



Διδακτική αξιοποίηση κατασκευαστικών δεξιοτήτων των μαθητών για τη μελέτη φαινομένων μεταφοράς θερμότητας με χρήση νέων τεχνολογιών

Τσιχουρίδης Χ., Βαβουγιός Δ., Ιωαννίδης Γ.

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Παιδαγωγικό Τμήμα Ειδικής Αγωγής, hatsihour@uth.gr, dvanou@uth.gr

Πανεπιστήμιο Πατρών, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, gsioanni@upatras.gr

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να διερευνήσει κατά πόσον η ενεργός εμπλοκή μαθητών επαγγελματικών λυκείων στην κατασκευή μιας πειραματικής διάταξης, που χρησιμοποιεί αισθητήρες, σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό και ο πειραματισμός με αυτήν, βελτιώνει την κατανόησή τους σχετικά με τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, έναντι των μαθητών που απλώς πειραματίζονται με την ίδια διάταξη. Στην έρευνα συμμετείχαν 122 μαθητές του μηχανολογικού τομέα επαγγελματικού λυκείου, οι οποίοι διαχωρίστηκαν σε δύο ομάδες, την πειραματική ομάδα (64 μαθητές) και την ομάδα ελέγχου (58 μαθητές). Η πειραματική ομάδα μαθητών συμμετείχε στον σχεδιασμό και στην κατασκευή τμημάτων της πειραματικής διάταξης. Και οι δύο ομάδες χρησιμοποίησαν στην συνέχεια την διάταξη αυτή. Η συλλογή των δεδομένων έγινε μέσα από ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις. Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε, ότι οι μαθητές της πειραματικής ομάδας είχαν μεγαλύτερα ποσοστά σωστών ή μερικώς σωστών απαντήσεων από τους άλλους μαθητές στα ερωτήματα του ερωτηματολογίου που σχετίζονται άμεσα με τις κατασκευές τους, ενώ στα υπόλοιπα δεν διαπιστώθηκε αξιοσημείωτη διαφορά

Εισαγωγή

Οι ιδέες των παιδιών όσον αφορά τη θερμότητα, τη θερμοκρασία, και την μετάδοσης της θερμότητας αποτέλεσαν τα τελευταία τριάντα χρόνια αντικείμενο έρευνας της διδακτικής των φυσικών επιστημών στις περισσότερες χώρες του κόσμου. (Για μία ιδιαίτερα καλή συνοπτική εικόνα της βιβλιογραφίας στο σχετικό πεδίο δεξ: http://www.physics.iastate.edu/per/current/thermo_bibliography.pdf). Οι μαθητές κατασκευάζουν τις ιδέες τους σχετικά με τη θερμότητα και τη θερμοκρασία μέσω των εμπειριών της καθημερινής ζωής και την διαίσθησή τους και, σε πολλές περιπτώσεις, οι ιδέες αυτές δεν είναι συμβατές με τις επιστημονικές. Θα παρουσιάσουμε περιληπτικά ορισμένες από τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών όπως αυτές καταγράφονται στις εργασίες των ερευνητών. Ο Albert (1978) διαπίστωσε ότι μικρά παιδιά μιλούν για την θερμότητα με στατικούς όρους σαν να κατοικεί στα αντικείμενα. Λίγο μεγαλύτερα παιδιά συσχετίζουν την θερμότητα με τον εαυτό τους ενώ χρησιμοποιούν στην περιγραφή της χωρικούς και δυναμικούς όρους. Τα παιδιά θεωρούν τη θερμότητα ως «ουσία» η οποία έχει τη δυνατότητα να ρέει μέσα ή έξω από τα σώματα, κάπως σαν τον αέρα (Erickson, 1977, 1979). Μπορεί επίσης να ρέει από ένα σημείο σε ένα άλλο (Harris, 1981). Ο Erickson (1979, 1980) διαπίστωσε ότι τα παιδιά θεωρούσαν ότι η θερμότητα είναι μια ουσία που θα μπορούσε να προστεθεί σε ή να αφαιρεθεί από ένα αντικείμενο. Οι Engel Clough & Driver (1985) επισήμαναν ότι οι μαθητές θεωρούν σε αρκετές περιπτώσεις το «κρύο» ως υλική οντότητα αντίθετη/ διαφορετική από το «ζεστό», ενώ οι Watts & Gilbert (1985) εντόπισαν ότι χρησιμοποιούν επτά διακριτά πρότυπα για την έννοια της θερμότητας. Η διαφοροποίηση των

