

Έργο, θερμότητα και θερμική ενέργεια. Μια ενδιαφέρουσα συγκατοίκηση!

Κυριακόπουλος Νικόλαος
 Εκπαιδευτικός Π.Ε.04, M.Sc. Φυσικός
 nkyriak@gmail.com

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε 40 μαθητές της Α΄ τάξης του Γενικού Λυκείου κατά τη διδασκαλία του μαθήματος της Φυσικής. Συγκεκριμένα σχεδιάστηκε, εφαρμόστηκε και αξιολογήθηκε στο σύνολο των 40 μαθητών ένα διδακτικό σενάριο που είχε ως σκοπό να φέρει τους μαθητές σε επαφή με έννοιες και μεγέθη όπως το έργο, η θερμότητα και η θερμική ενέργεια. Για την πραγματοποίηση του διδακτικού σεναρίου χρησιμοποιήθηκε ένα Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης (ΣΣΛΑ) το οποίο ήταν προσαρμοσμένο κατάλληλα σε υφιστάμενη πειραματική διάταξη. Η διδακτική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η καθοδηγούμενη ανακάλυψη, και οι μαθητές εργάστηκαν ομαδοσυνεργατικά. Στη συνέχεια της εργασίας, παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη με το ΣΣΛΑ που χρησιμοποιήθηκε, το διδακτικό σενάριο που εφαρμόστηκε στη σχολική τάξη, καθώς και τα ποιοτικά και ποσοτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή του διδακτικού σεναρίου.

Λέξεις - κλειδιά: Φυσική, έργο, θερμότητα, θερμική ενέργεια.

Εισαγωγή

Πολλές φορές κατά τη διδασκαλία του μαθήματος της φυσικής σε οποιαδήποτε βαθμίδα εκπαίδευσης, οι διδασκόμενοι καλούνται να γνωρίσουν μεγέθη και έννοιες, οι οποίες αν και φαίνονται οικείες, εύκολες και καθημερινές, στην πραγματικότητα «κρύβουν» σημαντικές εννοιολογικές δυσκολίες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι έννοιες/μεγέθη θερμότητα και θερμική ενέργεια (Hewitt, 1997). Η δυσκολία που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στο να διακρίνουν αυτές τις δύο έννοιες/μεγέθη, αποτελεί ίσως το μεγαλύτερο «αντίπαλο» στη διδασκαλία των θερμικών φαινομένων (Κασσέτας, 2000). Ο σκοπός του συγκεκριμένου διδακτικού σεναρίου ήταν οι μαθητές να διασαφηνίσουν τις έννοιες/μεγέθη θερμότητα και θερμική ενέργεια. Η πορεία που ακολουθήθηκε, ήταν οι μαθητές να πραγματοποιήσουν κατάλληλο πείραμα, μέσα από το οποίο να διαπιστώσουν ότι ένα σώμα ανταλλάσσει ενέργεια με το περιβάλλον του είτε μέσω έργου είτε με θερμότητα υπολογίζοντας παράλληλα συγκεκριμένες μεταβολές ενέργειας (Κασσέτας, 2000).

Περιγραφή του διδακτικού σεναρίου

Σχέδιο μαθήματος

Διδακτικοί στόχοι:

Με τη διδασκαλία αυτού του μαθήματος οι μαθητές έπρεπε:

1. Να διαπιστώσουν ότι τα σώματα ανταλλάσσουν ενέργεια με το περιβάλλον τους με δυο μηχανισμούς: με έργο και με θερμότητα.
2. Να διασαφηνίσουν τις έννοιες/μεγέθη θερμότητα και θερμική ενέργεια.
3. Να ερμηνεύσουν τα ενεργειακά «πάρε-δώσε» μεταξύ ενός σώματος και του περιβάλλοντός του, με βάση την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας.
4. Να χειριστούν πειραματική συσκευή και να συλλέξουν πειραματικά δεδομένα με χρήση λογισμικού, εργαζόμενοι σε ομάδες.
5. Να επεξεργαστούν πειραματικά δεδομένα, να σχεδιάσουν γραφικές παραστάσεις και να εξάγουν συμπεράσματα εργαζόμενοι σε ομάδες.
6. Να αξιοποιήσουν τις γνώσεις και τις δεξιότητες που απέκτησαν ώστε να ερμηνεύσουν φαινόμενα που συναντούν στην καθημερινή τους ζωή.

Οργάνωση της τάξης και διδακτική μεθοδολογία:

Οι μαθητές ήταν χωρισμένοι σε ομάδες των τεσσάρων ατόμων και εργάζονταν ομαδοσυνεργατικά (Ματσαγγούρας, 2000 · Ματσαγγούρας, 2005). Η διδακτική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν η καθοδηγούμενη ανακάλυψη (Χαλκιά, 2012).

