυρίως προβλήματα σχετιζόμενα με τη διδασκαλία της πίεσης:

A. Η πίεση στα σχολικά βιβλία εισάγεται σε περιβάλλον στερεών

Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα που χρησιμοποιείται είναι το βούλιαγμα ή όχι σε χιόνι, ανάλογα με αν κάποιος φορά ή όχι χιονοπέδιλα. Ενδεικτικά, σε παλιότερο βιβλίο της Ε' Δημοτικού (Δασκαλάκης κ. ά., 1997, σελ. 78) παρουσιάζεται το σκίτσο και το κείμενο της Εικόνας 1.



Εικόνα 1. Εισαγωγή της πίεσης σε βιβλίο Ε' Δημοτικού

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Παρόμοια (Εικόνα 2) εισάγεται η πίεση και σε παλιότερο βιβλίο της Β' Γυμνασίου (Ζενάκος κ.ά. 1995, σελ. 87),



Εικόνα 2. Εισαγωγή της πίεσης σε βιβλίο Β' Γυμνασίου

Εισαγωγή της πίεσης σε περιβάλλον στερεών βρίσκουμε και στο βιβλίο "Οι έννοιες της Φυσικής" του Hewitt (1997, Τόμος Ι, σελ. 205), ένα από τα γνωστότερα παγκοσμίως πανεπιστημιακά βιβλία γενικής Φυσικής (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Εισαγωγή της πίεσης σε πανεπιστημιακό βιβλίο

Στα παραπάνω βιβλία η πίεση εισάγεται ως κατανομή δύναμης σε επιφάνεια. Ο ίδιος τρόπος εισαγωγής της πίεσης έχει καταγραφεί σε ανάλυση αντιπροσωπευτικού δείγματος βιβλίων Δημοτικού, Γυμνασίου, Λυκείου, Πανεπιστημίου, από τέσσερις χώρες (Kariotoglou, Psillos & Valassiades, 1990; Καριώτογλου, 1991, σελ. 55-63; Φασουλόπουλος, 2000, σελ. 35-36). Φαίνεται πως το βούλιαγμα ή όχι του σκιέρ, ανάλογα με το αν φορά ή όχι χιονοπέδιλα, και η «καταστροφή» που προκαλεί μια κυρία με τακούνια «στιλέτο» είναι από τα παραδείγματα που προτιμώνται από τους συγγραφείς για την εισαγωγή της έννοιας πίεση και, αντίστοιχα, η πινέζα είναι από τα πλέον

προτιμώμενα παραδείγματα εφαρμογής. Από τον Καριώτογλου σχολιάζεται ότι ενώ η εισαγωγή της πίεσης γίνεται σε περιβάλλον στερεών ακολουθεί η μεταφορά της στα ρευστά «χωρίς καμιά ιδιαίτερη επισημάνση ή αναφορά, στα κρυφά, και μάλιστα ακολουθεί εξέταση της πίεσης στο εσωτερικό του ρευστού, ενώ είχε οριστεί για την επιφάνεια στερεών» (Καριώτογλου, 1991, σελ. 58). Στη λογική αυτή των βιβλίων η ερμηνεία της λειτουργίας του υδραυλικού πιεστηρίου έρχεται ως εφαρμογή της σχέσης $p = \frac{F}{S}$ που έχει οριστεί στα στερεά.

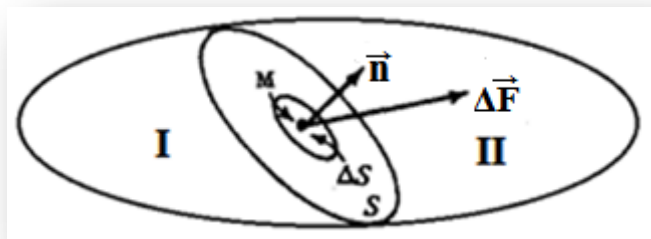
Β. Η πίεση, για πολλά σχολικά βιβλία, “ασκείται” και έχει κατεύθυνση

Ήδη στην Εικόνα 3 καταγράφεται η φράση «το όρθιο [τούβλο] ασκεί μεγαλύτερη πίεση στο τραπέζι». Το «ασκεί» είναι ρήμα που συνδέεται με τη δύναμη και όχι με το βαθμωτό μέγεθος πίεση. Ένα ακόμη από τα αποτελέσματα της ανάλυσης αντιπροσωπευτικού δείγματος βιβλίων Δημοτικού, Γυμνασίου, Λυκείου, Πανεπιστημίου, που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο, είναι η καταγραφή εκφράσεων που χρησιμοποιούνται σε αυτά για την πίεση. Έχουν καταγραφεί εκφράσεις όπως: «η προς τα πάνω πίεση», «η προς τα κάτω πίεση», «ασκείται πίεση», «η πίεση που δέχεται», «η πίεση δρα», «η πίεση που ασκεί το νερό», «η πίεση ωθεί κάθετα τα τοιχώματα» που αποδίδουν στην πίεση διανυσματικό χαρακτήρα και δε διευκολύνουν τη διαφοροποίησή της από τη δύναμη. Προς την κατεύθυνση αυτή λειτουργεί και η χρήση βελών για να δηλωθεί η ύπαρξη πίεσης «προς τα πάνω» (Καριώτογλου, 1991, σελ. 59). Τέλος η συνδυασμένη χρήση εκφράσεων, που συναντώνται στα σχολικά εγχειρίδια, όπως «η δύναμη πιέζει» και «η πίεση ασκείται» επιτείνει το πρόβλημα (Φασουλόπουλος, 2000, σελ. 36). Παρόμοια από τον McClelland (1987) καταγράφονται σε βιβλία Φυσικής λανθασμένες εκφράσεις όπως: «η πίεση κάτω από τα πόδια τους μπορεί να τους κάνει να βυθιστούν στο μαλακό έδαφος ή στο χιόνι» ή «η πίεση στα υγρά δρα ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις».

Από την τάση στην πίεση

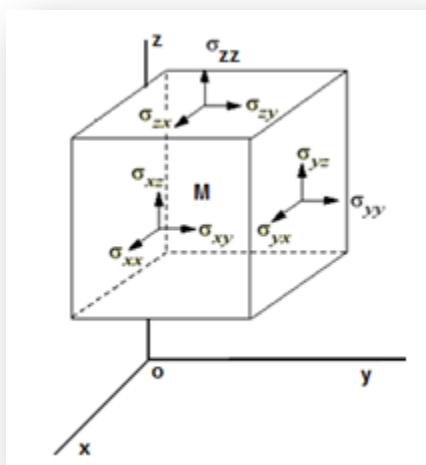
Η κατανομή δύναμης σε μια επιφάνεια (διατομή), σε περιβάλλον στερεών, που ορίζεται στα παραπάνω βιβλία ως το μονόμετρο μέγεθος πίεση, στην πραγματικότητα είναι ένας τανυστής 2ης τάξης (με $3^2=9$ συνιστώσες) και ονομάζεται *τάση*.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα συνεχές μέσο και μια επίπεδη επιφάνεια S μέσα σε αυτό που το χωρίζει σε δύο τμήματα I και II. Κατά την επαφή μεταξύ των δυο αυτών τμημάτων το καθένα ασκεί δυνάμεις στο άλλο. Στην Εικόνα 4 αναπαριστάται η στοιχειώδης δύναμη ΔF που το τμήμα I ασκεί στο II μέσω της επιφάνειας ΔS που διέρχεται από το σημείο M.



Εικόνα 4. Δυνάμεις στο εσωτερικό ενός συνεχούς μέσου

Ο λόγος $f = \lim \frac{\Delta F}{\Delta S}$ (όταν $\Delta S \rightarrow 0$) ορίζεται ως η ανηγμένη δύναμη που ασκείται σε μια μοναδιαία επίπεδη επιφάνεια που διέρχεται από το σημείο M, στο εσωτερικό του όγκου που καταλαμβάνεται από το συνεχές μέσο. Επειδή από το σημείο M διέρχονται άπειρες επίπεδες επιφάνειες γεννάται το ερώτημα: «πώς μπορεί να υπολογιστεί η ανηγμένη δύναμη σε τυχούσα επίπεδη επιφάνεια που διέρχεται από το σημείο M;». Η απάντηση στο ερώτημα είναι: Αρκεί να είναι γνωστές οι ανηγμένες δυνάμεις f_1 , f_2 και f_3 , σε τρία επίπεδα που δεν διέρχονται από την ίδια ευθεία. Τρία τέτοια επίπεδα μπορούν να θεωρηθούν τα τρία επίπεδα που είναι κάθετα στις διευθύνσεις των καρτεσιανών αξόνων x, y, z. Ουσιαστικά δηλαδή περνάμε στον στοιχειώδη κύβο που περιβάλλει το σημείο M (x, y, z) (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Ο στοιχειώδης κύβος που περιβάλλει το σημείο M (x, y, z)

Οι ανηγμένες δυνάμεις για κάθε ένα από τα επίπεδα αυτά είναι:

$$f_x = (\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}), f_y = (\sigma_{yx}, \sigma_{yy}, \sigma_{yz}), f_z = (\sigma_{zx}, \sigma_{zy}, \sigma_{zz})$$

όπου στις παρενθέσεις είναι οι συνιστώσες των ανηγμένων δυνάμεων κατά μήκος των καρτεσιανών αξόνων. Οι συνιστώσες των τριών αυτών ανηγμένων δυνάμεων μπορούν να γραφούν συνοπτικά στη μορφή του πίνακα (1):

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Ο πίνακας (1) ορίζει τον τανυστή των τάσεων (σ) για το σημείο M. Τα διαγώνια στοιχεία (σ_{ij} με $i = j$ και $i, j = x, y, z$) είναι οι ορθές τάσεις (normal stresses) και είναι κάθετες στην επιφάνεια της διατομής. Τα υπόλοιπα, μη διαγώνια, στοιχεία (σ_{ij} με $i \neq j$ και $i, j = x, y, z$) είναι οι διατμητικές τάσεις (shear stresses) που είναι επί (παράλληλες) της επιφάνειας της διατομής.

Στο εσωτερικό υγρού σε κατάσταση ισορροπίας τα μη διαγώνια στοιχεία είναι ίσα με 0, διότι στο ακίνητο υγρό, λόγω της μη αντίδρασής του στην αλλαγή σχήματος, δεν υπάρχουν διατμητικές τάσεις. Έτσι ο πίνακας (1) γίνεται διαγώνιος σε κάθε σύστημα αναφοράς. Η απαίτηση να είναι διαγώνιος σε κάθε σύστημα αναφοράς οδηγεί στην ανάγκη να είναι τα διαγώνια στοιχεία ίσα μεταξύ τους, δηλαδή $\sigma_{xx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz}$ [κάθε ανηγμένη δύναμη είναι κάθετη στην επιφάνεια που αντιστοιχεί και ίση προς όλες τις κατευθύνσεις] = $-P(x, y, z)$ [με το - να δηλώνει συμπίεση]. Αυτή η συνάρτηση σημείου $P(x, y, z)$ ονομάζεται υδροστατική πίεση και είναι αριθμητικό μέγεθος. Ο τανυστής 2ης τάξης, η τάση, περιορίζεται σε τανυστή μηδενικής τάξης την πίεση (Καριώτογλου 1991, σελ. 40-44; Καββαδάς, 2005, κεφ.3 σελίδες 1-2).

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει ότι η πίεση ορίζεται για κάθε σημείο ενός ρευστού και όχι για μια επιφάνεια ή ακόμη και για κάποιο όγκο. Έτσι η συνηθισμένη φράση «η πίεση στην επιφάνεια είναι» πρέπει να γίνει «η πίεση σε (κάθε) σημείο της επιφάνειας είναι». Στη γραμμή αυτή ο McClelland (1987) σχολιάζοντας ερώτηση των Engel – Clouth και Driver (1985) με την οποία ζητούσαν από τους μαθητές να συγκρίνουν πιέσεις πάνω σε ψάρια που κολυμπούν στο ίδιο μεν βάθος αλλά σε διαφορετικής διατομής ενυδρεία σημειώνει ότι η φράση “Which fish has more pressure on it?”, με την οποία διατυπώνεται η ερώτηση δεν είναι σωστή. Η σωστή ερώτηση θα ήταν για την πίεση σε ένα σημείο της ράχης κάθε ψαριού.

Ποιά ήταν η ανάγκη για την εισαγωγή της έννοιας πίεση, τότε και πώς εισήχθη;

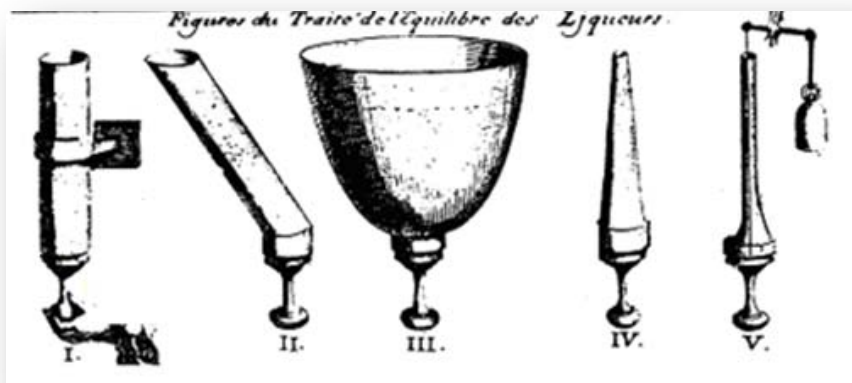
Το 1663 δημοσιεύτηκε το έργο “The Treatise on the Equilibrium of Liquids and the Heaviness of the Mass of Air” του Πασκάλ. Τα δυο πρώτα κεφάλαια έχουν ασυνήθιστους και προκλητικούς για σήμερα τίτλους. Το κεφάλαιο I τιτλοφορείται: «Πώς το βάρος των υγρών είναι σε αναλογία με το ύψος τους» (Evans, 1973, σελ. 3-5) και το κεφάλαιο II: «Γιατί τα υγρά ζυγίζουν σε αναλογία με το ύψος τους» (Evans, 1973, σελ. 6-11). Ας δούμε τι σημαίνουν αυτοί οι τίτλοι.