εννοιών θερμότητα και θερμοκρασία αποτέλεσε αντικείμενο ιδιαίτερης έρευνας και μια σειρά μελετών έχει δείξει ότι τα παιδιά και οι έφηβοι δεν διακρίνουν οποιαδήποτε διαφορά μεταξύ των δύο εννοιών (Arnold & Millar 1996, Castro & Pessoa de Carvalho 1995, Cowan & Sutcliffe 1991, Eylon & Linn 1988, Harrison, Grayson & Treagust 1999, Kesidou & Duit 1993, Maskill & Pedrosa de Jesus 1997, Rogan 1988, Shayer & Wylam 1981, Stavy & Berkowitz 1980, Wiser & Carey 1983). Ο Erickson (1979) βρήκε ότι οι μαθητές θεωρούν ότι η θερμοκρασία ενός σώματος συσχετίζεται με το μέγεθός του ή το ποσό του «υλικού» που υπάρχει σ' αυτό. Σύμφωνα με τον Erickson το κριτήριο που χρησιμοποιείται για να αποφασισθεί το τι είναι θερμοκρασία μπορεί κάλλιστα να είναι μια από τις πρωταρχικές αιτίες που προκαλεί την σύγχυση μεταξύ της θερμότητας και της θερμοκρασίας που φαίνεται να υπάρχει στα μυαλά πολλών παιδιών αλλά και μερικών ενηλίκων. Κατά συνέπεια (Erickson 1979) οι μαθητές θεωρούν ότι η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο του μίγματος θερμότητας και ψύχους μέσα σε ένα αντικείμενο και ότι όλα τα αντικείμενα περιέχουν ένα τέτοιο μίγμα. Πολλοί μαθητές θεωρούν την θερμοκρασία ως οντότητα με ποσοτικά χαρακτηριστικά (Choi, Kim, Paik, Lee. & Chung 2001, Engel-Clough & Driver 1986, Driver & Russell 1982, Stavy & Berkowitz 1980, Strauss & Stavy 1982, Tiberghien 1980, Erickson 1979, 1980). Για παράδειγμα προσθέτουν θερμοκρασίες (Choi, Kim, Paik, Lee. & Chung 2001, Jones, Carter & Rua 2000), όταν αντιμετωπίζουν ερωτήσεις του τύπου «.. τι θα συνέβαινε στη θερμοκρασία του νερού, εάν αναμειγνύαμε ποσότητες με διαφορετικές θερμοκρασίες;..». Σύμφωνα με το Wiser (1988) τα παιδιά αντιμετωπίζουν ιδιαίτερη δυσκολία να χειριστούν την θερμοκρασία ως εντατική μεταβλητή. Οι μαθητές θεωρούν επίσης τη θερμοκρασία ως ιδιότητα που χαρακτηρίζει τα διάφορα υλικά. Σύμφωνα με τους Choi et al. (2001) οι μαθητές δεν ήταν ικανοί να αντιληφθούν ότι διαφορετικά υλικά θα μπορούσαν να έχουν την ίδια θερμοκρασία υπό τους ίδιες συνθήκες και θεώρησαν ότι τα υλικά θα μπορούσαν να ταξινομηθούν ως: κρύο, ενδιάμεσο, ή ζεστό. Σύμφωνα με τους Harrison et al. (1999) μαθητές της 11^{ης} τάξης είχαν την αντίληψη ότι η θερμοκρασία είναι ένα όργανο μέτρησης της θερμότητας. Ο Niaz (2000) έδειξε ότι ακόμη και πρωτοετείς φοιτητές δεν θεωρούν ότι υπάρχει διαφορά μεταξύ της θερμότητας και της θερμοκρασίας και, παρά το γεγονός ότι έχουν απαντήσει σωστά σε ένα πλαίσιο που προσεγγίζει την κινητική θεωρία για την θερμότητα επιστρέφουν στην θεωρία του καλορικού υγρού, δηλ. την θεωρούν «ως κάποιο είδος υγρής ροής». Οι ιδέες των μαθητών για τη μεταφορά της θερμότητας φαίνεται ότι διαχωρίζονται σε μεταφορά «θερμού» και «ψυχρού» καθώς φαίνεται ότι θεωρούν ότι η θερμότητα μεταφέρεται από ένα θερμό αντικείμενο ενώ κρύος «αέρας» μεταφέρει από ένα ψυχρό σώμα και αντιλαμβάνονται έτσι τη θερμότητα ως μεταφερόμενο υλικό (Choi, Kim, Paik, Lee. & Chung 2001, Kim 2001, Shin 1999, Engel-Clough & Driver 1986, Erickson 1979). Ο Erickson (1979) μελέτησε τις ιδέες των μαθητών σχετικά με την αγωγή της θερμότητας σε μια μεταλλική ράβδο που θερμαίνεται σε μια από τις άκρες της. Διαπίστωσε ότι οι μαθητές θεωρούν ότι «...ολόκληρη η ράβδος ζεσταίνεται επειδή: Η θερμότητα αυξάνεται στο ένα άκρο έως ότου δεν μπορεί να κρατηθεί περισσότερο και έπειτα κινείται κατά μήκος της ράβδου....» Σύμφωνα με τον Erickson, η ιδέα αυτή επεξηγεί την υλική πτυχή της θερμότητας. Οι Watts & Gilbert (1985) μελέτησαν τις ιδέες των παιδιών σχετικά με την αγωγή της θερμότητας σε μια μεταλλική ράβδο που θερμαίνεται σε μια από τις άκρες της, και ψύχεται στην άλλη. Ανακάλυψαν ότι οι σπουδαστές θεωρούν ότι υπάρχουν «θερμά μόρια» που κινούνται κατά μήκος της ράβδου από το θερμό προς το ψυχρό άκρο της όπου ψύχονται και η κίνησή τους σταματά. Οι μαθητές πιστεύουν ότι η μέθοδος μεταφοράς διαφέρει σύμφωνα με τις υλικές ιδιότητες (Engel-Clough & Driver 1986, Erickson 1979) και αντιλαμβάνονται ότι η μεταφορά θερμότητας εξαρτάται από το συγκεκριμένο υλικό. Σύμφωνα με τους Seoung-Hey et al. (2007) αυτός είναι πιθανώς ο λόγος για τον οποίο δεν αντιλαμβάνονται εύκολα την έννοια της θερμικής ισορροπίας, και το γεγονός ότι η θερμοκρασία ενός υλικού διαφέρει σύμφωνα με την