Διάρκεια διδασκαλίας:

Η διδασκαλία ολοκληρώθηκε σε τρεις διδακτικές ώρες. Δυο διδακτικές ώρες χρειάστηκαν για την παρουσίαση του θέματος, της πειραματικής διάταξης με το ΣΣΛΑ και την πραγματοποίηση του φύλλου εργασίας, ενώ μια ώρα απαιτήθηκε για τη συμπλήρωση του φύλλου αξιολόγησης.

Απαιτούμενη υλικοτεχνική υποδομή:

Για τη διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε η πειραματική διάταξη που φαίνεται στις παρακάτω εικόνες 1α και 1β και η οποία υπάρχει στα περισσότερα Σχολικά Εργαστήρια Φυσικών Επιστημών των Γενικών Λυκείων σε οχτάδες.



Εικόνα 1: Πειραματική διάταξη.

Η διάταξη αποτελείται από τα εξής μέρη:

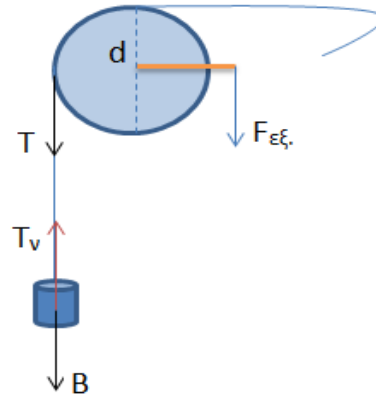
1. Ένα ξηρό κυλινδρικό τύμπανο αλουμινίου το οποίο στερεώνεται πάνω σε έναν άξονα (ρότορα) ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται με μανιβέλα. Η μάζα του τύμπανου

είναι $m=0,278\text{Kg}$ και η διάμετρος του $d=5\text{cm}$. Η ειδική θερμότητα του αλουμινίου είναι $c = 920 \frac{\text{J}}{\text{Kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$.

2. Μια βάση στην οποία τοποθετείται το αλουμινένιο τύμπανο. Στη βάση είναι ενσωματωμένος ένας σφινγκτήρας στερέωσης στον εργαστηριακό πάγκο, μια λαβή περιστροφής του τύμπανου (μανιβέλα) και ένας μετρητής του αριθμού περιστροφών.
3. Ένα θερμόμετρο το οποίο τοποθετείται σε μια ειδική οπή στο κέντρο της μιας πλευράς του τύμπανου.
4. Ένας ιμάντας μήκους $3,4\text{m}$.
5. Ένα βαρίδι μάζας $M=5\text{Kg}$ με άγκιστρο ανάρτησης.

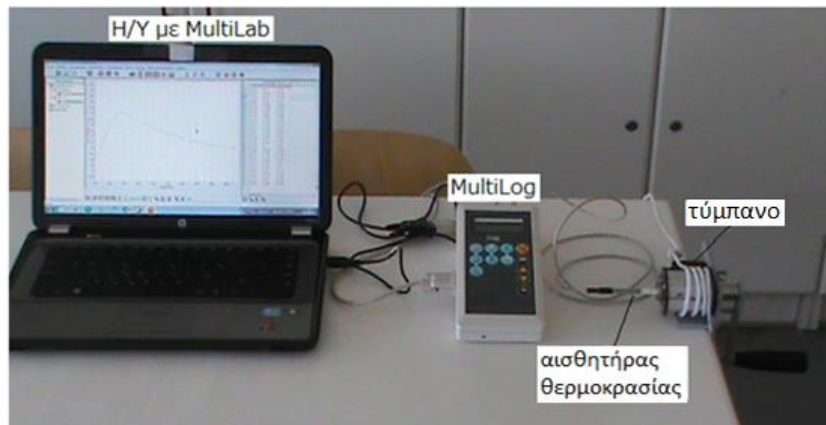
Το ένα άκρο του ιμάντα δένεται στο άγκιστρο ανάρτησης του βαριδίου. Στη συνέχεια ο ιμάντας περιελίσσεται τρεις-τέσσερις φορές γύρω από το τύμπανο αλουμινίου. Ο χειριστής της συσκευής εφαρμόζοντας μικρή δύναμη περιστρέφει τη μανιβέλα με το δεξί χέρι και κρατάει το ελεύθερο άκρο του ιμάντα με το αριστερό χέρι, όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Καθώς αρχίζει η περιστροφή της μανιβέλας το βαρίδι ανυψώνεται λίγο από το έδαφος. Η περιστροφή γίνεται με σταθερό ρυθμό ώστε ο ιμάντας να ολισθαίνει επάνω στο τύμπανο και το βαρίδι να παραμένει σε σταθερό-μικρό ύψος από το έδαφος. Κατά τη διάρκεια των περιστροφών ασκείται στο τύμπανο η δύναμη $F_{εξ}$ από τη μανιβέλα και η τριβή ολίσθησης T η οποία εξασφαλίζεται από τον ιμάντα που ολισθαίνει καθώς είναι περιτυλιγμένος γύρω από τη στρεφόμενη κυλινδρική επιφάνεια του τύμπανου (σχήμα 1). Ο ιμάντας είναι μη εκτατός και θεωρείται αμελητέας μάζας. Τελικά ο ιμάντας τεντώνεται μόνο από το βάρος του βαριδίου έτσι ώστε η τριβή ολίσθησης να έχει τιμή ίση με το βάρος B του βαριδίου, δηλαδή $T = B = M \cdot g$ (1). Με βάση τις παραπάνω συνθήκες η ενέργεια που προσφέρεται στο τύμπανο μέσω του έργου $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}}$ της δύναμης $F_{εξ}$, θα ισούται κατά απόλυτη τιμή με το έργο της τριβής ολίσθησης, δηλαδή $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}} = |W_T| = T \cdot \Delta x = M \cdot g \cdot \Delta s$ (2), όπου Δs το διάστημα που ισούται με τον αριθμό N των εκτελούμενων περιστροφών επί το μήκος της περιφέρειας του κυλίνδρου, $\Delta s = N \cdot \pi \cdot d$ (3). Άρα η (2) $\xrightarrow{(3)}$ $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}} = M \cdot g \cdot N \cdot \pi \cdot d$ (4)