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

Ι. Πώς το βάρος των υγρών είναι σε αναλογία με το ύψος τους. Τι έκανε, τι παρατήρησε και τι συμπέρανε ο Πασκάλ

Ο Πασκάλ στερέωσε στον τοίχο πέντε διαφορετικούς σωλήνες (Evans, 1973, σελ. 3-5 και εικόνες μεταξύ των σελίδων 20-21) με κατάλληλο στήριγμα βιδωμένο στον τοίχο (Εικόνα 6, Ι). Ο κυλινδρικός σωλήνας Ι έχει ομοιόμορφη διάμετρο σε όλο του το μήκος. Ο σωλήνας ΙΙ είναι ίδιος διαμέτρου με τον Ι, με κλίση από ένα μέρος του και πάνω, αλλά τελειώνει σε κατακόρυφο τμήμα κοντά στη βάση του. Ο σωλήνας ΙΙΙ έχει βάση ίδιου διαμέτρου με του Ι, αλλά τα τοιχώματά του ανοίγουν προς τα πλάγια έχοντας έτσι έναν πολύ μεγαλύτερο όγκο, σε σχέση με τον σωλήνα Ι. Ο σωλήνας ΙV έχει βάση ίδιου διαμέτρου με τους προηγούμενους αλλά ψηλότερα τα τοιχώματά του συγκλίνουν, με αποτέλεσμα να έχει μικρότερο όγκο από τον σωλήνα Ι. Τέλος ο σωλήνας V είναι ένας ακόμη πιο στενός σωλήνας που στο κάτω μέρος καταλήγει σε ίδια διάμετρο με αυτήν που έχουν και οι προηγούμενοι σωλήνες κοντά στη βάση τους.

Οι σωλήνες κλείνονται στο κάτω μέρος τους υδατοστεγώς με βουλώματα. Στην Εικόνα 6, στο κάτω μέρος του σωλήνα Ι φαίνεται ένα χέρι να τοποθετεί το βούλωμα, στους άλλους φαίνονται τα βουλώματα να αιωρούνται παράλληλα στον τοίχο.



Εικόνα 6. Τα δοχεία του Πασκάλ

Ο Πασκάλ γράφει:

«[...]αν κάποιος τα γεμίσει όλα με νερό μέχρι το ίδιο ύψος [...] το πείραμα δείχνει ότι απαιτείται η ίδια δύναμη για να κρατήσει τα βουλώματα στη θέση τους, αν και υπάρχουν πολύ διαφορετικές ποσότητες νερού στα διάφορα δοχεία [...] και το μέτρο της δύναμης [που απαιτείται για να φύγει το βούλωμα] είναι ίσο με το βάρος του νερού που περιέχεται στον πρώτο σωλήνα, ο οποίος είναι ομοιόμορφος έχοντας την ίδια διάμετρο σε όλο του το μήκος. Αν το νερό ζυγίζει 100 λίβρες [45,5 kg], τότε θα απαιτείται δύναμη 100 λίβρες για να κρατηθεί στη θέση του κάθε ένα από τα πώματα, ακόμα και στον πέμπτο σωλήνα αν και το νερό σε αυτόν μπορεί να μη ζυγίζει περισσότερο από μια ουγγιά [28,35 g]» (Evans, 1973, σελ. 3).

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

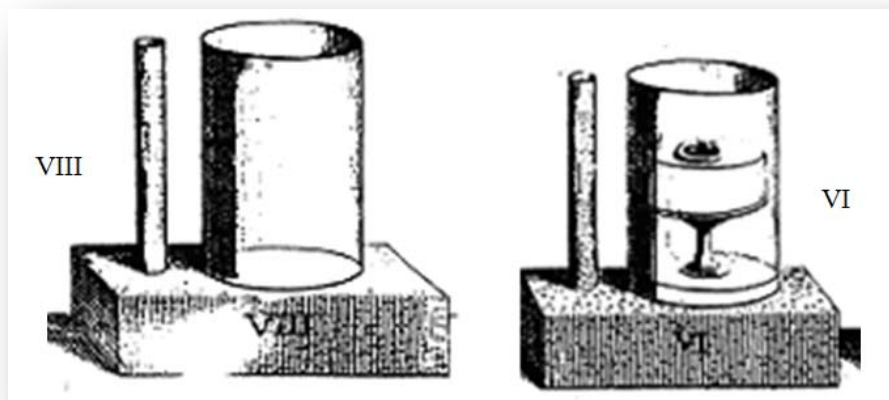
Ουσιαστικά το «εκπληκτικό», που προβάλλει ο Πασκάλ και δεν εξηγείται με την έννοια βάρος (δύναμη), είναι ότι απαιτείται η ίδια δύναμη για να συγκρατήσει τον πυθμένα στα δοχεία του, είτε αυτά περιέχουν 45,5 kg νερό είτε μόλις 28,35 g.

Στη συνέχεια ο Πασκάλ έκανε την κατασκευή με ζυγό που φαίνεται στο σωλήνα V της Εικόνας 6. «Για να ελέγξετε τα παραπάνω με ακρίβεια είναι απαραίτητο να κλείσει η βάση του πέμπτου σωλήνα με ένα στρογγυλό κομμάτι ξύλου σαν το έμβολο μιας αντλίας που να ταιριάζει ακριβώς ώστε να μπορεί να γλιστρά προς τα πάνω και προς τα κάτω χωρίς να κολλάει και να μη διαρρέει νερό. Στη συνέχεια ένα νήμα στερεώνεται στο κέντρο του εμβόλου, το νήμα αυτό περνάει μέσα από το στενό σωλήνα και τέλος δένεται στο κρεμασμένο βάρος των 100 λιβρών. Το βάρος των 100 λιβρών φαίνεται να είναι σε τέλεια ισορροπία με τη 1 ουγκιά του νερού που βρίσκεται στο στενό σωλήνα. Όμως αν έστω και λίγο μειωθεί το βάρος των 100 λιβρών τότε το βάρος της μιας ουγκιάς του νερού θα φέρει το έμβολο προς τα κάτω, αυτό θα κινήσει το βραχίονα της ζυγαριάς με τον οποίο συνδέεται και τέλος θα δούμε τον άλλο βραχίονα, αυτόν στον οποίον είναι κρεμασμένο το λίγο μικρότερο από 100 λίβρες βάρος, να υψώνεται.

Αν συμβεί το νερό [στο στενό σωλήνα] να παγώσει και ο πάγος δεν κολλήσει στο σωλήνα (πράγμα που συμβαίνει σπάνια) τότε χρειάζεται να κρεμαστεί βάρος μόνο μιας ουγκιάς [28,35 g] για να εξισορροπήσει τον πάγο, αλλά αν δοθεί θερμότητα στο σωλήνα και λειώσει ο πάγος θα χρειαστεί πάλι να κρεμαστεί βάρος 100 λίβρες [45,5 kg] για να εξισορροπήσει τώρα το βάρος του λειωμένου πάγου, αν και όπως έχουμε επαναλάβει, το βάρος του νερού είναι μόνο μια ουγκιά [1]» (Evans, 1973, σελ. 4).

Στη συνέχεια ο Πασκάλ δείχνει ότι «κάτι» μεταδίδεται αμείωτο προς όλες τις κατευθύνσεις, διατυπώνοντας τη γνωστή μας σήμερα «Αρχή του Πασκάλ»:

«Το ίδιο πράγμα συμβαίνει και όταν τα δαφράγματα [τα βουλώματα] που εμποδίζουν [το νερό να χυθεί] τοποθετηθούν σε ανοίγματα [που έχουν γίνει] στα πλάγια ή ακόμα και στην κορυφή της ευρύτερης βάσης, μάλιστα αυτή η δευτέρευση θα κάνει το πείραμα ευκολότερο. Για να δαχτεί αυτό, είναι αναγκαίο να έχουμε ένα δοχείο ερμητικά κλεισμένο από όλες τις πλευρές, στην κορυφή του οποίου έχουν ανοιχτεί δυο ανοίγματα, το ένα στενότερο και το άλλο πλατύτερο. Στα ανοίγματα συγκολλούνται σωλήνες που ταιριάζουν ακριβώς [Εικόνα 7, VIII]. Αν τώρα τοποθετήσουμε ένα έμβολο στον πλατύτερο σωλήνα και ρίξουμε νερό στον στενότερο, για να μην μετακινηθεί το έμβολο προς τα πάνω πρέπει να τοποθετηθεί πάνω στο έμβολο ένα μεγάλο βάρος [2], διαφορετικά το βάρος του νερού που ρίξαμε στο στενότερο σωλήνα θα κινήσει το έμβολο προς τα πάνω. Ακριβώς όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις δύναμη 100 λιβρών είναι αναγκαία για να αποτραπεί το βάρος του νερού [που περιέχεται] στο στενό σωλήνα να υψώσει το έμβολο. Και αν το άνοιγμα ήταν στην πλαϊνή επιφάνεια η ίδια δύναμη θα απαιτείτο για να αποτραπεί το βάρος του νερού να σπρώξει το έμβολο προς αυτή την πλευρά. Και αν ο σωλήνας που γέμιζε με νερό ήταν εκατό φορές πλατύτερος ή εκατό φορές στενότερος, τότε εφόσον το επίπεδο του νερού παρέμενε σταθερό απαιτείται το ίδιο βάρος [να τοποθετηθεί στο έμβολο] για να το ισορροπήσει...» (Evans, 1973, σελ. 4-5)

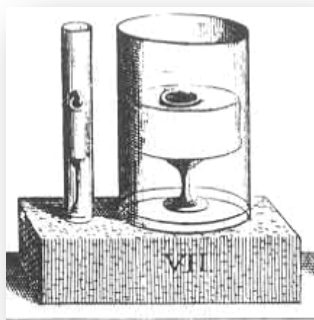


Εικόνα 7. Τα ανοίγματα τοποθετούνται στο πάνω μέρος ενός ορθογώνιου δοχείου

Από τα πειράματα της Εικόνας 6 που περιγράφει ο Πασκάλ φαίνεται ότι η έννοια βάρους όλου του υγρού που υπάρχει στα δοχεία (γενικότερα η έννοια δύναμη) δεν επαρκεί για την ερμηνεία της παρατήρησης ότι το βάρος των 45,5 kg είναι σε “τέλεια ισορροπία” με το βάρος των 28,35 g. Το ερώτημα είναι: πώς ερμήνευσε ο Πασκάλ το γεγονός ότι ο πυθμένας όλων των δοχείων της Εικόνας 6 δέχεται την ίδια δύναμη [3] παρά τις διαφορετικές ποσότητες νερού που περιέχουν; Περνάμε έτσι στο κεφάλαιο II.

II. Γιατί τα υγρά ζυγίζουν [4] σε αναλογία με το ύψος τους. Πώς ερμήνευσε ο Πασκάλ τις παρατηρήσεις του

Ο Πασκάλ από τα παραπάνω πειράματα καταλήγει: «Όλα αυτά τα παραδείγματα δείχνουν ότι μια λεπτή κλωστή νερού μπορεί να ισορροπήσει ένα μεγάλο βάρος» (σωλήνας V, Εικόνα 6) και συνεχίζει: «μένει να δείξουμε την αιτία αυτού του πολλαπλασιασμού της δύναμης» (Evans, 1973, σελ. 6). Από την παρατήρηση «ότι μια λεπτή κλωστή νερού μπορεί να ισορροπήσει ένα μεγάλο βάρος», επινόησε άμεσα το υδραυλικό πιεστήριο. Θεωρεί ένα δοχείο κλειστό από όλες τις πλευρές με προσαρμοσμένους στην πάνω πλευρά του δυο κυλινδρικούς σωλήνες διαφορετικής διαμέτρου (οι δυο σωλήνες πάνω από το ορθογώνιο που φαίνονται στην Εικόνα 7, VIII). Στους δυο κυλινδρικούς σωλήνες προστίθεται νερό και στις επιφάνειες του νερού, σε κάθε σωλήνα, προσαρμόζονται δυο έμβολα (Εικόνα 8). Στην Εικόνα 8 διακρίνονται τα βάρη, που τοποθετούμενα πάνω στα έμβολα επιφέρουν την ισορροπία.



Εικόνα 8. Από τα δοχεία της Εικόνας 7 περνάμε στο υδραυλικό πιεστήριο

Αν το μεγάλο έμβολο έχει διατομή 100 φορές μεγαλύτερη από τη διατομή του μικρού τότε:

«Ένας άνδρας σπρώχνοντας το μικρό έμβολο θα ασκήσει μια δύναμη ίση με εκείνη 100 ανδρών που σπρώχνουν το μεγάλο έμβολο[...] και ανεξάρτητα από τα σχετικά εμβαδά των εμβόλων, αν οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στα έμβολα βρίσκονται στην ίδια αναλογία με τα εμβαδά τους θα εξισορροπούν η μια την άλλη [σε σημερινή γλώσσα Φυσικής εδώ ο Πασκάλ ουσιαστικά εισάγει τη σχέση $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$].

Αυτό που προκύπτει είναι μια νέα αρχή της Μηχανικής και μια νέα μηχανή που θα πολλαπλασιάζει τις δυνάμεις για οποιοδήποτε επιθυμητό ποσό, για έναν άνθρωπο αυτό σημαίνει ότι θα είναι σε θέση να σηκώσει κάθε βάρος που κάποιος μπορεί να του προτείνει. Είναι αξιοσημείωτο ότι σε αυτή τη νέα μηχανή εμφανίζεται η ίδια σταθερή σχέση που είναι χαρακτηριστική όλων των παλαιών μηχανημάτων όπως ο μοχλός, το βαρούλκο [ότι κερδίζεις σε δύναμη το χάνεις σε διαδρομή]... ένας άνθρωπος πατώντας το μικρό έμβολο προς τα κάτω σε απόσταση μιας ίντσας θα κινήσει το άλλο έμβολο μόνο κατά το ένα εκατοστό αυτής της απόστασης. Είναι η συνέχεια του νερού που καθιστά αδύνατο να μετακινηθεί το ένα χωρίς το άλλο».