ατμοσφαιρική θερμοκρασία.

Η Λογική της παρούσας μελέτης και η ερευνητική της υπόθεση

Οι μαθητές αφιερώνουν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου στο σχολικό εργαστήριο στο να κατορθώσουν να χειρισθούν ορθά και με ασφάλεια τις συσκευές της πειραματικής διάταξης ώστε να καταγράψουν τα δεδομένα που προκύπτουν από τις μετρήσεις χωρίς να εμπλέκονται (Τσίγκρης και Μιχαηλίδης 2002) στην υλοποίηση της πειραματικής διάταξης. Ελάχιστος χρόνος αφιερώνεται στην παρατήρηση των φαινομένων γεγονός που μειώνει σε ένα βαθμό την πραγματική εκπαιδευτική αξία της όλης εργαστηριακής άσκησης. Αρκετοί ερευνητές (Γρηγορίου & συνεργάτες 2007, Ολυμπίου & συνεργάτες 2007, Ο' Sullivan 2007), θεωρούν ότι η δυνατότητα διασύνδεσης συστήματος αισθητήρων και Η/Υ και η χρήση του στην λήψη των μετρήσεων θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά τη κατάσταση αυτή. Μειώνεται έτσι ο χρόνος που αφιερώνεται σε πρακτική εργασία ρουτίνας και αυξάνεται ο χρόνος αλληλεπίδρασης με τους άλλους μαθητές και τον διδάσκοντα. Παρόλα αυτά θα πρέπει να τονισθεί ότι η παρακολούθηση επιμέρους συσκευών μέτρησης και η καταγραφή των δεδομένων των μετρήσεων παίζει τον δικό της ρόλο στην απόκτηση των κατάλληλων πειραματικών δεξιοτήτων από τον μαθητή παρά το γεγονός ότι αποτελεί επίπονο και χρονοβόρο έργο. Τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας επομένως αποτελούν μια ιδανική πρώτη δοκιμή για την χρήση αισθητήρων σ' ένα περιβάλλον σχολικού εργαστηρίου όπου συμμετέχουν δραστήρια και οι ICT. Από τα προαναφερθέντα προκύπτει και η ερευνητική υπόθεση της παρούσας εργασίας η οποία μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: «Η ενεργός εμπλοκή των μαθητών στην κατασκευή μιας απλά και προσεκτικά σχεδιασμένης πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιεί αισθητήρες σε συνδυασμό με κατάλληλο λογισμικό και ο πειραματισμός με αυτήν, τους βοηθά να βελτιώσουν την κατανόηση τους για τις έννοιες που υπεισέρχονται στα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας έναντι των μαθητών που απλώς πειραματίζονται με την ίδια διάταξη».