Λόγω της τριβής ολίσθησης αυξάνεται η θερμοκρασία του τύμπανου κατά $\Delta\theta$ και επομένως αυξάνεται και η θερμική του ενέργεια κατά $\Delta E_{\text{θερμ}}$. Η $\Delta E_{\text{θερμ}}$ του κυλίνδρου μάζας m και ειδικής θερμότητας c υπολογίζεται από τη σχέση $\Delta E_{\text{θερμ}} = m \cdot c \cdot \Delta\theta$ (5).



Σχήμα 1: Η πειραματική διάταξη σε τομή.

Στη συγκεκριμένη εργασία για τη λήψη των πειραματικών μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ένα Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης (ΣΣΛΑ) που ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένο στην παραπάνω πειραματική συσκευή. Συγκεκριμένα αντί θερμομέτρου χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας θερμοκρασίας. Ο αισθητήρας συνδεόταν με τον καταγραφέα MultiLog ο οποίος επικοινωνούσε με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του λογισμικού MultiLab, όπως φαίνεται και στην εικόνα 2 (Αμαξοτεχνική ΑΕΒΕ, 1999). Έτσι λαμβάνονταν πειραματικά ζεύγη τιμών (χρόνου t , θερμοκρασίας θ) με ρυθμό δειγματοληψίας 1 μέτρηση ανά λεπτό.



Εικόνα 2: Το ΣΣΛΑ προσαρμοσμένο στην πειραματική διάταξη.

Φύλλο εργασίας

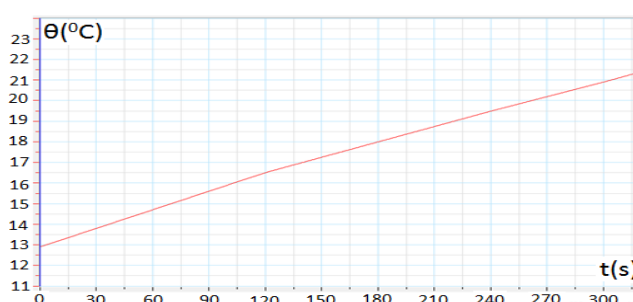
Στάδιο απόρμησης:

Η διδασκαλία ξεκίνησε ρωτώντας ο διδάσκων τους μαθητές με ποιους τρόπους θα μπορούσαν να ζεστάνουν τα κρύα χέρια τους μια χειμωνιάτικη ημέρα. Οι περισσότερες απαντήσεις των μαθητών μοιράστηκαν μεταξύ της δυνατότητας που είχαν να πλησιάσουν τα χέρια τους σε μια θερμαντική συσκευή και της δυνατότητας να τρίψουν τις παλάμες των χεριών μεταξύ τους. Έτσι ο διδάσκων κατάφερε να αναδείξει ότι η τριβή ολίσθησης αποτελεί επίσης ένα τρόπο να θερμάνουμε ένα σώμα χωρίς να είναι αναγκαία η προσφορά θερμότητας. Στη συνέχεια ο διδάσκων κάλεσε τους μαθητές του να «ανακαλύψουν» το ρόλο που έχει η τριβή ολίσθησης στις

ενεργειακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωμάτων μέσα από μια σειρά δραστηριοτήτων.