Σε αυτό το πλαίσιο ο Πασκάλ ορίζει την πίεση:

«Το νερό κάτω από τα δυο έμβολα [του υδραυλικού πιεστηρίου] είναι εξίσου συμπιεσμένο, αν και από τη μια πλευρά υπάρχει βάρος 100 φορές μεγαλύτερο αυτό είναι σε επαφή με μια επιφάνεια 100 φορές μεγαλύτερη. Κατά συνέπεια η πίεση για το καθένα είναι ή ίδια και θα πρέπει να ισορροπούν» (Evans, 1973, σελ.7).

Πρόταση για τη διδασκαλία της έννοιας πίεση σε συμφωνία με την εισαγωγή της από τον Πασκάλ έχει διατυπωθεί σε άλλες μας εργασίες (Κουμαράς, 2015, σελ. 289-297; Koumaras & Pierratos, 2015)

Σχόλια

1. Θεωρώ αυτό το απόσπασμα ιδιαίτερα σημαντικό. Η πίεση ορίζεται για τα ρευστά. Στα στερεά η δύναμη μεταδίδεται αμετάβλητη κατά μέτρο και διεύθυνση. Μόνο τα ρευστά είναι “μεταδότες”

Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες στο Γυμνάσιο και στο Λύκειο

πίεσης. Ο λόγος για την ισορροπία σε όλα τα παραδείγματα οφείλεται στο γεγονός ότι “το υλικό που υπάρχει στο δοχείο είναι υγρό”.

2. Αυτό που διακρίνεται στον πλατύτερο σωλήνα του δοχείου VI, Εικόνα 7.

3. Σημειώνεται ότι ο πυθμένας δεν είναι κολλημένος με τα πλευρικά τοιχώματα και ότι οι δυνάμεις που ασκούνται στα πλευρικά τοιχώματα εξουδετερώνονται από το στήριγμα που συγκρατεί το σωλήνα στον τοίχο.

4. Σε γλώσσα σημερινής Φυσικής: ασκούν πιεστικές δυνάμεις στον πυθμένα του δοχείου.

Βιβλιογραφία

Engel-Clough, E. & Driver, R. (1985). What do children understand about pressure in fluids, J. Research in Science and Technological Education 3 pp.133-43.

Evans, A., (Editor) (1973). *The Physical treatises of Pascal*. Octagon Books, New York.

Hewitt, P. (1997). *Οι έννοιες της Φυσικής. Τόμος 1*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης. Τρίτη έκδοση. Ηράκλειο.

Kariotoglou, P., Psillos, D. & Valassiades, O. (1990). Understanding pressure: didactical transpositions and pupils' conceptions. *Physics Education* 25, pp. 92-96.

Koumaras, P. & Pierratos T. (2015). How Much Does a Half-Kilogram of Water "Weigh"? *Physics Teacher* 53,174.

McClelland, J. (1987). Pressure points. *Physics Education* 22 pp. 107-109.

Δασκαλάκης, Δ., Ζηκίδης, Μ., Θεοδοσιάδης, Α., Κώνστας, Κ., Λυμπεροπούλου, Σ. & Σπηλιώτης, Μ. (1997). *Ερευνώ το φυσικό κόσμο. Φυσικά Ε' Τάξης, δεύτερο μέρος*. ΟΕΔΒ, Αθήνα.

Ζενάκος, Α., Λεκάτης, Ν. & Σχοινάς, Α. (1995). *Φυσική Β' Γυμνασίου*. ΟΕΔΒ, Αθήνα.

Καββαδάς, Μ. (2005). *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. Έκδοση Ε. Μ. Πολυτεχνείου.

Καριώτογλου, Π. (1991). *Προβλήματα διδασκαλίας και μάθησης της Μηχανικής των Ρευστών στο Γυμνάσιο*. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Τμήμα Φυσικής Α.Π.Θ.

Κουμαράς, Π. (2015). *Μονοπάτια της σκέψης στον κόσμο της Φυσικής*. Εκδόσεις Gutenberg. Αθήνα.

Φασουλόπουλος, Γ. (2000). *Οι αντιλήψεις των μαθητών για τη σχέση εντατικών φυσικών μεγεθών με την ποσότητα του συστήματος και οι συνέπειές τους στη διδασκαλία*. Αδημοσίευτη διδακτορική διατριβή. Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, ΑΠΘ.



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

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

Ένα διερευνητικό μοντέλο για τη μελέτη της ώσμωσης και της διάχυσης ουσιών δια μέσου βιολογικών μεμβρανών

Γαρυφαλλιά Δομουχτσίδου

Στην εργασία προτείνεται ένα απλό διερευνητικό μοντέλο για τη μελέτη της ώσμωσης και διάχυσης ουσιών δια μέσου βιολογικών μεμβρανών, καθώς και του μεγέθους των κυττάρων, αντικείμενα που διδάσκονται στη Βιολογία της Β' Λυκείου (Καψάλης κ.ά., 2014). Χρησιμοποιούνται ωμά ωάρια πουλερικών (αβγά κότας και ορτυκιών) από τα οποία έχει προηγουμένως αφαιρεθεί το κέλυφος. Επίσης, γίνεται μια πρώτη προσπάθεια να αποτιμηθούν τα αποτελέσματα της διδασκαλίας με τη συμπλήρωση ενός φύλλου εργασίας (είναι διαθέσιμο ως υποστηρικτικό υλικό στο δικτυακό τόπο του περιοδικού) στο οποίο ζητείται ο σχεδιασμός ενός αντίστοιχου πειράματος από τους μαθητές.

Εισαγωγή

Η διδακτική αναποτελεσματικότητα της παραδοσιακής διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών, η οποία έχει καταγραφεί σε πλήθος διεθνών ερευνών, φαίνεται ότι μπορεί να αντιστραφεί, μέχρι ενός σημείου, υιοθετώντας τη στρατηγική της διερευνητικής διδασκαλίας και μάθησης. Η διερευνητική διδασκαλία μπορεί να παρέχει ένα ευέλικτο πλαίσιο για συζήτηση και ανατροφοδότηση μέσα στο οποίο οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να αναπτύξουν, μεταξύ άλλων, δεξιότητες και ικανότητες αλλά και τις αντιλήψεις τους για τη φύση της επιστήμης (Ryder et al., 1999).

Πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης διδακτικής προσέγγισης έχουν καταγραφεί πριν μερικές δεκαετίες (Anderson et al., 1983; Shymansky et al., 1990). Ενδεικτικά, έχει διαπιστωθεί: καλύτερη επίδοση των μαθητών στη γραφική αναπαράσταση και την ικανότητα ερμηνείας των δεδομένων (Mattheis & Nakayama, 1988), βελτίωση του επιστημονικού γραμματισμού και της κατανόησης επιστημονικών διαδικασιών (Lindberg, 1990), διεύρυνση του επιστημονικού λεξιλογίου και κατανόηση εννοιών (Lloyd & Contreras, 1985, 1987), ανάπτυξη κριτικής σκέψης (Narode et al., 1987), θετική στάση απέναντι στην επιστήμη (Rakow, 1986), υψηλότερη απόδοση σε δοκιμασίες (Glasson,

1989) και δόμηση της λογικής-μαθηματικής σκέψης (Staver, 1986). Βέβαια, τα αποτελέσματα των μελετών διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χώρα, το σκοπό της έρευνας, την ερευνητική μεθοδολογία.

Στην ελληνική πραγματικότητα, όπου η έννοια της διερευνητικής διδασκαλίας και μάθησης προστέθηκε πρόσφατα στο λεξιλόγιο των εκπαιδευτικών (Κουμαράς, 2015), στην περίπτωση που ο αντίκτυπος αφορά στη ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών ο Τσεχερίδης (2015) προτείνει ένα μοντέλο και αιτιολογεί γιατί «..η ανάπτυξη της κριτικής σκέψης των μαθητών ... είναι δυνατό να επιτευχθεί μέσα από δραστηριότητες διερευνητικού χαρακτήρα»

Προσπάθειες ώστε νέες μέθοδοι διδασκαλίας να ενσωματωθούν στην ελληνική σχολική καθημερινότητα, γίνονται τα τελευταία χρόνια μέσω των προγραμμάτων επιμόρφωσης εκπαιδευτικών (Τ.Π.Ε. Β' επίπεδο, Μείζον Πρόγραμμα Επιμόρφωσης Εκπαιδευτικών) αλλά και μέσα από μεμονωμένες δράσεις των σχολικών συμβούλων, των κατά τόπους Ε.Κ.Φ.Ε., επιμορφώσεων στο πλαίσιο Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων (Comenius in service training, Erasmus+ δράση KA1 κ.α.) αλλά και ατομικής-μεμονωμένης προσπάθειας των εκπαιδευτικών. Τα στοιχεία που θα πρέπει να χαρακτηρίζουν έναν καθηγητή ή μια τάξη όπου εφαρμόζεται ο διερευνητικός τρόπος διδασκαλίας και μάθησης συνοψίζονται από την Crawford (2000) ενώ εισάγεται και η έννοια της «συνεργατικής διερεύνησης» (collaborative inquiry).

Τα πλεονεκτήματα της διερευνητικής διδασκαλίας και μάθησης δεν φαίνεται να περιορίζονται από τους διαθέσιμους πόρους, οι οποίοι είναι αισθητά μειωμένοι στο σύγχρονο ελληνικό σχολείο στην περίοδο της οικονομικής κρίσης που διανύουμε. Πράγματι, για το σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού μοντέλου για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών δεν απαιτείται ένα υποχρεωτικά οργανωμένο Σχολικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών (Σ.Ε.Φ.Ε.), ούτε ακριβός εξοπλισμός, ούτε εξεζητημένα υλικά (δες για παράδειγμα το μοντέλο που προτείνει ο Κουμαράς, 2015). Σε αρκετές περιπτώσεις, όπως στη συγκεκριμένη εργασία, δεν απαιτείται ούτε ηλεκτρονικός εξοπλισμός (υπολογιστές, βιντεοπροβολείς, σύνδεση στο διαδίκτυο). Αυθεντικά, καθημερινά προβλήματα, αφοσίωση στα δεδομένα, συνεργασία καθηγητή-μαθητή, σύνδεση με την κοινωνία, συμπεριφορά του καθηγητή ως ερευνητή (Crawford, 2010), απλά υλικά καθημερινής χρήσης και μια ιδέα είναι αρκετά.

Η κατανόηση βιολογικών διεργασιών είτε αυτές λαμβάνουν χώρα σε μικροσκοπικό, υπομικροσκοπικό αλλά και σε επίπεδο πληθυσμού, βιοκοινότητας ή οικοσυστήματος, έχει βελτιωθεί με τη χρήση προσομοιώσεων και μοντέλων (Γκαράς κ.ά, 2014). Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια οι ίδιες οι βιολογικές διεργασίες δηλαδή η όσμωση και η διάχυση ουσιών δια μέσου βιολογικών μεμβρανών (για μια εκτεταμένη σύνοψη βλέπε Stein, 1986) να μεταφερθούν από το μικροσκοπικό στο οπτικό επίπεδο με τη χρήση κυττάρων μεγάλου μεγέθους.

Η Διδακτική προσέγγιση

Η επίδειξη των δραστηριοτήτων που προτείνονται, είναι επιθυμητό να γίνεται μετά τη διδασκαλία της παραγράφου 2.1 του σχολικού εγχειριδίου της Βιολογίας Β' Γενικού Λυκείου, δηλαδή της δομής

και των λειτουργιών της πλασματικής-κυτταρικής μεμβράνης. Εναλλακτικά, η παθητική μεταφορά ουσιών θα μπορούσε να προκύψει ως λειτουργία της μεμβράνης κατά τη διάρκεια των επιδείξεων και της διερεύνησης από τους ίδιους τους μαθητές.

Εναισθητοποίηση

Εξηγούμε στους μαθητές ότι είναι κατανοητή η δυσκολία τους να καταλάβουν τις βιολογικές διεργασίες, μια και οι περισσότερες συμβαίνουν σε μικροσκοπικό ή υπομικροσκοπικό επίπεδο. Συχνά ως διδάσκοντες αναφερόμαστε σε διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης περνώντας από το μοριακό, στο κυτταρικό, του οργανισμού ή του πληθυσμού για να εξηγήσουμε ακόμα και μια απλή έννοια. Οι μαθητές έχουν μάθει να αντιμετωπίζουν της επιστήμη ως διακριτά αντικείμενα (Φυσική, Χημεία, Βιολογία) και σαφώς δυσκολεύονται να μεταπηδούν στα διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης.

Τους δείχνουμε το αυγό που είναι ήδη μαλακό (ή γυμνό-naked egg), τους ζητούμε να το αγγίξουν και να συνειδητοποιήσουν ότι πρόκειται απλά για ένα κύτταρο σε πολύ μεγάλο μέγεθος. Κάνουμε τον παραλληλισμό εξωτερική μεμβράνη αυγού-πλασματική μεμβράνη κυττάρου (η λεπτή δομή των μεμβρανών του αυγού της κότας αναφέρεται διεξοδικά από τους Tan et al., 1992).