Η έρευνα

Η παρούσα έρευνα διεξήχθη την χρονική περίοδο 2007-09. Στην έρευνα συμμετείχαν 122 μαθητές του μηχανολογικού τομέα επαγγελματικού λυκείου ηλικίας 16-20 ετών, οι οποίοι διαχωρίστηκαν σε δύο ομάδες, την πειραματική ομάδα (Π.Ο, 64 μαθητές) και την ομάδα ελέγχου (Ο.Ε, 58 μαθητές). Η Π.Ο συμμετείχε στην κατασκευή τμημάτων της πειραματικής διάταξης, την οποίαν χρησιμοποίησαν και οι δύο ομάδες. Η συλλογή των δεδομένων έγινε μέσα από ερωτηματολόγια και συνεντεύξεις. Το σύνολο των μαθητών μελέτησε φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας σε μεταλλικούς αγωγούς ευρείας χρήσης (χαλκός, ορείχαλκος, χάλυβας) με χρήση απλής πειραματικής διάταξης που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες τις έρευνας. Η πειραματική διάταξη ενισχύθηκε με την χρήση αισθητήρων διασυνδεδεμένων μέσω Data- Logger με Η/Υ του σχολικού εργαστηρίου. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε 5 διαδοχικές φάσεις τις επόμενες:

1η Φάση παρέμβασης (1 ώρα): Στους μαθητές και των ομάδων δόθηκε ερωτηματολόγιο με την βοήθεια του οποίου ανιχνεύθηκαν οι αρχικές ιδέες τους σχετικά με το φαινόμενο της θερμικής αγωγιμότητας. Ακολούθησε συζήτηση και προφορικές συνεντεύξεις για να διευκρινιστούν οι απόψεις τους για τη διαδικασία επρόκειτο να ακολουθηθεί

2η Φάση παρέμβασης (1 ώρα): Έγινε από τον διδάσκοντα επεξήγηση των μερών της πειραματικής διάταξης και ανάλυση της μεθόδου λειτουργίας των αισθητήρων, της λήψης καταγραφής και επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων και της ερμηνείας των αποτελεσμάτων και στις δύο ομάδες Επιπρόσθετα στους μαθητές της Π.Ο ζητήθηκε να προτείνουν τρόπους κατασκευής τμημάτων της πειραματικής διάταξης.

3η Φάση παρέμβασης (3 ώρες): Οι μαθητές της Π.Ο σε ομάδες των 4-5 μαθητών μετά από σύντομες οδηγίες που έλαβαν από τους ερευνητές αντενέργησαν κατασκευάζοντας τμήματα της πειραματικής διάταξης, χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του εργαστηρίου τους. Οι μαθητές και των δύο ομάδων χρησιμοποίησαν την πειραματική διάταξη δουλεύοντας σε ομάδες των 4-5 ατόμων. Πειραματίστηκαν με διαφορετικές μεταλλικές ράβδους, κατέγραψαν τα δεδομένα, επεξεργάστηκαν τις μετρήσεις και παρουσίασαν τα αποτελέσματα τους