Δραστηριότητες:

1. Για την εκτέλεση της πρώτης δραστηριότητας κάθε ομάδα πέρασε κυκλικά από την πειραματική διάταξη. Από κάθε ομάδα ένας μαθητής περιστρέφει τη μανιβέλα με σταθερό ρυθμό (περίπου μια περιστροφή ανά δευτερόλεπτο), ενώ οι υπόλοιποι χειρίζονται το ΣΣΛΑ για την ταυτόχρονη λήψη και απεικόνιση των πειραματικών ζευγών (t, θ) σε διάγραμμα $\theta-t$. Το ΣΣΛΑ ήταν ρυθμισμένο να λαμβάνει 1μετρήση/min. Όταν κάθε ομάδα ολοκλήρωνε το πείραμα, εκτύπωνε τις πειραματικές μετρήσεις και το διάγραμμα $\theta-t$ (διάγραμμα 1) και επέστρεφε στο πάγκο εργασίας για να πραγματοποιήσει τις υπόλοιπες δραστηριότητες του φύλλου εργασίας.



Διάγραμμα 1: Γραφική παράσταση $\theta-t$.

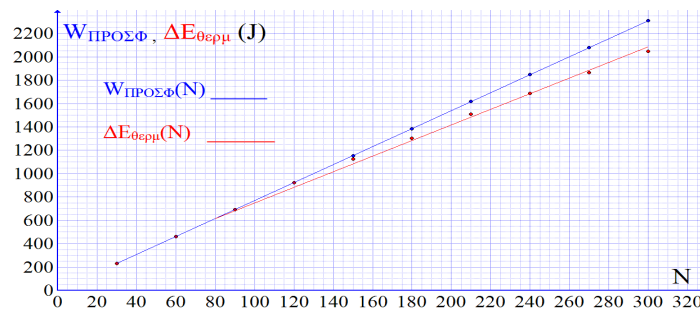
2. Από την επεξεργασία της γραφικής παράστασης του διαγράμματος 1 και κάνοντας τους κατάλληλους υπολογισμούς, οι μαθητές συμπλήρωσαν τον παρακάτω πίνακα 1.

t(s)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΩΝ N	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ $\theta(^{\circ}\text{C})$	$\Delta\theta=\theta-\theta_0 (^{\circ}\text{C})$	$W_{\text{ΠΡΟΣΦ.}} \text{ (J)}$ (σχέση 4)	$\Delta E_{\text{θερμ}} \text{ (J)}$ (σχέση 5)
0	0	$\theta_0=12,9$			
30	30	13,8	0,9	231	230
60	60	14,7	1,8	462	460
90	90	15,6	2,7	693	691
120	120	16,5	3,6	924	921
150	150	17,3	4,4	1155	1125
180	180	18	5,1	1386	1304
210	210	18,8	5,9	1617	1508
240	240	19,5	6,6	1848	1688
270	270	20,2	7,3	2079	1867
300	300	20,9	8	2310	2046

Πίνακας 1: Πίνακας υπολογισμού φυσικών μεγεθών.

3. Στην 3^η δραστηριότητα ζητήθηκε από τους μαθητές να συγκρίνουν τα μεγέθη $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}}$ και $\Delta E_{\text{θερμ}}$ για τις πρώτες 120 στροφές του τύμπανου αλουμινίου. Από τη σύγκριση οι μαθητές παρατήρησαν ότι η ενέργεια που προσφέρεται στο τύμπανο μέσω του έργου $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}}$ είναι σχεδόν ίση με την αύξηση της θερμικής του ενέργειας $\Delta E_{\text{θερμ}}$. Έτσι συμπέραναν ότι η ενέργεια που προσφέρεται στο τύμπανο αποθηκεύεται σε αυτό υπό μορφή θερμικής ενέργειας. Επίσης αναδείχθηκε και η φυσική σημασία του έργου $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}}$ της εξωτερικής δύναμης $F_{\text{εξ}}$ και του έργου της τριβής W_{T} , αφού το $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}}$ εκφράζει τη μηχανική ενέργεια που προσφέρεται στο τύμπανο, ενώ το έργο της τριβής W_{T} εκφράζει τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε θερμική που αποθηκεύεται στο τύμπανο.

4. Στη 4^η δραστηριότητα οι μαθητές σχεδίασαν σε κοινό διάγραμμα (διάγραμμα 2) τις γραφικές παραστάσεις $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}}-N$ και $\Delta E_{\text{θερμ}}-N$ με βάση τις τιμές του πίνακα 1.

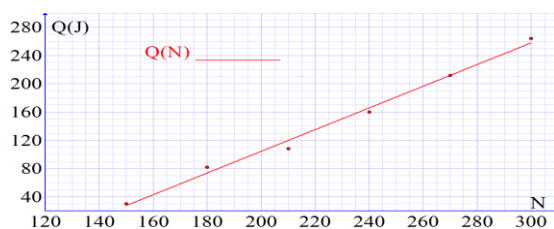


Διάγραμμα 2: Γραφικές παραστάσεις $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}}-N$ και $\Delta E_{\text{θερμ}}-N$.