Ζητούμε από τους μαθητές να κάνουν προβλέψεις:

1. Τι πιστεύουν ότι θα συμβεί αν τοποθετηθεί το αυγό σε καθαρό νερό;
2. Τι πιστεύουν ότι θα συμβεί αν τοποθετηθεί το αυγό σε σιρόπι ή πυκνό αλατόνερο;
3. Τι θα συμβεί αν τοποθετηθεί σε διάλυμα χρωστικής;

Προετοιμασία



Εικόνα 1. Αυγό κότας τοποθετείται ωμό σε κοινό ξύδι. (Φωτογραφία της συγγραφέως)

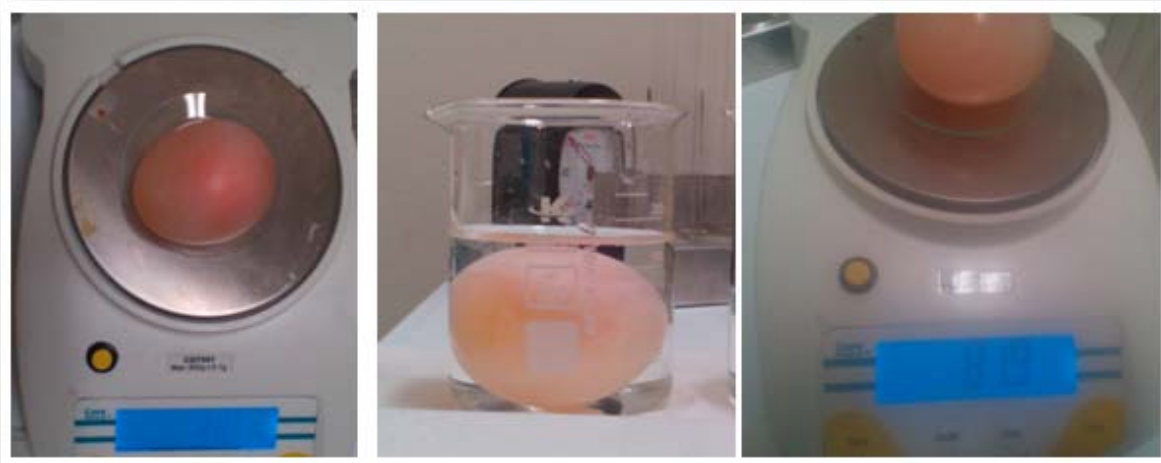
Τουλάχιστο 48 ώρες πριν το πείραμα, απομακρύνουμε το κέλυφος από τα αυγά. Για το σκοπό αυτό τοποθετούμε τα αυγά σε ξύδι εμπορίου ώστε να είναι εντελώς βυθισμένα (Εικόνα 1). Αλλάζουμε το ξίδι 1-2 φορές στο διάστημα των 48 ωρών. Ξεπλένουμε κάτω από τρεχούμενο νερό βρύσης αφαιρώντας μηχανικά τυχόν υπολείμματα του κελύφους ή της εξωτερικής μεμβράνης (Εικόνα 2). Η

απομάκρυνση του κελύφους οφείλεται στην αντίδραση του οξικού οξέος που υπάρχει στο ξίδι με το ανθρακικό ασβέστιο του κελύφους με αποτέλεσμα το τσόφλι σταδιακά να απομακρύνεται αφήνοντας εκτεθειμένες τις μεμβράνες. Σε διάφορα βίντεο ([1](#), [2](#)) που κυκλοφορούν στο διαδίκτυο μπορείτε να παρακολουθήσετε τη διαδικασία. Τα αυγά που προκύπτουν είναι ελαφρά διογκωμένα επειδή το ξύδι είναι υπότονο διάλυμα σε σχέση με το εσωτερικό του αυγού (μια πληροφορία που δεν χρειάζεται να τονιστεί σε αυτό το επίπεδο)



Εικόνα 2. Αριστερά, αυγό κότας όπως φαίνεται μετά την αφαίρεση του κελύφους και την αποκάλυψη της μεμβράνης. Δεξιά αυγό ορτυκιού πριν και μετά την απομάκρυνση του κελύφους. (Φωτογραφία της συγγραφέως).

Διάχυση, ώσμωση

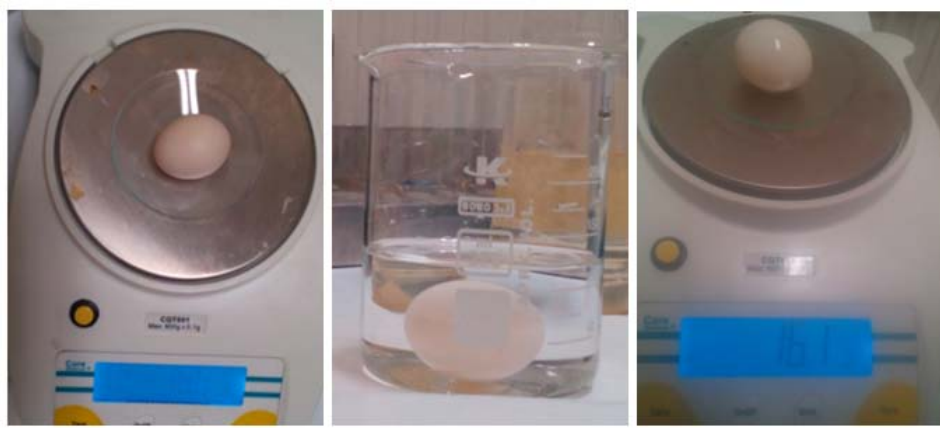


Εικόνα 3. Το αυγό ζυγίζει 76,8 g πριν την τοποθέτηση για 10 λεπτά σε νερό βρύσης και 81,9 g μετά. Η αύξηση της μάζας είναι 5,1 g. (Φωτογραφίες της συγγραφέως).

Για την επίδειξη της όσμωσης ζυγίζουμε το αυγό πριν και μετά την τοποθέτησή του για τουλάχιστο 10 λεπτά σε καθαρό νερό βρύσης. Η αύξηση της μάζας του αυγού είναι προφανής (Εικόνα 3). Η εξήγηση πρέπει να δοθεί από τους μαθητές οι οποίοι θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι το νερό είναι η

αιτία της αύξησης της μάζας του κυττάρου. Ο λόγος είναι η τάση για εξίσωση της συγκέντρωσης ουσιών στις δυο πλευρές της μεμβράνης και το μόνο μόριο που μπορεί να μετακινηθεί είναι το μόριο του νερού. Δίνουμε τον ορισμό της όσμωσης.

Στο σημείο αυτό μπορούμε να θέσουμε και μια δεύτερη παράμετρο που θα μπορούσε να επηρεάσει τη διαδικασία, το μέγεθος τους κυττάρου. Παρουσιάζουμε στους μαθητές ένα μικρότερο αβγό (κότας ή άλλου πτηνού, ορτυκιού στην παρούσα εργασία) και επαναλαμβάνουμε το ίδιο πείραμα κρατώντας τους ίδιους χρόνους παραμονής στο νερό της βρύσης (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Το μικρότερο αβγό έχει μάζα 15,5 g πριν και 16,1 g μετά την παραμονή σε νερό βρύσης για 10 λεπτά. Η αύξηση της μάζας είναι 4,6 g. (Φωτογραφίες της συγγραφέως).

Προσπαθούμε να κατευθύνουμε τους μαθητές ρωτώντας τους ποιο από τα δύο κύτταρα (αβγά) μπορεί να επικοινωνεί πιο γρήγορα με το περιβάλλον του. Καταγράφουμε τις απαντήσεις. Στο ερώτημα θα επανέλθουμε στο μέρος *Σχέση επιφάνειας- όγκου*.



Εικόνα 5. Το κύτταρο τοποθετείται σε διάλυμα χρωστικής για 5-10 λεπτά. Παρατηρήστε την αλλαγή του χρώματος του αρχικού διαλύματος που υποδεικνύει μεταφορά μορίων της χρωστικής μέσα στο κύτταρο. (Φωτογραφίες της συγγραφέως).

Για την επίδειξη της διάχυσης ουσιών τοποθετούμε τα κύτταρα-αβγά σε διάλυμα μιας χρωστικής (μπλε του μεθυλενίου σε αυτή την περίπτωση, 2-3 σταγόνες σε 100 ml νερού βρύσης) για 10 λεπτά ή έως ότου το διάλυμα της χρωστικής αρχίσει να αποχρωματίζεται (Εικόνα 5). Για τη σύγκριση διατηρούμε ένα διάλυμα ίδιας συγκέντρωσης στο οποίο δεν έχει τοποθετηθεί κύτταρο.

Κάνουμε υποθέσεις σχετικά με την αλλαγή του χρώματος του αρχικού διαλύματος χρωστικής, αλλά και την αλλαγή στο χρώμα του αβγού (Εικόνα 6).



Εικόνα 6. Η αλλαγή του χρώματος του αβγού επιβεβαιώνει την είσοδο μορίων χρωστικής στο εσωτερικό του. Η αύξηση της μάζας αποτελεί μια ένδειξη μόνο, μια και δεν μπορεί να αποκλειστεί και η ταυτόχρονη μεταφορά μορίων νερού. Η μάζα αυξάνεται στη συγκεκριμένη περίπτωση από 81,9 σε 83,7 g. (Φωτογραφία της συγγραφέως).

Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία και με το μικρό αβγό. Εναλλακτικά, οι επιδείξεις πραγματοποιούνται παράλληλα (Εικόνα 7). Να σημειωθεί ότι η μεταβολή της μάζας του μικρού αβγού λόγω της μεταφοράς της χρωστικής μέσα σε αυτό δεν ήταν ανιχνεύσιμη με τα όργανα μέτρησης που διαθέταμε.

Συζητάμε τη μεταβολή χρώματος του αβγού (είσοδος χρωστικής) και τη μεταβολή μάζας (είσοδος νερού ή/και χρωστικής). Επισημαίνουμε τη δυσκολία να μελετηθούν χωριστά οι διεργασίες (διάχυση-όσμωση σε αυτή την περίπτωση) στα «ζωντανά» κύτταρα. Επίσης, επισημαίνουμε το γεγονός ότι τα πειράματα πρέπει να επαναλαμβάνονται πολλές φορές ώστε να δίνουν ασφαλή συμπεράσματα εξαιτίας της πολυπλοκότητας των βιολογικών συστημάτων.



Εικόνα 7. Στην εικόνα στα αριστερά, παρατηρήστε τη διαφορά στο χρωματισμό του διαλύματος μετά την παραμονή των κυττάρων για 15 λεπτά σε διάλυμα χρωστικής ίδιας αρχικής συγκέντρωσης. Στο μεγάλο κύτταρο η μεταφορά της χρωστικής γίνεται σε μεγαλύτερο βαθμό ή γρηγορότερα. Στην εικόνα στα δεξιά η αλλαγή του χρώματος στο εσωτερικό του κυττάρου επιβεβαιώνει ότι συνέβη μεταφορά χρωστικής και στα δυο κύτταρα. (Φωτογραφία της συγγραφέως).

Στη συνέχεια, ζητάμε από τους μαθητές να προτείνουν τρόπους ώστε να μεταφερθεί η χρωστική έξω από το αβγό. Οι περισσότεροι προτείνουν να επανατοποθετηθούν σε καθαρό νερό (Εικόνα 8). Οι μαθητές αναγκάζονται να κάνουν νέες υποθέσεις. Τους κατευθύνουμε συζητώντας και εισάγοντας τις έννοιες υπότονο, υπέρτονο και ισότονο διάλυμα.



Εικόνα 8. Μετά την παραμονή σε καθαρό νερό για 15 λεπτά (αριστερά) και 24 ώρες (δεξιά) δεν παρατηρείται μεταβολή στον χρωματισμό του νερού που να υποδεικνύει μεταφορά της χρωστικής έξω από το κύτταρο. (Φωτογραφίες της συγγραφέως).

Σχέση επιφάνειας όγκου

Ο λόγος “επιφάνεια προς όγκο κυττάρου” είναι μια θεμελιώδης βιολογική έννοια. Επηρεάζει μια ποικιλία παραμέτρων, όπως το μέγιστο μέγεθος των κυττάρων, το σχήμα-μορφή ενός οργανισμού αλλά και τον τρόπο που δομούνται τα συστήματα μεταφοράς ουσιών (αναπνευστικό και κυκλοφορικό σύστημα). Όταν ένα κύτταρο αυξάνεται σε μέγεθος, η επιφάνειά του αλλά και ο όγκος του μεγαλώνουν επίσης. Η αύξηση του όγκου όμως είναι αναλογικά μεγαλύτερη από την αύξηση της επιφάνειας, επομένως ο λόγος “επιφάνεια προς όγκος” είναι μικρότερος σε μεγαλύτερα κύτταρα. Όσο μικρότερος ο λόγος τόσο μικρότερη η ταχύτητα ανταλλαγής ουσιών (π.χ. του οξυγόνου) του κυττάρου με το περιβάλλον του.

Για την αναδείξουμε τα παραπάνω ζητάμε από τους μαθητές να προβλέψουν πόσα μικρά κύτταρα έχουν ίσο όγκο με ένα μεγαλύτερο (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Ο όγκος επτά μικρών αυγών ισούται με τον όγκο ενός μεγάλου αυγού. (Φωτογραφίες της συγγραφέως).



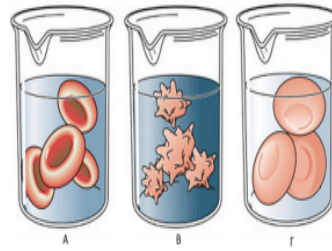
Εικόνα 10. Ο αποχρωματισμός του διαλύματος χρωστικής είναι πιο εμφανής στο αριστερό δοχείο με τα επτά μικρά αυγά. Παρατηρείται ακόμα και σε χρόνο μικρότερο των 5 λεπτών. (Φωτογραφίες της συγγραφέως).

Στη συνέχεια τοποθετούμε τα κύτταρα σε διάλυμα χρωστικής. Προφανώς, η σχέση “επιφάνειας προς όγκο” είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των μικρών αυγών οπότε η αλλαγή στο χρωματισμό του διαλύματος επέρχεται πολύ γρήγορα (Εικόνα 10).

Ζητάμε από τους μαθητές να ερμηνεύσουν το φαινόμενο και για εμπέδωση επιλύουμε με καθοδήγηση ένα από τα θέματα της τράπεζας θεμάτων που αναφέρονται σε αυτό το φαινόμενο (Εικόνα 11).

ΘΕΜΑ Δ:

Τα τρία δοχεία της εικόνας (Α, Β, Γ) παρουσιάζουν ερυθρά αιμοσφαίρια που έχουν τοποθετηθεί μέσα σε 3 διαφορετικά υδατικά διαλύματα το καθένα:



- Στο δοχείο Α τα ερυθρά αιμοσφαίρια διατηρούν το κανονικό σχήμα και μέγεθός τους.
- Στο δοχείο Β τα ερυθρά αιμοσφαίρια έχουν συρρικνωθεί, ενώ
- Στο δοχείο Γ τα ερυθρά αιμοσφαίρια έχουν διογκωθεί. Με βάση τις πληροφορίες αυτές να απαντήσετε στις ερωτήσεις:

ΘΕΜΑ Δ:

Στο σχήμα εικονίζεται ένα μεγάλο κύτταρο και 8 μικρά των οποίων ο συνολικός όγκος τους είναι ίσος με τον όγκο του μεγάλου. Να απαντήσετε στις ερωτήσεις:



Ι. Το μεγάλο ή τα μικρά κύτταρα (που συνολικά έχουν τον όγκο του μεγάλου) έχει μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με τον όγκο του; Ένα από τα μικρά κύτταρα ή το μεγάλο έχουν ευνοϊκότερες διαστάσεις για τη διεκπεραίωση των λειτουργιών τους; Να αιτιολογήσετε τις απαντήσεις σας. (12μ)

Εικόνα 11. Μέρος από τις εκφωνήσεις της τράπεζας θεμάτων με δύο θέματα που αναφέρονται στην όσμωση, τη διάχυση και το μέγεθος των κυττάρων.