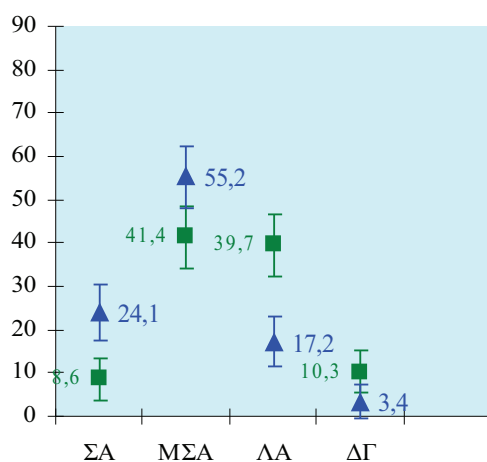
4η Φάση παρέμβασης (1 ώρα): Ακολούθησε ανοιχτή συζήτηση και καταγραφή των ιδεών τους σχετικά με την συνολική διαδικασία που ακολούθησαν καθώς και την αξιολόγηση της. Οι ερευνητές πραγματοποίησαν προφορικές συνεντεύξεις με κάθε ένα από τους μαθητές.

5η Φάση παρέμβασης (1 ώρα): Μια εβδομάδα αργότερα ζητήθηκε από τους ίδιους μαθητές να συμπληρώσουν και πάλι το αρχικό ερωτηματολόγιο για να ανιχνευθούν τυχόν αλλαγές ιδεών των μαθητών αναφορικά με τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας..

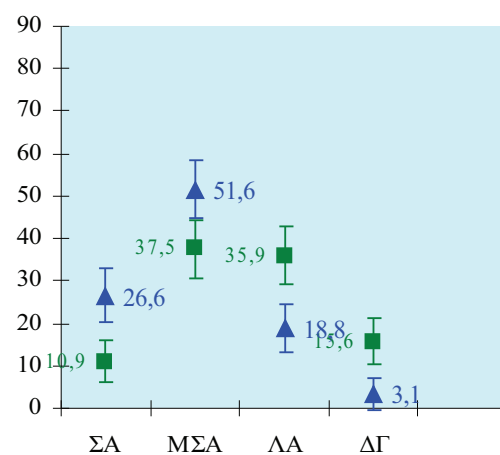
Αποτελέσματα και σχόλια

Τα στοιχεία που παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα , απεικονίζουν το ποσοστό των μαθητών των οποίων η απάντηση εμπίπτει σε κάθε μια από τις 4 κατηγορίες αξιολόγησης που είναι αντίστοιχα: Σωστή απάντηση – ΣΑ, Μερικώς σωστή απάντηση – ΜΣΑ, Λανθασμένη απάντηση – ΛΑ, Δεν γνωρίζω – ΔΓ. Για κάθε πειραματικό σημείο δίνονται ράβδοι σφάλματος που αντιστοιχούν στις τυπικές αποκλίσεις για τα συνολικά πειραματικά σφάλματα (τα στατιστικά και τα συστηματικά) και υπολογίζονται για κάθε πειραματικό σημείο ξεχωριστά μετά από προσεκτική εξέταση για πιθανές μεροληψίες / προκαταλήψεις. Η διαφορά στο ποσοστό μεταξύ των πράσινων τετραγώνων και των μπλε τριγώνων αντιπροσωπεύει την επίδραση της διδασκαλίας.

Διάγραμμα 1: Τι είναι η θερμότητα ;



Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Ομάδα ελέγχου

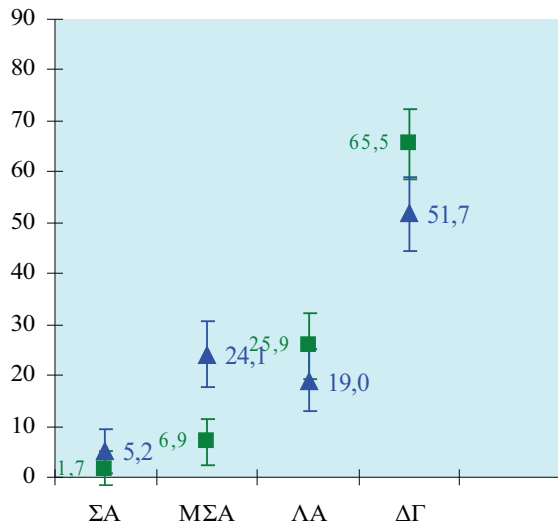


Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Πειραματική Ομάδα

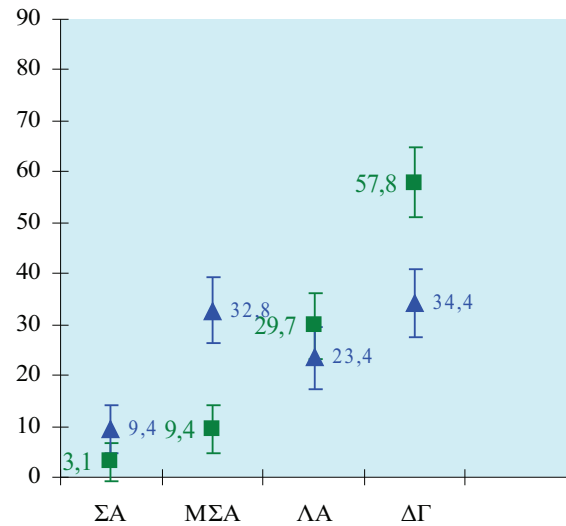


Συνολικά το ποσοστό των μαθητών της Π.Ο που είτε απάντησαν σωστά είτε απάντησαν μερικώς σωστά ήταν 48.4%(±7.0%) κατά το pre-test ενώ στο post-test αυξήθηκε σημαντικά στο 78.1%(±6.0%). Τα ποσοστά της Ο.Ε ήταν 50.0% (±7.3%) και 79.3%(±6.1%) αντίστοιχα. Μεταξύ των δυο ομάδων δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη διαφορά.

Διάγραμμα 2: Τι σημαίνει ροή θερμότητας;



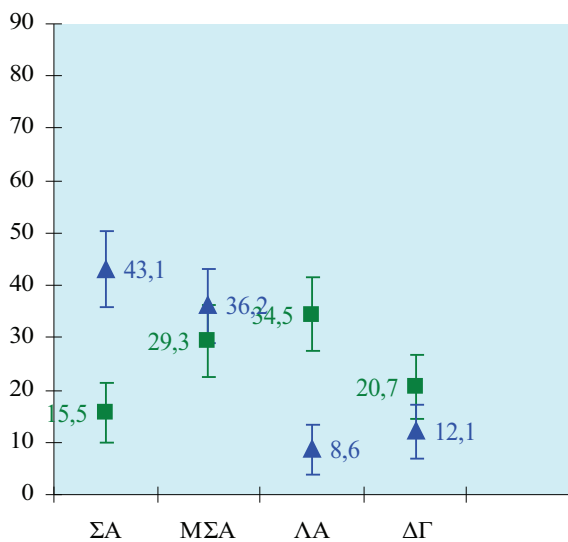
Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Ομάδα ελέγχου



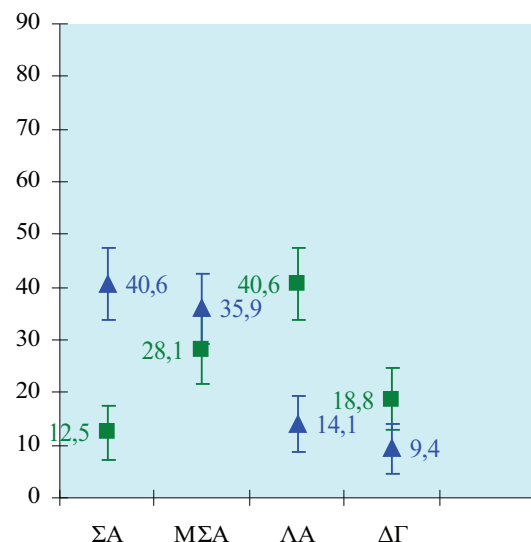
Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Πειραματική Ομάδα

Συνολικά το ποσοστό των μαθητών της Π.Ο που είτε απάντησαν σωστά είτε απάντησαν μερικώς σωστά ήταν 12.5%(±5.1%) κατά το pre-test ενώ στο post-test αυξήθηκε στο 42.2% (±6.9%). Τα ποσοστά της Ο.Ε ήταν 8.6% (±4.8%) και 29.3%(±6.7%) αντίστοιχα. Μεταξύ των δυο ομάδων παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη διαφορά.