5. Στην 5^η δραστηριότητα οι μαθητές κλήθηκαν να απαντήσουν που οφείλεται η απόκλιση (άνοιγμα ή ψαλίδα) μεταξύ των δυο γραφικών παραστάσεων του διαγράμματος 2, καθώς επίσης και να προσδιορίσουν το φυσικό μέγεθος που εκφράζει ποσοτικά την απόκλιση αυτή. Όσο αυξανόταν ο αριθμός των περιστροφών τόσο αυξανόταν η θερμοκρασία του τύμπανου, καθώς και η θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ μεταξύ τύμπανου και περιβάλλοντος. Έτσι οι μαθητές καθοδηγήθηκαν να διαπιστώσουν ότι από την ενέργεια που προσφερόταν στο τύμπανο, ένα ποσό αποθηκευόταν σε αυτό υπό μορφή θερμικής ενέργειας ενώ το υπόλοιπο αποβαλλόταν υπό μορφή θερμότητας Q προς το περιβάλλον. Μάλιστα όσο αυξανόταν η θερμοκρασιακή διαφορά $\Delta\theta = \theta - \theta_0$ τόσο αυξανόταν και το ποσό θερμότητας Q που αποβαλλόταν προς το περιβάλλον.

6. Στην 6^η δραστηριότητα οι μαθητές διατύπωσαν τη σχέση $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}} = \Delta E_{\text{θερμ}} + Q$ (6), που περιγράφει το ενεργειακό ισοζύγιο (πάρε-δώσε) στο θερμιδόμετρο. Με τις παραπάνω δραστηριότητες έγινε προσπάθεια οι μαθητές να διασαφηνίσουν πλέον ότι το έργο, η θερμότητα και η θερμική ενέργεια είναι τρεις διαφορετικές έννοιες/μεγέθη, οι οποίες όμως συγκατακούν στην απαραβίαστη Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας.

7. Τέλος οι μαθητές με βάση τη σχέση (6) και τις τιμές του πίνακα 1, υπολόγισαν το ποσό θερμότητας Q και σχεδίασαν τη γραφική παράσταση $Q-N$ για $150 \leq N \leq 300$ (διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3: Γραφική παράσταση $Q-N$ για $150 \leq N \leq 300$.

Αναλύοντας τη γραφική παράσταση $Q-N$ οι μαθητές διαπίστωσαν ότι για $150 \leq N \leq 300$ η θερμότητα Q που αποβάλλεται από το θερμιδόμετρο προς το περιβάλλον είναι ανάλογη του αριθμού των περιστροφών N , κάτι που έρχεται σε συμφωνία τα συμπεράσματα της 5^{ης} δραστηριότητας.

Κατά την επεξεργασία του φύλλου εργασίας, ο διδάσκων παρατήρησε ότι όλες οι ομάδες κατάφεραν να πραγματοποιήσουν το πείραμα και να χειριστούν το ΣΣΛΑ παρά τις όποιες μικρές τεχνικές δυσκολίες οι οποίες ξεπεράστηκαν γρήγορα με τη σωστή καθοδήγηση. Επίσης το 75% των μαθητών επεξεργάστηκε αλλά και σχεδίασε σωστά τις όποιες γραφικές παραστάσεις και εξήγαγε από αυτές σωστά συμπεράσματα. Το υπόλοιπο 25% των μαθητών αντιμετώπισε προβλήματα στη σχεδίαση των γραφικών παραστάσεων, κυρίως διότι δεν χρησιμοποίησε σωστά την τεχνική της γραφικής παράστασης. Με την καθοδήγηση όμως του καθηγητή, αλλά και τη συνεργασία μεταξύ των μελών κάθε ομάδας, τελικά όλοι οι μαθητές πραγματοποίησαν τις δραστηριότητες του φύλλου εργασίας.

Αξιολόγηση του διδακτικού σεναρίου

Προκειμένου αφενός να αξιολογηθεί η δομή του διδακτικού σεναρίου και η επίτευξη των διδακτικών στόχων (γνωστικών, συναισθηματικών και ψυχοκινητικών) και αφετέρου να ανατροφοδοτηθεί ή όλη διδακτική πρακτική (Κασσωτάκης, 1981 · Gronlund, 1985), ο διδάσκων συνεκτίμησε και ανέλυσε τα εξής:

- Τις παρατηρήσεις του από την εφαρμογή του φύλλου εργασίας όπως καταγράφηκαν παραπάνω.
- Τις απαντήσεις των μαθητών στο φύλλο αξιολόγησης, που συμπληρώθηκε μετά την ολοκλήρωση του φύλλου εργασίας.
- Τις απαντήσεις των μαθητών σε ένα ερωτηματολόγιο, μέσω του οποίου οι μαθητές αξιολόγησαν από τη μεριά τους την όλη διδακτική προσέγγιση.