Διερευνητική μάθηση/φύλλο εργασίας

Στο τέλος των δραστηριοτήτων μπορούμε να μοιράσουμε στους μαθητές ένα φύλλο εργασίας (επισυνάπτεται) ζητώντας τους να θέσουν ερωτήματα και σχεδιάσουν οι ίδιοι ένα πείραμα για να εξάγουν συμπεράσματα για τα ερωτήματά τους. Κάποια αποτελέσματα από το φύλλο εργασίας συνοψίζονται στον Πίνακα 1.

Έχει πρωτεΐνες το αυγό;
Έχει DNA το αυγό;
Ποια η αντίδρασή του σε διάφορες τιμές pH;
Μπορώ να το γονιμοποιήσω;
Τι θα συμβεί αν βάλω μαγιά μέσα στο αυγό;
Το μελάνι μπαίνει μέσα στο αυγό;
Αν μπει, μπορώ να το επαναφέρω στην αρχική το κατάσταση;
Πόσος χρόνος απαιτείται;
Τι γίνεται αν μέσα υπάρχει ένα κοτοπουλάκι;
Επιπλέει το αυγό στη θάλασσα;
Η πλασματική μεμβράνη επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον; Πόσο γρήγορα γίνεται η ανταλλαγή ουσιών;
Πόσο καιρό είναι γυμνό το αυγό;

Πίνακας 1. Ερωτήσεις που διατυπώθηκαν από τους μαθητές της Β Λυκείου

Οι μαθητές συμπληρώνουν ανώνυμα τα φύλλα εργασίας. Καταγράφουν τα ερωτήματά τους, τα υλικά που θα χρειαστούν, την πειραματική διαδικασία που θα ακολουθήσουν και τα συμπεράσματα στα οποία αναμένουν ότι θα καταλήξουν. Η οργανωμένη καταγραφή και στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων θα αποτελέσει σημαντική διαπίστωση για τα οφέλη της προτεινόμενης διδακτικής προσέγγισης, ιδιαίτερα αν δοθεί στους μαθητές ο χρόνος και τα υλικά για να υλοποιήσουν τα δικά τους πειράματα.

Συμπεράσματα-Συζήτηση

Το προτεινόμενο μοντέλο εφαρμόζεται τα τελευταία δύο χρόνια σε όλα τα τμήματα της Β' Λυκείου του Γενικού Λυκείου Διαπολιτισμικής Εκπαίδευσης Ευόσμου, για τη διδασκαλία του αντικειμένου της παθητικής μεταφοράς ουσιών και του μεγέθους των κυττάρων. Το αντικείμενο είναι αρκετά δημοφιλές και έχει χρησιμοποιηθεί ως θέμα στον Πανελλήνιο Διαγωνισμό για την επιλογή ομάδων για την Ολυμπιάδα Φυσικών Επιστημών [EUSO 2014](#). Εκεί χρησιμοποιήθηκαν κύβοι από άγαρ διαφορετικής ακμής ως κύτταρα διαφορετικού μεγέθους. Επίσης, το έτος 2014-2015 εμφανίστηκε και στα θέματα της [τράπεζας θεμάτων](#).

Η προετοιμασία δεν είναι χρονοβόρα και η ιδέα είναι απλή, τα υλικά σχετικά φθηνά και καθημερινής χρήσης. Το μοντέλο είναι πολύ εποπτικό, οι μαθητές κατανοούν γρήγορα. Η επίδειξη μπορεί να γίνει άνετα σε μια διδακτική ώρα και να ακολουθήσει η συμπλήρωση του διερευνητικού

φύλλου εργασίας (επισυνάπτεται). Η συστηματική καταγραφή και στατιστική επεξεργασία αυτών φύλλων εργασίας θα μπορούσε να επιβεβαιώσει την πραγματικά θετική ανταπόκριση των μαθητών και τη διάθεσή τους να εμπλακούν περισσότερο και στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση πειραμάτων.

Βιβλιογραφία

- Anderson, R.D., Kahl, S.R., Glass G.V., Smith M.L. (1983). Science education: A meta-analysis of major questions. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(5), 379-385.
- Crawford, B.A. (2000). Embracing the Essence of Inquiry: New Roles for Science Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 916-937
- Glasson, G.E. (1989). The effects of hands-on and teacher demonstration laboratory methods on science achievement in relation to reasoning ability and prior knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(2), 121-131.
- Lindberg, D.H. (1990). What goes round comes round doing science. *Childhood Education*, 67(2), 79-81.
- Lloyd, C.V. & Contreras, N.J. (1985). The role of experiences in learning science vocabulary. Paper presented at the Annual Meeting of the National Reading Conference, San Diego, CA. [ED281189.pdf](#)
- Matteis, F.E. & Nakayama, G. (1988). Effects of a laboratory-centered inquiry program on laboratory skills, science process skills, and understanding of science knowledge in middle grades students. [ED307148](#)
- Narode, R., Heiman, M., Lochhead, J. & Slomianko, J. (1987). Teaching thinking skills. Science Washington DC: National Education Association [ED320755](#)
- Rakow, S.J. (1986). Teaching science as inquiry. Fastback 246. Bloomington, IN: Phi Delta Kappa Educational foundation ED 275506
- Ryder, J., Leach, J., Driver, R. (1999). Undergraduate science students' images of science. *Journal of Research in Science Teaching* 36(2), 201-220.
- Shymansky, J.A., Hedges, L.V., Woodworth, G. (1990). A reassessment of the effects of inquiry-based science curricula of the 60's on student performance. *Journal of Research in Science Teaching* 27(2) 127-144.
- Staver, J.R. (1986). *The constructivist epistemology of Jean Piaget: Its philosophical roots and relevance to science teaching and learning*. Paper presented at the United States-Japan Seminar on Science Education [ED278563](#)
- Stein, W.D. (1986). *Transport and Diffusion Across Cell Membranes* Academic Press INC. Orlando, Florida 32887.
- Tan, C.K., Chen, T.W., Chan, H.L. & Ng LS (1992). A scanning and transmission electron microscopic study of the membrane of chicken egg. *Histology Histopathology* 7: 339-345.
- Γκαράς, Γ., Κωσταρίδης, Π. & Γιάτας, Δ. (2014). Πειραματική διδασκαλία με προσομοίωση σε Περιβάλλον Πολλαπλών Πρακτόρων NetLogo. Ετεροπαρατήρηση και Αξιολόγηση. *Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Εκπαιδευτικού Συνεδρίου Ημαθίας, για την αξιοποίηση των ΤΠΕ στη διδακτική πράξη*, σελ 175-188.
- Καψάλης, Α., Μπουρμπουχάκης, Ι.Ε., Περάκη, Β. & Σαλαμαστράκης Σ. (2014). *ΒΙΟΛΟΓΙΑ Γενικής Παιδείας Β' Γενικού Λυκείου*. ΥΠΑΙΘ, ΟΕΔΒ, ΑΘΗΝΑ

Κουμαράς, Π. (2015). Η Φυσική δεν είναι μόνο εννοιολογικό περιεχόμενο, είναι επίσης μεθοδολογία λύσης (καθημερινών) προβλημάτων και στάση ζωής. *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες* 6:19-28.

Τσεχερίδης, Σ. (2015). Η διερευνητική διδακτική προσέγγιση στην ανάπτυξη και την αξιολόγηση της κριτικής σκέψης των μαθητών. *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες* 6:39-46.

Πηγές από το διαδίκτυο

Πώς μπορώ να φτιάξω «γυμνά αβγά» 1, 2

Θέματα του Πανελλήνιου Διαγωνισμού EUSO 2014 <http://panekfe.gr/euso/docs>

Τράπεζα θεμάτων Βιολογίας Β Γενικού Λυκείου <http://exams-repo.cti.gr/category/93-biologia?Itemid>



Η Γαρυφαλλιά Δομουχτσίδου είναι Βιολόγος, Διδάκτορας του Α.Π.Θ. (2001) στο αντικείμενο Κυτταρική Βιολογία-Οικοτοξικολογία και καθηγήτρια Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης από το 2003. Υπηρετεί στο Γενικό Λύκειο Διαπολιτισμικής Εκπαίδευσης Ευόσμου από το 2007.

Παίζοντας με τις Φυσικές Επιστήμες: όταν οι μαθητές καλούνται να αντιμετωπίσουν προβλήματα προσανατολισμένης διερεύνησης

Αναστασία Γκιγκούδη, Αθανάσιος Καρούτης, Θοδωρής Πιερράτος και Μαρία Τσακίρη

Έρευνες σε όλο τον κόσμο (McDermott και Redish, 1999; Hake, 1998) δείχνουν ότι σημαντικό μέρος της αδυναμίας μας ως δάσκαλοι να εμπνεύσουμε και να φέρουμε τους μαθητές μας κοντά στις Φυσικές Επιστήμες (Φ.Ε.) οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο συνήθως αυτές παρουσιάζονται στη σχολική τάξη: ως ένα σύνολο ορισμών, νόμων, τύπων, διαδικασιών κλπ. που πρέπει να απομνημονευτούν από τους μαθητές. Το ερώτημα που τίθεται εύλογα είναι τι θα μπορούσαμε να αλλάξουμε προκειμένου η διδασκαλία μας να μεταβάλλει τον τρόπο που οι μαθητές προσεγγίζουν τις Φ.Ε. ώστε, αντί να τις θεωρούν ως τη συσσώρευση απομονωμένων κομματιών πληροφορίας αποκομμένων από τον πραγματικό κόσμο, να υιοθετήσουν, όπως οι ειδικοί, μια οπτική που βλέπουν τις Φ.Ε. ως μία συνεκτική δομή εννοιών οι οποίες θεμελιώνονται πειραματικά και περιγράφουν τη φύση (Wieman και Perkins, 2005).

Ένα από τα σημεία στα οποία η παραδοσιακή διδασκαλία της Φυσικής εμφανίζει σημαντική ανεπάρκεια είναι η αδυναμία εμπλοκής όλων των μαθητών (Caldwell, 2007; Reay, Li, & Bao, 2008), τη στιγμή που η εμπλοκή αυτή φαίνεται ότι είναι αναγκαία συνθήκη για τη μάθηση (Beatty, 2004; Bransford *et al.*, 1999). Σύμφωνα με τον Hake (1998), οι μαθητές είναι επιθυμητό να καλούνται να αντιμετωπίσουν προβλήματα τα οποία πρέπει να έχουν σχεδιαστεί, τουλάχιστον εν μέρει, ώστε να προάγουν την εννοιολογική κατανόηση μέσω της ενεργούς εμπλοκής των εκπαιδευομένων σε νοητικές (πάντα) και πειραματικές (συνήθως) δραστηριότητες, οι οποίες παρέχουν άμεση ανάδραση μέσω της συζήτησης με τους συμμαθητές και το διδάσκοντα. Υπό αυτή την έννοια, παραδοσιακή διδασκαλία νοείται εκείνη η οποία δεν κάνει χρήση των μεθόδων της ενεργούς διδασκαλίας και στηρίζεται κυρίως σε παθητικές διαλέξεις, εργαστηριακές συνταγές εκτέλεσης πειραμάτων και εξετάσεις επίλυσης αλγοριθμικών προβλημάτων.

Διερευνητική διδασκαλία και μάθηση

Μία διδακτική στρατηγική προσέγγισης που ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες είναι η διερεύνηση, ή για την ακρίβεια μερικές μορφές της διερεύνησης. Σύμφωνα με τον Κουμαρά (2015) η διερεύνηση

μπορεί να ταξινομηθεί σε τέσσερα επίπεδα: την επιβεβαιωτική, την καθοδηγούμενη, την προσανατολισμένη και την ελεύθερη.

Κατά την εφαρμογή της επιβεβαιωτικής διερεύνησης, δίνονται στους μαθητές η ερώτηση, οι οδηγίες τις οποίες θα ακολουθήσουν στην ερευνά τους και τα απαιτούμενα υλικά. Τα αποτελέσματα της διερεύνησης είναι γνωστά εκ των προτέρων στους μαθητές.

Κατά την εφαρμογή της καθοδηγούμενης διερεύνησης δίνονται στους μαθητές η ερώτηση, τα απαιτούμενα υλικά και οδηγίες για τη διαδικασία που θα ακολουθήσουν. Οι μαθητές δεν γνωρίζουν την απάντηση πριν κάνουν το πείραμα. Στόχος είναι να εξαγάγουν ένα συμπέρασμα που στηρίζεται στα στοιχεία που έχουν συλλέξει.

Κατά την εφαρμογή της προσανατολισμένης διερεύνησης δίνεται μόνο το πρόβλημα και οι μαθητές σχεδιάζουν την πορεία που θα ακολουθήσουν για να το λύσουν. Τα υλικά μπορεί να δίνονται από το δάσκαλο, συνήθως στη λογική “επιλέξτε από αυτά που σας δίνονται”.

Κατά την εφαρμογή της ανοιχτής διερεύνησης οι μαθητές παράγουν τα ερωτήματα, σχεδιάζουν και διεξάγουν την έρευνα, ανακοινώνουν τα αποτελέσματά τους και κρίνουν τα αποτελέσματα των άλλων. Για τα υλικά ισχύει και εδώ ό,τι και στην προσανατολισμένη διερεύνηση.