Να σημειωθεί ότι τόσο το φύλλο αξιολόγησης όσο και το ερωτηματολόγιο ήταν ανοιχτού τύπου και συμπληρώθηκε από τον κάθε μαθητή ξεχωριστά.

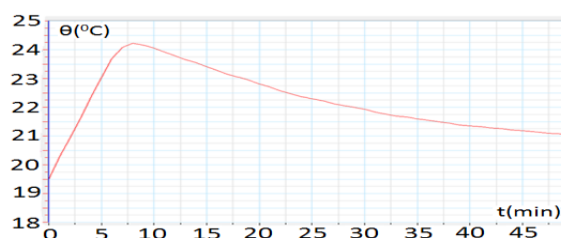
Περιγραφή του φύλλου αξιολόγησης που συμπλήρωσαν οι μαθητές

Ερωτήσεις:

1. Στην 1^η ερώτηση οι μαθητές ρωτήθηκαν που οφείλεται το δυσάρεστο αίσθημα του «καψίματος» στις παλάμες τους, όταν κάποιος τραβάει ένα σχοινί μέσα από αυτές. Το 62% των μαθητών αν και απάντησε σωστά, περιορίστηκε μόνο στο να συνδέσει την τριβή με την αύξηση της θερμοκρασίας. Το 13% χρησιμοποίησε εύστοχα τις αντίστοιχες έννοιες και ανέδειξε σωστά το ρόλο της τριβής στην αύξηση της θερμοκρασίας και της θερμικής ενέργειας. Το υπόλοιπο 25% των μαθητών έδωσε λανθασμένες απαντήσεις με ατυχείς διατυπώσεις, όπως π.χ. παράγεται θερμότητα στις παλάμες, μεταφέρονται °C από το σχοινί που είναι ζεστό στις παλάμες, μεγαλώνει απότομα η τριβή και θερμαίνεται το χέρι κ.α. .

2. Στη 2^η ερώτηση μελετήθηκε από τους μαθητές η περίπτωση κατά την οποία ένα σώμα εκτελεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση σε οριζόντιο επίπεδο υπό την επίδραση μιας οριζόντιας σταθερής δύναμης και της τριβής ολίσθησης. Στο 1^ο υποερώτημα ζητήθηκε ο σχεδιασμός ενός απλού σχήματος στο οποίο να φαίνονται όλες οι δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα. Στο 2^ο υποερώτημα ζητήθηκε η φυσική σημασία του έργου κάθε δύναμης που ασκείται στο σώμα. Στο 3^ο υποερώτημα ζητήθηκε η σχέση που εκφράζει το ενεργειακό ισοζύγιο που εμφανίζεται στο σώμα και ποια βασική Αρχή της Φύσης το περιγράφει. Στο 1^ο υποερώτημα απάντησε σωστά το 90% των μαθητών, ενώ το 10% σχεδίασε την τριβή ολίσθησης στην ίδια κατεύθυνση με την οριζόντια σταθερή δύναμη. Στο 2^ο υποερώτημα το 60% απάντησε σωστά, ενώ το 40% ή δεν απάντησε καθόλου ή χρησιμοποίησε λανθασμένα τους όρους ενέργεια, θερμότητα και θερμική ενέργεια. Στο 3^ο υποερώτημα το 68% απάντησε σωστά, το 17% απάντησε με ελλείψεις (συνήθως οι μαθητές δεν έγραφαν την αντίστοιχη μαθηματική σχέση), ενώ το 15% απάντησε λανθασμένα και χωρίς να αναφέρει την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας.

3. Στην 3^η ερώτηση οι μαθητές κλήθηκαν να επεξεργαστούν έτοιμα πειραματικά δεδομένα που ελήφθησαν από την πειραματική διάταξη με το ΣΣΛΑ που χρησιμοποιήθηκε και στο φύλο εργασίας. Τα πειραματικά δεδομένα αφορούσαν σε ζεύγη τιμών (t,θ) τόσο κατά τη θέρμανση του τύμπανου, όσο και κατά την ελεύθερη ψύξη του (διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4: Γραφική παράσταση θ - t κατά τη θέρμανση και την ελεύθερη ψύξη του τύμπανου.

Στο 1^ο υποερώτημα ζητήθηκε από τους μαθητές να σχεδιάσουν τη γραφική παράσταση θ - t (διάγραμμα 4). Στο 2^ο υποερώτημα τους ζητήθηκε να υπολογίσουν την ειδική θερμότητα του αλουμινίου, υποδεικνύοντάς τους να βασιστούν στη σχέση που εκφράζει το ενεργειακό ισοζύγιο στο τύμπανο $W_{\text{ΠΡΟΣΦ}} = \Delta E_{\text{θερμ}} + Q$ για $N=200$

περιστροφές και στο δεδομένο ότι η θερμότητα Q που αποβάλλεται από το τύμπανο προς το περιβάλλον λόγω της μεταξύ τους διαφοράς θερμοκρασίας, δίνεται από τη σχέση $Q = m \cdot c \cdot |\Delta\theta'|$ όπου $|\Delta\theta'|$ η μεταβολή της θερμοκρασίας του τύμπανου όταν το αφήσουμε να ψυχθεί ελεύθερα για χρονικό διάστημα ίσο με το χρόνο θέρμανσής του (Παπαμιχάλης, 2015). Συγκεκριμένα:

$$W_{\text{ΠΡΟΣΦ}} = \Delta E_{\text{θερμ}} + Q \Rightarrow M \cdot g \cdot \pi \cdot d \cdot N = m \cdot c \cdot \Delta\theta + m \cdot c \cdot |\Delta\theta'| \Rightarrow c = \frac{M \cdot g \cdot \pi \cdot d \cdot N}{m \cdot (\Delta\theta + |\Delta\theta'|)} =$$

$$\frac{5 \cdot 9,8 \cdot 3,14 \cdot 0,05 \cdot 200}{0,278 \cdot (4,72 + 0,94)} = 978 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Τέλος υπολόγισαν το σχετικό πειραματικό σφάλμα στον υπολογισμό της ειδικής θερμότητας του αλουμινίου $\sigma\% = \left| \frac{920 - 978}{920} \right| \cdot 100\% = 6,3\%$.

Το 65% των μαθητών σχεδίασε σωστά τη γραφική παράσταση θ - t . Στο υπόλοιπο 35% τα λάθη σχετίζονταν κυρίως με κακή ή λανθασμένη επιλογή μονάδας στους άξονες θερμοκρασίας και χρόνου, λανθασμένη απεικόνιση των πειραματικών ζευγών (t, θ) στο αντίστοιχο διάγραμμα και επομένως λανθασμένη χάραξη της γραφικής παράστασης. Όσον αφορά στον υπολογισμό του c το 45% απάντησε σωστά, το 15% ημιτελώς ενώ το 40% είτε απάντησε λάθος είτε δεν απάντησε καθόλου. Έτσι μόνο το 45% προχώρησε και σε σωστό υπολογισμό του σχετικού πειραματικού σφάλματος.

Περιγραφή του ερωτηματολογίου που συμπλήρωσαν οι μαθητές

Σχετικά με το φύλλο εργασίας το 93% των μαθητών έκρινε αρκετή έως πολύ καλή τη σαφήνεια των θεωρητικών επισημάνσεων. Επίσης το 85% των μαθητών θεώρησαν ότι οι δραστηριότητες ήταν κλιμακούμενης δυσκολίας και σε συνδυασμό με την παρεχόμενη καθοδήγηση από τον καθηγητή, τους βοήθησαν να ανακαλύψουν τη νέα γνώση. Όσον αφορά στην πραγματοποίηση του πειράματος το 93% απάντησε ότι η δυσκολία ήταν από ελάχιστη έως μέτρια και σχετιζόταν κυρίως με το σταθερό ρυθμό με τον οποίο έπρεπε να γίνεται η περιστροφή του τύμπανου αλουμινίου. Επίσης το ίδιο ποσοστό μαθητών έκρινε μέτριας δυσκολίας τη χρήση του ΣΣΛΑ ενώ παράλληλα θεώρησε την όλη διάταξη αρκετά πρωτότυπη. Το 38% των μαθητών ισχυρίστηκε ότι δυσκολεύτηκε στη χάραξη των γραφικών παραστάσεων ενώ το 62% δε δυσκολεύτηκε σε κανένα ερώτημα, κυρίως λόγω της παρεχόμενης καθοδήγησης. Έτσι το 93% έκρινε αρκετά έως πολύ ενδιαφέρουσα τη συγκεκριμένη διδακτική πρακτική.

Όσον αφορά στο φύλλο αξιολόγησης, το 70% των μαθητών έκρινε σαφείς και κλιμακούμενης δυσκολίας τις ερωτήσεις που περιείχε. Παρόλα αυτά το 78% απάντησε ότι δυσκολεύτηκε στον υπολογισμό του c ενώ το 30% στη σχεδίαση της γραφικής παράστασης θ - t . Να σημειωθεί ότι το 5% απάντησε ότι δεν δυσκολεύτηκε σε κανένα ερώτημα.

Όταν οι μαθητές ρωτήθηκαν για την εμπειρία τους εργαζόμενοι σε ομάδες, το 85% την έκρινε μοναδική ενώ 12% των μαθητών θεώρησαν ότι οι «καλοί» μαθητές μένουν «πίσω» γνωστικά και δεν φαίνονται οι πραγματικές τους δυνατότητες μέσα από την εργασία σε ομάδες. Επίσης το 5% απάντησε ότι οι καλοί φίλοι στην παρέα δεν είναι κατ' ανάγκη και καλοί συνεργάτες στην ομάδα!