Τα δύο ανώτερα επίπεδα διερεύνησης, η προσανατολισμένη και η ανοικτή, ενσωματώνουν τα στοιχεία εκείνα που η έρευνα δείχνει ότι οδηγούν στην ενεργό εμπλοκή των μαθητών στην εκπαιδευτική διαδικασία. Ωστόσο, στην Ελλάδα τα επίπεδα αυτά φαίνεται να απουσιάζουν από τη σχολική πραγματικότητα. Αντίστοιχα, το επίπεδο της επιβεβαιωτικής διερεύνησης το συναντάμε στα πανεπιστημιακά τμήματα Θετικών Επιστημών καθώς και στους εργαστηριακούς οδηγούς του Γυμνασίου και του Λυκείου, ενώ μια μορφή καθοδηγούμενης διερεύνησης συναντάται στα εγχειρίδια Φυσικών Επιστημών Ε' και Στ' τάξεων Δημοτικού.

Πώς θα αντιδρούσαν άραγε οι μαθητές του Γυμνασίου αν εκτίθονταν, χωρίς εκ των προτέρων προετοιμασία, σε προσανατολισμένη διερεύνηση; Θα μπορούσαν να ανταποκριθούν;

Η δράση Παίζοντας με τις Φ.Ε.

Με σκοπούς α. την προσέλκυση του ενδιαφέροντος των μαθητών Γυμνασίου για τις Φ.Ε. και την ανάδειξη του ρόλου τους στην επίλυση προβλημάτων της καθημερινής ζωής, και β. τη μελέτη και καταγραφή της αντίδρασης των μαθητών σε προβλήματα προσανατολισμένης διερεύνησης, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε τις σχολικές χρονιές 2013-14 και 2014-15 η δράση «Παίζοντας με τις Φ.Ε.», από τα Ε.Κ.Φ.Ε. Θεσσαλονίκης σε συνεργασία με σχολικούς συμβούλους ΠΕ04 του νομού Θεσσαλονίκης.

Στο πλαίσιο της δράσης, κλήθηκαν τριμελείς μαθητικές ομάδες από Γυμνάσια του νομού Θεσσαλονίκης να διαπιστώσουν, σύμφωνα με την προκήρυξη που στάλθηκε στα σχολεία, ότι οι Φ.Ε. μπορεί να είναι διασκεδαστικές (Εικόνα 1).



Εικόνα 1. Διαμόρφωση του χώρου εργασίας των μαθητικών ομάδων, κατά την πρώτη δράση.
(Φωτογραφία Θ. Πιερράτος).

Κύριο μέλημα ήταν να δοθούν στους συμμετέχοντες μαθητές προβλήματα που σχετίζονται με την καθημερινή ζωή και σίγουρα διατυπώνονται με τρόπο διαφορετικό από τον τρόπο παρουσίασης των αλγοριθμικών προβλημάτων στα σχολικά εγχειρίδια και τους εργαστηριακούς οδηγούς.

Κάθε ομάδα μαθητών πήρε ένα φύλλο εργασίας (τα δύο φύλλα εργασίας που έχουν προκύψει είναι διαθέσιμα ως συνοδευτικό υλικό στο δικτυακό τόπο του περιοδικού *Φυσικές Επιστήμες στην Εκπαίδευση*).

Στο Α' μέρος του φύλλου παρουσιάζεται μία προβληματική κατάσταση η οποία εισάγει τους μαθητές στη δράση. Είναι επιθυμητό η κατάσταση αυτή να μοιάζει όσο το δυνατόν πιο απομακρυσμένη από ό,τι μπορεί να φέρνει στο μυαλό ένα τυπικό πρόβλημα Φυσικής, Χημείας ή Βιολογίας, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα προσέγγισής του μέσα και από τις τρεις επιστήμες (διεπιστημονικότητα). Έτσι, το πρώτο πρόβλημα που τέθηκε (2014) αφορούσε την εύρεση τρόπων ανέλκυσης από το βυθό επιστημονικά πολύτιμου εξοπλισμού, ενώ το δεύτερο (2015) το πώς οι ζωγράφοι θα μπορούσαν να παράγουν χρωματικές αποχρώσεις κατάλληλες να αποτυπώσουν στον καμβά ένα ηλιοβασίλεμα.

Στο Β' μέρος τίθενται δύο στόχοι που είναι επιθυμητό να πετύχουν οι μαθητές μέσα σε ένα δίωρο. Οι στόχοι διατυπώνονται έτσι ώστε να μη θέτουν ιδιαίτερους περιορισμούς στη φαντασία και τη δημιουργικότητα των μαθητών, ενώ δεν υπάρχει μία σωστή απάντηση ή λύση. Οι μαθητές πρέπει να αυτενεργήσουν και το παραδοτέο τους να ικανοποιεί κάποιους πολύ χαλαρούς περιορισμούς.

Στο Γ' μέρος δίνονται τα υλικά που είναι διαθέσιμα σε κάθε πάγκο (Εικόνα 2) καθώς και σε κοινή χρήση, με την παρατήρηση ότι οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν όσα από αυτά θεωρούν σκόπιμο για να φτάσουν στους στόχους τους και με όποιον τρόπο νομίζουν. Μόνος περιορισμός ότι τα υλικά σε κάθε πάγκο βρίσκονται σε συγκεκριμένες ποσότητες οι οποίες δεν υπάρχει η δυνατότητα να αναπληρωθούν αν εξαντληθούν για οποιοδήποτε λόγο.



Εικόνα 2. Ένας πάγκος εργασίας, από τη δεύτερη δράση, με τα υλικά που διατίθενται προς χρήση.
(Φωτογραφία Θ. Πιερράτος).

Στο Δ' μέρος δίνονται ενδεικτικά κάποιες γενικές ιδέες και πειραματικές κατευθύνσεις από τη Βιολογία, τη Φυσική και τη Χημεία που σχετίζονται με την προβληματική κατάσταση, χωρίς όμως ούτε να ονοματίζεται το πώς σχετίζονται ούτε να επιβάλλεται στους μαθητές να προβούν στις συγκεκριμένες πειραματικές ενέργειες.

Στο Ε' μέρος, ζητείται η καταγραφή της ερευνητικής πορείας που θα ακολουθήσουν οι ομάδες με τη συμπλήρωση συγκεκριμένων «ερωτημάτων». Έτσι, πριν ξεκινήσουν οι μαθητές να πειραματίζονται καλούνται να περιγράψουν τους τρόπους με τους οποίους σχεδιάζουν να επιτύχουν τους δύο στόχους που τέθηκαν στο Β' μέρος, με άλλα λόγια, το σχεδιασμό της έρευνάς τους καθώς και τη διατύπωση υποθέσεων που κάνουν κατά το σχεδιασμό αυτό. Στη συνέχεια, και αφού έχουν ολοκληρώσει τους πειραματισμούς τους, ζητείται να καταγράψουν τα αποτελέσματά τους (π.χ. τι χρώματα δημιούργησαν) καθώς και τις ακριβείς συνθήκες υπό τις οποίες προέκυψαν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα (π.χ. πώς παρήγαγαν τα συγκεκριμένα χρώματα). Καθώς περιμένουμε ότι οι μαθητές θα έχουν πειραματιστεί με μεθόδους που προέρχονται από περισσότερες από μία εμπλεκόμενες επιστήμες, αν όχι και από τις τρεις, τους ζητάμε να αξιολογήσουν τις μεθόδους που ακολούθησαν παραθέτοντας προβλήματα που συνάντησαν και τεκμηριώνοντας για το ποια μέθοδος ήταν τελικά πιο αποτελεσματική για την επίτευξη των στόχων τους.

Τέλος, ζητείται από τους μαθητές να αποτιμήσουν τη δράση που συμμετείχαν, αποτυπώνοντας τι τους άρεσε, τι δεν τους άρεσε ή ακόμη και να προτείνουν ό,τι νομίζουν ότι θα βελτίωνε τη δράση.

Η ανταπόκριση των μαθητών

1^ο πρόβλημα

Προσπαθώντας να «ανελκύσουν» όσο περισσότερα βαρίδια είναι δυνατόν, οι μαθητές διερεύνησαν διάφορες δυνατότητες. Αρχικά, οι περισσότερες ομάδες προσπάθησαν να επιβεβαιώσουν τις

κατευθυντήριες οδηγίες που τους δόθηκαν στο Δ' μέρος του φύλλου εργασίας. Λόγω όμως των πολλών ελεύθερων παραμέτρων που υπεισέρχονταν «υποχρεώθηκαν» να αυτενεργήσουν για να βρουν τις συνθήκες εκείνες που οδηγούν στο βέλτιστο αποτέλεσμα. Έτσι:



Εικόνα 3. Φουσκώνοντας ένα γάντι-μπαλόνι με CO_2 που παράγεται με χημικές μεθόδους.
(Φωτογραφία Α. Γκιγκούδη).

Στο πλαίσιο της Χημείας (Εικόνα 3) ανακάτεψαν ξύδι και μαγειρική σόδα σε πλαστικό ποτηράκι το οποίο σκέπασαν με ένα ελαστικό γάντι μίας χρήσης με αποτέλεσμα αυτό να φουσκώσει από το παραγόμενο CO_2 . Όμως, πόσο ξύδι και πόση σόδα αντίστοιχα πρέπει να ρίξουμε ώστε το γάντι να φουσκώσει κατά το δοκούν; Με δεδομένο ότι οι ποσότητες των υλικών ήταν περιορισμένες, κάποιοι σκέφτηκαν να αραιώσουν το ξύδι με νερό και να διερευνήσουν αν το αραιωμένο ξύδι (το οποίο μπορούσαν να έχουν σε περισσότερη ποσότητα) μπορούσε να οδηγήσει σε όμοια αποτελέσματα με το μη αραιωμένο.



Εικόνα 4. Φουσκώνοντας ένα γάντι-μπαλόνι με CO_2 που παράγεται με βιολογικές μεθόδους.
(Φωτογραφία Αθ. Καρούτης).

Στο πλαίσιο της Βιολογίας (Εικόνα 4) πρόσθεσαν ξηρή μαγιά, λίγο νερό και ζάχαρη σε πλαστικό ποτηράκι και το τοποθέτησαν σε λουτρό θερμότητας. Όμως και πάλι, ποια είναι η κατάλληλη αναλογία μαγιάς - ζάχαρης - νερού; Και ποιο λουτρό είναι πιο αποτελεσματικό, των 55°C , των 45°C ή των 35°C ;

Στο πλαίσιο της Φυσικής (Εικόνα 5) επιχείρησαν να ζεστάνουν τον αέρα μέσα σε ένα κλειστό γάντι ώστε να διασταλεί. Προβλήματα που είχαν να λύσουν ήταν ποιο λουτρό θερμότητας είναι πιο αποτελεσματικό και ταυτόχρονα ασφαλές για το πλαστικό ποτηράκι ή το γάντι που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και ο χρόνος που απαιτείται για να επιτευχθεί η διαστολή του αέρα.



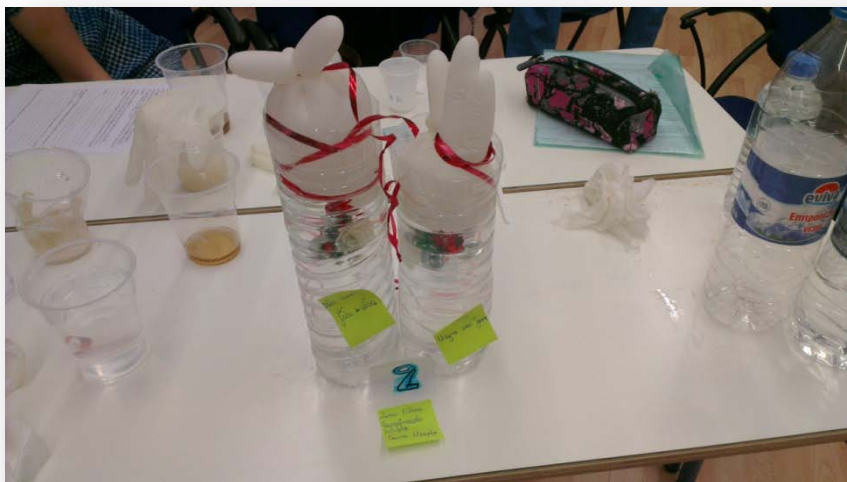
Εικόνα 5. Φουσκώνοντας ένα γάντι-μπαλόνι αξιοποιώντας γνώσεις Φυσικής. (Φωτογραφία Μ. Τσακίρη).



Εικόνα 6. Τα βαρίδια επιπλέουν, όμως το γάντι, αν και εντελώς φουσκωμένο, στηρίζεται στα τοιχώματα του μπουκαλιού. Είναι «νόμιμη» αυτή η λύση; (Φωτογραφία Θ. Πιερράτος).

Ας σημειωθεί, ότι το να υιοθετηθεί μία μέθοδος και να ακολουθηθεί μία διαδικασία που θα φουσκώσει το γάντι στο μέγιστο βαθμό δεν ήταν κατ' ανάγκη και η καλύτερη λύση καθώς το γάντι έπρεπε να τοποθετηθεί μέσα σε ένα κατάλληλα κομμένο πλαστικό μπουκάλι νερού. Ένα εντελώς φουσκωμένο γάντι δεν χωρούσε να τοποθετηθεί μέσα σε αυτό το μπουκάλι οδηγώντας σε ψευδώς αποτελεσματική διαδικασία (Εικόνα 6).

Όλες οι ομάδες κατάφεραν να φτάσουν σε αποτέλεσμα, οι περισσότερες αξιοποιώντας γνώσεις και από τις τρεις εμπλεκόμενες επιστήμες (Εικόνα 7).



Εικόνα 7. Πετυχαίνοντας τους στόχους με δύο διαφορετικούς τρόπους. (Φωτογραφία ΑΘ. Καρούτης).



Εικόνα 8. Λύση έξω από τις κατευθυντήριες γραμμές. (Φωτογραφία Α. Γκιγκούδη).

Κάποιοι δεν έμειναν στις κατευθυντήριες γραμμές (αυτό ήταν άλλωστε και ζητούμενο) αλλά προχώρησαν σε πρωτότυπες λύσεις που ανέδειξαν την εφευρετικότητά τους. Ενδεικτικά, κάποιοι χρησιμοποίησαν ένα αναποδογυρισμένο πλαστικό ποτήρι και τον εγκλωβισμένο σε αυτό αέρα για να ανελκύσουν το βυθισμένο φορτίο (Εικόνα 8).