Αποτελέσματα-συζήτηση

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία της έρευνας, το συγκεκριμένο διδακτικό σενάριο κρίνεται επιτυχές, αφού κατά μέσο όρο οι γνωστικοί στόχοι επετεύχθησαν σε ένα ποσοστό περίπου 65%, ενώ οι συναισθηματικοί και οι ψυχοκινητικοί στόχοι σε ποσοστό 85%. Επίσης η δομή του σεναρίου και η διδακτική μεθοδολογία που επιλέχθηκε, φάνηκαν να μη δημιουργούν δυσλειτουργίες και να εξυπηρετούν τους στόχους της διδασκαλίας. Τέλος οι μαθητές έδειξαν να χρησιμοποιούν σχετικά εύκολα την πειραματική διάταξη και να εξοικειώνονται σύντομα με τη χρήση του ΣΣΛΑ. Έτσι με δεδομένο ότι οι έννοιες έργο, ενέργεια, θερμότητα και θερμική ενέργεια αποτελούν βασικές γνώσεις για τη διδασκαλία της θερμοδυναμικής που ακολουθεί σε επόμενη τάξη, οι περισσότεροι μαθητές θα είναι έτοιμοι για γνωρίσουν τον μικρόκοσμο των αερίων και της θερμοδυναμικής μέσα από αντίστοιχες διδακτικές πρακτικές.

Συμπεράσματα

Η χρήση των ΣΣΛΑ σε κλασικά πειράματα φυσικής αποτελεί μια ξεχωριστή περίπτωση ένταξης νέων τεχνολογιών στη διδακτική πράξη, αφού η αξιοποίησή τους ξεφεύγει από τη φιλοσοφία των περισσότερων διδακτικών εργαλείων ΤΠΕ όπως π.χ. τα προγράμματα προσομοίωσης, οι εγκυκλοπαίδειες γνώσης, το διαδίκτυο κλπ. Τα συγκεκριμένα συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε πραγματικά πειράματα και έτσι αναδεικνύεται η καθοριστική συμβολή των ΤΠΕ στην εργαστηριακή πρακτική. Η ένταξη και αξιοποίηση των ΤΠΕ και της εργαστηριακής πρακτικής στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών καθώς και το ομαδοσυνεργατικό πνεύμα εργασίας στη σχολική τάξη, αναδεικνύουν νέες διδακτικές πρακτικές για την οικοδόμηση της γνώσης, οι οποίες θέτουν στο κέντρο το μαθητή που ερευνά και ανακαλύπτει και καθιστούν τον καθηγητή καθοδηγητή και εμπνευστή (Ματσαγγούρας, 2005). Άλλωστε σε ένα νέο σχολείο που έχει σκοπό να καλλιεργεί τις στάσεις και τις δεξιότητες των μαθητών και μεταξύ των άλλων να επενδύει και στον τεχνολογικό γραμματισμό τους (Χαλκιά, 2012), θα πρέπει να αναδεικνύονται όλες οι καινοτόμες προσπάθειες που λαμβάνουν υπόψη τους τα σύγχρονα διδακτικά εργαλεία και τις αρχές της παιδαγωγικής και διδακτικής επιστήμης.

Βιβλιογραφία

- Αμαξοτεχνική ΑΕΒΕ (1999). *Οδηγίες χρήσης και πειράματα MultiLog-Σύστημα Συγχρονικής Λήψης και Απεικόνισης*. Θεσσαλονίκη: Αμαξοτεχνική ΑΕΒΕ.
 Gronlund, N. (1985). *Measurement and evaluation in teaching, 5th edition*. New York: Macmillan and Company.

- Hewitt, P. (1997). *Οι έννοιες της Φυσικής τόμος Ι*. (Ε. Σηφάκη, Μτφρ.). Κρήτη: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- Κασσέτας, Α., (2000). *Το μακρόν Φυσική προ του βραχέως διδάσκω*. Αθήνα: Σαββάλας.
- Κασσωτάκης, Μ. (1981). *Η αξιολόγηση της επίδοσης των μαθητών*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Ματσαγγούρας, Η., (2000). *Ομαδοσυνεργατική διδασκαλία και μάθηση*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Ματσαγγούρας, Η., (2005). *Η σχολική τάξη*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Παπαμιχάλης, Κ., (2015). *Μέτρηση της ειδικής θερμότητας του αλουμινίου*. Ανακτήθηκε 04/03/2015 από <http://lekfe-anatol.att.sch.gr/> .
- Χαλκιά, Κ., (2012). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Πατάκης.