2^ο πρόβλημα

Προσπαθώντας να παραγάγουν διάφορα χρώματα, τα οποία να μπορούν να απεικονίσουν ένα ηλιοβασίλεμα, οι μαθητές διερεύνησαν διάφορες δυνατότητες. Όπως και στην 1η δράση, αρχικά οι περισσότερες ομάδες προσπάθησαν να επιβεβαιώσουν τις κατευθυντήριες γραμμές που τους δόθηκαν στο Δ' μέρος του φύλλου εργασίας. Γρήγορα όμως άρχισαν να αυτενεργούν και να πειραματίζονται ώστε να παραγάγουν όσο το δυνατόν περισσότερες αποχρώσεις. Έτσι:



Εικόνα 9. Παράγοντας διάφορες χρωματικές αποχρώσεις με βιολογικές μεθόδους. (Φωτογραφία Μ. Τσακίρη).

Στο πλαίσιο της Βιολογίας (Εικόνα 9) αξιοποίησαν και τα τέσσερα διαφορετικού χρώματος φύλλα που τους δόθηκαν και εφάρμοσαν χρωματογραφικές μεθόδους για να δημιουργήσουν, σε διηθητικό χαρτί εμποτισμένο με ακετόνη, πράσινες, κίτρινες και πορτοκαλί περιοχές.

Στο πλαίσιο της Χημείας (Εικόνα 10) παρήγαγαν ροζ-κόκκινο χρώμα ρίχνοντας οξύ στο εμποτισμένο με κόκκινο λάχανο διηθητικό χαρτί (αρχικά μωβ χρώματος), και πράσινο-κίτρινο χρώμα όταν έριξαν βάση στο χαρτί. Οι περισσότεροι ανακάτεψαν οξύ και βάση και κατάφεραν να δημιουργήσουν διάφορες αποχρώσεις, ανάλογα με το pH του διαλύματος που προέκυψε, ή αραιώσαν το οξύ και τη βάση προσθέτοντας νερό. Ενδεικτικά χρώματα που προέκυψαν: πράσινο (σε διάφορες αποχρώσεις), κόκκινο, μπλε.



Εικόνα 10. Παράγοντας διάφορες χρωματικές αποχρώσεις με χημικές μεθόδους. (Φωτογραφία Μ. Τσακίρη).

Στο πλαίσιο της Φυσικής οι μαθητές διέθεταν δύο χρωματιστές πλαστικές ζελατίνες, τις οποίες τοποθέτησαν σε διάφορους συνδυασμούς τη μία μπροστά από την άλλη έχοντας πίσω χρωματικές αποχρώσεις που είχαν δημιουργήσει με χημικές ή βιολογικές μεθόδους. Κάποιοι επιχείρησαν να εφαρμόσουν τις μεθόδους της Χημείας πάνω στις ζελατίνες ρίχνοντας ακετόνη, οξύ, βάση αλλά και συνδυασμούς τους για να δουν αν μπορούν να εξάγουν κάποιο χρώμα από αυτές. Άλλοι προσπάθησαν να κάνουν ό,τι και με τα φύλλα, δηλαδή τις έτριβαν με ένα κέρμα πάνω σε διηθητικό χαρτί επίσης για να εξάγουν το χρώμα τους.



Εικόνα 11. Ανακατεύοντας τη Χημεία με τη Βιολογία. (Φωτογραφία Α. Γκιγκούδη).

Αρκετές ομάδες «ανακάτεψαν» μεθόδους Χημείας και Βιολογίας και παρήγαγαν διαλύματα διαφόρων χρωμάτων (Εικόνα 11) τα οποία χρησιμοποίησαν για να ζωγραφίσουν τον πίνακά τους. Τα παραδοτέα που δημιουργήθηκαν ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις μικρά έργα τέχνης (Εικόνα 12).



Εικόνα 12. Απεικόνιση ηλιοβασιλέματος με χρώματα που παράχθηκαν από τους μαθητές.
(Φωτογραφίες Αθ. Καρούτης).

Συμπεράσματα

Βασικός στόχος των δράσεων ήταν να αναδειχθεί ο πειραματικός διερευνητικός χαρακτήρας των Φυσικών Επιστημών και τα παιδιά να βιώσουν ότι μπορεί να αντλήσουν ευχαρίστηση από την ενασχόληση με αυτές. Φαίνεται, σύμφωνα με όσα έγραψαν οι ίδιοι οι μαθητές, ότι η αποτίμηση των δράσεων ήταν θετική. Κάποιοι έγραψαν:

«Μου άρεσε που μπορούσαμε να κάνουμε ό,τι θέλουμε με υλικά χωρίς σωστό και λάθος.»

«Μας άρεσε η όλη διαδικασία διότι ήθελε να συνδυάσουμε γνώσεις από διαφορετικά επιστημονικά μαθήματα με τα εικαστικά. Επίσης μας άρεσε γιατί ήταν ομαδικό και ότι δεν υπάρχει νικητής οπότε δεν υπήρχε ανταγωνισμός.»

Ερωτώμενοι οι μαθητές να απαντήσουν τι τους δυσκόλεψε, δεν εστίασαν, όπως ενδεχομένως να περίμενε κανείς, ούτε στον ανοικτό χαρακτήρα των προβλημάτων που τέθηκαν ούτε στην ανάγκη συνεχών πειραματισμών για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν. Πολλές ομάδες φάνηκε να χρειάζονταν πιο πολύ χρόνο και περισσότερα υλικά για να κάνουν κι άλλες δοκιμές. Τέτοιου τύπου απαντήσεις ίσως να δείχνουν τον υψηλό βαθμό εμπλοκής των μαθητών στις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν. Οι περισσότεροι δήλωσαν ότι θα συμμετείχαν σίγουρα σε παρόμοια δράση στο μέλλον.

Μπορούν οι μαθητές να αντιμετωπίσουν προβλήματα προσανατολισμένης διερεύνησης;

Ο στόχος της προσέγκυσης του ενδιαφέροντος των μαθητών μέσα από τη συμμετοχή τους σε εκπαιδευτικές δραστηριότητες προσανατολισμένης διερεύνησης, φαίνεται να επιτυγχάνεται. Πώς όμως αντιπαρέρχονται στις αυξημένες απαιτήσεις τέτοιων δραστηριοτήτων;

Από την ανάλυση των φύλλων εργασίας που κατέθεσαν οι 60 μαθητικές ομάδες που συμμετείχαν στις δύο δράσεις, προκύπτουν ενδιαφέροντα ευρήματα. Μάλλον δεν ξαφνιάζει το εύρημα ότι οι μαθητές δυσκολεύονται πολύ να διαβάσουν και να ακολουθήσουν γραπτές οδηγίες, ακόμη κι όταν τους τονίζεται ότι πρέπει να το κάνουν. Στις συγκεκριμένες δράσεις αυτό είχε ως συνέπεια να ξεκινούν να πειραματίζονται χωρίς αρχικά να έχουν προγραμματίσει τι θα κάνουν. Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις στο Α' μέρος του φύλλου εργασίας, αντί να περιγράψουν τους τρόπους με τους οποίους σκοπεύουν να πετύχουν τους διατυπωμένους στόχους, περιγράφουν τι έκαναν, αφού ήδη το έχουν πραγματοποιήσει. Ταυτόχρονα, σε ελάχιστες περιπτώσεις οι μαθητές διατυπώνουν επιστημονικές υποθέσεις, δηλαδή προτάσεις που να είναι πειραματικά ελέγξιμες.



Εικόνα 13. Μια προσπάθεια μαθητών να αποτυπώσουν την πορεία των πειραματισμών τους. (Φωτογραφία Μ. Τσακίρη).

Σε γενικές γραμμές οι μαθητές αποτυπώνουν τα αποτελέσματά τους περιγράφοντας και τις διαδικασίες που ακολούθησαν για να τα επιτύχουν (Εικόνα 13). Στις περισσότερες ωστόσο περιπτώσεις, η περιγραφή των διαδικασιών είναι επιφανειακή. Ενδεικτικά μια ομάδα μαθητών της Γ' Γυμνασίου περιγράφει:

«Επικεντρωθήκαμε στη μέθοδο που ρίχνουμε βάση και οξέα στους δείκτες. Αρχικά μας προέκυψε το ροζ και το κίτρινο. Έπειτα προσθέσαμε νερό στη βάση και στο οξύ αντίστοιχα και προέκυψε ένα ανοικτό πράσινο, διάφορες αποχρώσεις του κίτρινου και σε κάποια σημεία καταφέραμε να παράγουμε και μία απόχρωση του μπλε».

Αντίστοιχα, μία ομάδα μαθητών της Β' Γυμνασίου περιγράφει:

«Κίτρινο: βάλαμε στο χαρτόνι με λάχανο, οξύ. Ροζ-Φούξι: βάλαμε στο χαρτί με το λάχανο βάση. Πράσινο: βάλαμε πράσινα και κόκκινα φύλλα σε ακετόνη. Φωτεινό πράσινο: βάλαμε στο χαρτί με λάχανο, νερό, οξύ και βάση».

Τα αποτελέσματα αυτά αν και είναι πραγματικά, δεν είναι αναπαράξιμα: πόσες σταγόνες νερό χρειάζονται; Πόσες οξύ και πόσες βάση;

Άλλοι μαθητές, πειραματιζόμενοι με διάφορους τρόπους, κατάφεραν να παραγάγουν πολύ όμορφες αποχρώσεις χρωμάτων, όμως δεν κατέγραψαν πουθενά την πορεία που ακολούθησαν με αποτέλεσμα ούτε οι ίδιοι να γνωρίζουν πώς τα κατάφεραν όταν ρωτούνταν από τους συγγραφείς.

Συμπερασματικά, καταγράφονται σίγουρα προβλήματα σε ό,τι αφορά τον τρόπο προσέγγισης των προβλημάτων προσανατολισμένης διερεύνησης από τους μαθητές. Αν σκεφτούμε όμως πόσο διαφορετικός είναι ο συγκεκριμένος τρόπος από ό,τι είναι συνηθισμένοι οι μαθητές να κάνουν μέσα στις σχολικές τάξεις και το γεγονός ότι εκτέθηκαν σε αυτόν μόνο για ένα δίωρο, τότε πιστεύουμε ότι μπορούμε να είμαστε αισιόδοξοι. Θεωρούμε ότι οι μαθητές μπορούν να ανταπεξέλθουν στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης διδακτικής προσέγγισης, αν διδαχθούν να το κάνουν. Σίγουρα πάντως, έχουν τη διάθεση να το κάνουν, διασκεδάζουν, και φαίνεται ότι η στάση τους απέναντι στα μαθήματα των Φ.Ε. γίνεται θετικότερη.

Ίσως, λοιπόν, θα έπρεπε να προβληματιστούμε σοβαρά, και μάλιστα το συντομότερο, αν θα έπρεπε να αναθεωρήσουμε τις εργαστηριακές ασκήσεις τύπου «οδηγού μαγειρικής» που ακολουθούνται στα σχολεία μας και να ενσωματώσουμε την πειραματική διδασκαλία σε αυθεντικά προβλήματα προσανατολισμένης διερεύνησης (ή ακόμη και ανοικτής διερεύνησης για μεγαλύτερες τάξεις) με ή χωρίς τη χρήση εργαστηριακών οργάνων, που θα συμπληρώνουν τους κατάλληλα αναμορφωμένους εργαστηριακούς οδηγούς που μπορούν να είναι ενσωματωμένοι στα σχολικά εγχειρίδια.

Βιβλιογραφία

Beatty, D. (2004). Transforming student learning with classroom communication systems.

Ανακτήθηκε στις 14/9/2010 από <http://net.educause.edu/ir/library/pdf/ERB0403.pdf>

Bransford, J.D., Brown A.L. & Cocking R.R. (1999). How people learn: brain, mind, experience, and school. National Academy Press, Washington, DC.

Caldwell, J. E. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. *CBE Life Sciences Education*, 6, 9-20.

Hake, R.R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.* 66, no. 1: 64-74.

McDermott, L. & Redish, E. (1999). Resource Letter PER-1: Physics Education Research. *Am. J. Phys.*, 67, 755-767.

Reay, N. W., Li, P., & Bao, L. (2008). Testing a new voting machine question methodology. *Am. J. Phys.*, 76(2), 171-178.

Wieman, C.E. & Perkins, K.K. (2005). Transforming Physics Education. *Physics Today*. 58: 11.

Κουμαράς, Π. (2015). Η Φυσική δεν είναι μόνο εννοιολογικό περιεχόμενο, είναι επίσης μεθοδολογία λύσης (καθημερινών) προβλημάτων και στάση ζωής. *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες* 6:19-28.



Η Αναστασία Γκιγκούδη είναι απόφοιτος του Τμήματος Χημείας του Α.Π.Θ και κάτοχος Μεταπτυχιακού τίτλου στη Διδακτική της Χημείας και τις Νέες Τεχνολογίες. Διδάσκει Φυσικές Επιστήμες στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση από το 1992. Τα ενδιαφέροντά της είναι η ένταξη πειραματικών δραστηριοτήτων στη διδασκαλία και η χρήση διαδικτυακών εργαλείων. Από το 2013 είναι υπεύθυνη του Ε.Κ.Φ.Ε. Τούμπα. Διατηρεί ιστολόγιο με τίτλο «Διδάσκοντας χωρίς μολύβι και χαρτί».



Ο Θανάσης Καρούτης έχει μεταπτυχιακό δίπλωμα Ηλεκτρονικής Φυσικής – Ραδιοηλεκτρολογίας και είναι διδάκτορας του Τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. Διετέλεσε επιστημονικός συνεργάτης και λέκτορας στο Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ. με επιστημονική ενασχόληση τη διδασκαλία Φυσικής και εργαστηρίων Οπτικής καθώς και τη μελέτη ηλεκτρικών και φωτοηλεκτρικών ιδιοτήτων υλικών. Από το 1998 είναι καθηγητής Φυσικός στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση και από το 2007 υπεύθυνος του Ε.Κ.Φ.Ε. Νεάπολης.



Ο Οθωρής 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 Μαρία Τσακίρη έχει σπουδάσει Φυσική στο Α.Π.Θ., έχει μεταπτυχιακό στην Ιστορία και Φιλοσοφία των Φυσικών Επιστημών και της Τεχνολογίας από το Πανεπιστήμιο Charles de Gaulle - Lille III και είναι υπ. Διδάκτορας στο Τμήμα Φυσικής του Α.Π.Θ. με ερευνητικό αντικείμενο την ανοικτή και διερευνητική μάθηση και τη χρήση του διαδικτύου στη διδασκαλία της Φυσικής. Διδάσκει στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση από το 1988 και από το 2012 είναι υπεύθυνη του Ε.Κ.Φ.Ε. Κέντρου.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή

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

1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας

Το 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας θα διεξαχθεί στη Λάρισα στις 23, 24 & 25 Οκτωβρίου 2015. Το συνέδριο διοργανώνει η **Επιστημονική Ένωση για την Προώθηση της Εκπαιδευτικής Καινοτομίας (Ε.Ε.Π.Ε.Κ.)** σε συνεργασία με την **Περιφερειακή Διεύθυνση Α/θμιας και Β/θμιας Εκπαίδευσης Θεσσαλίας**, το **Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας** (Παιδαγωγικά Τμήματα Δημοτικής εκπαίδευσης, Προσχολικής Εκπαίδευσης και Ειδικής Αγωγής) και το **Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας** (Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας).

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 απευθύνεται κυρίως σε:

- Εκπαιδευτικούς Προσχολικής Εκπαίδευσης.
- Εκπαιδευτικούς Α/θμιας Εκπαίδευσης.
- Εκπαιδευτικούς Β/θμιας Εκπαίδευσης.
- Μέλη Δ.Ε.Π. και Ε.Π. των ΑΕΙ και ΤΕΙ.
- Ερευνητές της Εκπαίδευσης.
- Εκπαιδευτές Ενηλίκων.
- Προπτυχιακούς και Μεταπτυχιακούς Φοιτητές ΑΕΙ και ΤΕΙ.

Για περισσότερες πληροφορίες: <http://synedrio.epeke.gr/index.php>

1ο Διεθνές Βιοματικό Συνέδριο Εφαρμοσμένης Διδακτικής

Ο Επιστημονικός Πολιτιστικός Σύλλογος εκπαιδευτικός κύκλος διοργανώνει σε συνεργασία με τη Διεύθυνση Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Περιφερειακής Ενότητας Δράμας, την Περιφερειακή Ενότητα Δράμας, το Δήμο Δράμας, το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης και το Πανεπιστήμιο Μακεδονίας το: **1ο Διεθνές Βιοματικό Συνέδριο Εφαρμοσμένης Διδακτικής με θέμα: «Καινοτόμες Εφαρμογές στη Διδακτική Πράξη».**

Το συνέδριο θα διεξαχθεί από **27 έως 29 Νοεμβρίου 2015** στην πόλη της Δράμας.

Για την εξέλιξη των διαδικασιών του Συνεδρίου παρακολουθείτε την επίσημη ιστοσελίδα του Επιστημονικού Πολιτιστικού Συλλόγου εκπαιδευτικός κύκλος στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

<http://www.educircle.gr/synedrio>.

Η σελίδα έχει παραμείνει κενή



Στο εξώφυλλο του 6ου τεύχους δημοσιεύτηκε η φωτογραφία του κ. Ελευθεριάδη. Στη φωτογραφία, η σκιά ενός αεροπλάνου προβάλλεται στα σύννεφα και περιβάλλεται από ένα κυκλικό ουράνιο τόξο. Η ερμηνεία φαίνεται να δυσκόλεψε.

Σύμφωνα με τον **Ηλία Καλογήρου**, Υπεύθυνο του Ε.Κ.Φ.Ε. Ηλείας:

Αυτό που αποκαλούμε “ουράνιο τόξο” αναφέρεται συνήθως στην έγχρωμη ζώνη κατά τη διάρκεια βροχής ή όταν έχει βρέξει που το σχήμα της αποτελεί τμήμα ημικύκλιου ή είναι ημικύκλιο. Το ουράνιο τόξο (σύμβολο ελπίδας και αισιοδοξίας) δημιουργείται όταν η διεύθυνση των ακτίνων του φωτός από τον Ήλιο και η διεύθυνση των εξερχόμενων ακτίνων από τα σταγονίδια του νερού (μετά από μία εσωτερική ανάκλαση) σχηματίζουν γωνία 42° περίπου. Το μάτι του παρατηρητή βρίσκεται στη κορυφή ενός κώνου του οποίου η μισή βάση είναι το ουράνιο τόξο και το άνοιγμα του κώνου είναι 42° .

Αν υπάρχουν σταγόνες νερού όχι μόνο πάνω αλλά και κάτω από το οριζόντιο επίπεδο που διέρχεται από τη θέση του παρατηρητή, τότε το ουράνιο τόξο θα είναι μεγαλύτερο του ημικυκλίου ή και πλήρης κύκλος. Αυτό συμβαίνει π.χ. όταν ο παρατηρητής έχει μπροστά του γκρεμό ή βρίσκεται σε αεροπλάνο κατά την πτήση (όπως φαίνεται στο ακόλουθο βίντεο https://www.youtube.com/watch?v=IXaCl8_gdio) κ.λπ.

Είναι άραγε αυτό που φωτογράφησε ο κ. Ελευθεριάδης ένα ουράνιο τόξο που οφείλεται στη παρουσία των νεφών; Έχουν παρατηρηθεί ουράνια τόξα (Greenler, 1989) σε ύψη πάνω από τα σύννεφα. Αν έχουμε μια σχεδόν επίπεδη νέφωση με σταγονίδια διαμέτρου $10\mu\text{m}$ περίπου, τότε πάνω της μπορεί να προβληθεί η εικόνα του ουράνιου τόξου με άνοιγμα κώνου 42° (συχνά λευκή λόγω αλληλοεπικάλυψης των έγχρωμων τμημάτων τα οποία έχουν διευρυνθεί λόγω περίθλασης των ακτίνων του ουράνιου τόξου πάνω στα μικροσκοπικά σταγονίδια ή στους παγοκρυστάλλους). Μάλιστα δε το σχήμα της προβολής μπορεί να είναι υπερβολή ή έλλειψη ή κύκλος ανάλογα με τη θέση του Ήλιου ως προς το αεροπλάνο και βέβαια δεν μπορούμε να το δούμε ολόκληρο παρά τμήμα του.

Παρατηρώντας τη φωτογραφία διαπιστώνουμε την ύπαρξη δύο σειρών έγχρωμων πλήρων δακτυλίων με την ίδια διαδοχή χρωμάτων και ακόμη ότι το γωνιακό άνοιγμα των δακτυλίων είναι μάλλον μικρότερο από αυτό του ουράνιου τόξου. Αυτές οι διαπιστώσεις μας απομακρύνουν από τη παραδοχή ότι πρόκειται για ουράνιο τόξο.

Το φαινόμενο της φωτογραφίας λέγεται **αίγλη** (στα αγγλικά ο όρος είναι glory) και εξηγείται ως εξής (Pascuzzi, 1998).

Στη περιοχή σχηματισμού της αίγλης υπάρχουν σφαιρικά σταγονίδια νερού ή παγοκρύσταλλοι με διάμετρο περίπου 15 έως 25 μm που συμπεριφέρονται σαν “ανοίγματα” περίθλασης για το προσπίπτον ηλιακό φως. Αν θεωρήσουμε την ευθεία που ενώνει τον Ήλιο και τον παρατηρητή τότε σ’ ένα σημείο αυτής πέραν του παρατηρητή και στην αντίθετη μεριά απ’ τον Ήλιο θα είναι το κέντρο των ομόκεντρων δακτυλίων περίθλασης (αντι-ηλιακό σημείο) που βλέπει ο επιβάτης-παρατηρητής. Για κάθε χρώμα (δηλ. για κάθε μήκος κύματος) θα δημιουργούνται ομόκεντροι σκοτεινοί και φωτεινοί δακτύλιοι λόγω συμβολής. Δεδομένου ότι ο δείκτης διάθλασης του νερού μειώνεται καθώς το μήκος κύματος του φωτός αυξάνει, το μεγαλύτερο μήκος κύματος φωτός (κόκκινο) θα ταξιδέψει γρηγορότερα στην σταγόνα νερού, ενώ το μικρότερο μήκος κύματος φωτός (μπλε) θα ταξιδέψει βραδύτερα στο σταγονίδιο. Ως αποτέλεσμα, το κόκκινο φως διαθλάται (και ως εκ τούτου σκεδάζεται) λίγο και το μπλε φως σκεδάζεται περισσότερο. Επακόλουθα το εξωτερικό τμήμα της αίγλης εμφανίζεται κόκκινο, ενώ το εσωτερικό τμήμα μπλε. Η δεύτερη σειρά έγχρωμων δακτυλίων που παρατηρούμε στη φωτογραφία (αχνά χρώματα) προέρχεται από δακτυλίους ανώτερης τάξης. Ένας πρόσθετος τώρα, πιο περίπλοκος μηχανισμός επιστρέφει αυτό το διασκεδασμένο φως πίσω κατά μία κατεύθυνση από τα σταγονίδια προς τον παρατηρητή του αεροπλάνου. Αυτός είναι ο λόγος που κάθε επιβάτης βλέπει τη δική του αίγλη. Η σκέδαση αυτή γίνεται στις ακμές των σταγονιδίων του νερού.

Πιθανολογώ ότι ο κ. Ελευθεριάδης καθόταν λίγο πιο πίσω από τα φτερά (προς την ουρά) και μάλιστα το παράθυρό του βρισκόταν σε αντίθετη μεριά απ’ ό,τι ήταν ο Ήλιος. Το πού κάθεται ο επιβάτης το βρίσκουμε αν δούμε σε ποιο σημείο της σκιάς του αεροσκάφους βρίσκεται το κέντρο των δακτυλίων. Αν καθόταν σε θέση κοντά στο πιλότο, τότε το κέντρο των δακτυλίων θα βρισκόταν στη μύτη της σκιάς του αεροπλάνου.

Σημειώνεται ότι η γωνιακή διάμετρος της αίγλης δεν είναι συνάρτηση της απόστασης μεταξύ του παρατηρητή (δηλαδή, του εν πτήση σκάφους) και του σύννεφου (δηλ. της οθόνης). Μόνο η διάμετρος των αιωρούμενων σταγονιδίων νερού είναι υπεύθυνη για το παρατηρούμενο γωνιακό μέγεθος της αίγλης, όπως ακριβώς το πλάτος της σχισμής (d) συνδέεται άμεσα με την παρατηρούμενη απόσταση μεταξύ μεγίστων (x) σε ένα πρότυπο περίθλασης μονής σχισμής. Έτσι κατά τη κίνηση του αεροπλάνου μπορεί η σκιά του να μεταβληθεί σε μέγεθος ή και να εξαφανιστεί, αλλά η γωνιακή διάμετρος της αίγλης θα παραμείνει σταθερή.

Η αίγλη δεν είναι σπάνιο οπτικό φαινόμενο κατά την πτήση με αεροπλάνο και αν θέλουμε να απαθανατίσουμε το θέαμα αυτό της φύσης θα πρέπει να έχουμε έτοιμη τη φωτογραφική μηχανή.

Βιβλιογραφία

Greenler, R. (1989). *Rainbows, Halos, and Glories*, Cambridge University Press, pp. 10-12 & 139-146.

Pascuzzi, E. (1998). The glorious glory. *The Physics Teacher*, Vol. 36, 164 -166.

Ευχαριστούμε όλους και όλες που έστειλαν τις απαντήσεις τους. Περιμένουμε τις απαντήσεις σας και για τη φωτογραφία του εξώφυλλου του 7ου τεύχους καθώς και προτάσεις για τη διδακτική της αξιοποίηση.

Ευρετήριο συγγραφέων (Τεύχος 4, Σεπτέμβριος 2014 – Τεύχος 7, Ιούνιος 2015)

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

Λένα, Ρ., 6ο, 7-18

Ross, Κ., 7ο 11-21

Αυγολούπης, Σ., 4ο, 39-47

Γκιγκούδη, Αν. 6ο, 63-68 & 7ο, 81-93

Γκοτζαμάνη, Σ., 4ο, 39-47

Δομουχτσίδου, Γ., 7ο, 63-68

Ελευθερίου, Μ., 5ο, 47-55

Εμβαλωτής, Αν., 5ο, 7-15 & 6ο, 29-38

Ιωάννου, Ν. 6ο, 69-74

Κανδεράκης, Ν., 4ο, 31-38 & 7ο, 23-31

Καρούτης, Αθ. 7ο, 81-93

Κνάβας, Οδ., 7ο, 41-47

Κουμαράς, Π., 4ο, 49-58· 5ο, 39-46· 6ο, 19-28 & 7ο, 59-68

Κώτσης, Κ., 5ο, 7-15 & 6ο, 29-38

Λάζος, Π., 4ο, 59-66 & 6ο, 57-61

Μανδηλιώτης, Σ., 5ο, 17-25

Μαρκόπουλος, Ι., 7ο, 33-40

Μουρούζης, Π., 5ο, 67-75

Νάκος, Δ., 6ο, 47-56

Νείλα, Ι., 5ο, 27-37

Ξανθάκος, Π., 6ο, 57-61

Ξενάκης, Χ., 5ο, 57-66

Πάλλας, Αν., 7ο 49-58

Πετούσης, Χ., 5ο, 77-91

Πετρίδης, Π., 4ο, 67-78

Πιερράτος, Θ., 6ο, 75-81 & 7ο, 81-93

Πολάτογλου, Χ., 6ο, 47-56

Σπανέλλη, Τ., 4ο, 9-20

Σπανός, Σ. 5ο, 57-66

Σταυρίδου, Ε., 7ο, 49-58

Στεφανίδου, Π., 4ο, 89-96

Στύλος, Γ., 5ο, 7-15 & 6ο, 29-38

Τσακμάκη, Π., 7ο, 9-10

Τσαγλιώτης, Ν., 4ο, 21-30

Τσακίρη, Μ., 7ο, 81-93

Τσεχερίδης, Σ., 6ο, 39-46

Τσίντζας, Δ., 7ο, 41-47

Φανουράκη, Ε., 4ο, 79-88

Φανουράκης, Ν., 4ο, 79-88

Χατζάρα, Σ., 5ο, 17-25

Χατζίκου, Σ., 7ο, 33-40