Διάγραμμα 3: Τι είναι η θερμοκρασία;



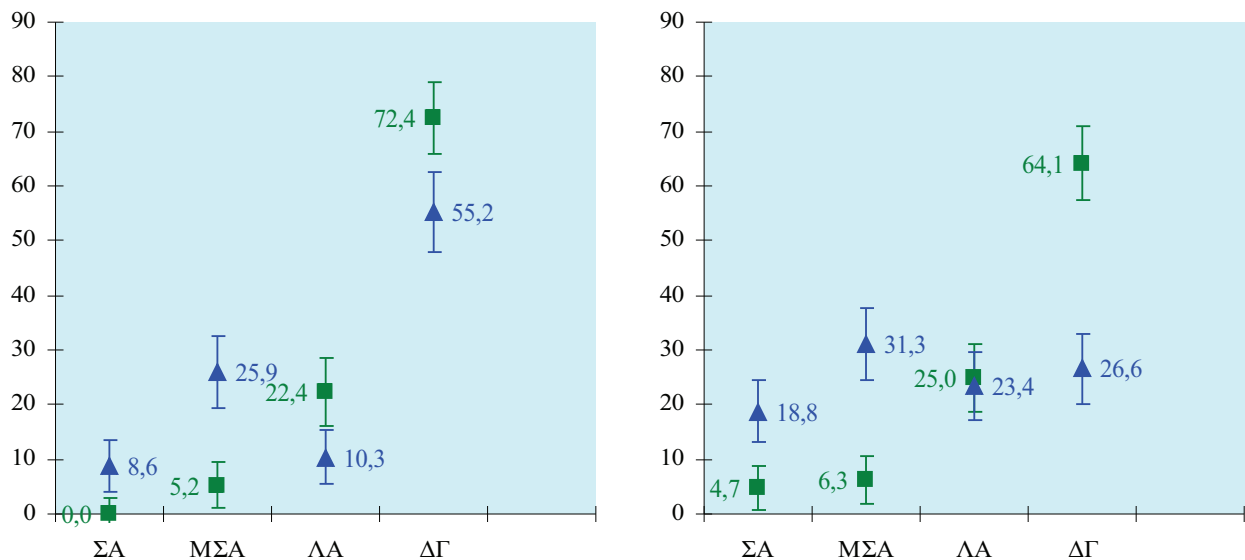
Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Ομάδα ελέγχου



Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Πειραματική Ομάδα

Συνολικά το ποσοστό των μαθητών της Π.Ο που είτε απάντησαν σωστά είτε απάντησαν μερικώς σωστά ήταν 40.6%(±6.9%) κατά το pre-test ενώ στο post-test αυξήθηκε στο 76.6% ((±6.1%) Τα ποσοστά της Ο.Ε ήταν 44.8% (±7.2%) και 79.3%(±6.1%) αντίστοιχα. Μεταξύ των δυο ομάδων δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη διαφορά.

Εικόνα 4: Ποια η δομή του μετάλλου;



Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Ομάδα ελέγχου

Πράσινα τετράγωνα : Pre-test, Μπλε τρίγωνα : Post-test
Πειραματική Ομάδα

Συνολικά το ποσοστό των μαθητών της Π.Ο που είτε απάντησαν σωστά είτε απάντησαν μερικώς σωστά ήταν 11.9%(±4.9%) κατά το pre-test ενώ στο post-test αυξήθηκε στο 50.0% (±7.0%) Τα ποσοστά της Ο.Ε ήταν 5.2% (±4.2%) και 34.5%(±7.0%). αντίστοιχα. Μεταξύ των δυο ομάδων παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη διαφορά.

Συμπεράσματα

Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών, πριν την πειραματική - διδακτική παρέμβαση, έδειξε ότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των μαθητών είχε συγκεχυμένες απόψεις για τις έννοιες της θερμότητας και της θερμοκρασίας, την δομή των μετάλλων, όπως επίσης και τα (απλά) φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας. Οι ερευνητές διαπίστωσαν, ότι οι μαθητές προσέγγιζαν τα φαινόμενα λεκτικά και επιφανειακά, γεγονός που απέκλειε οποιαδήποτε βαθύτερη επιστημονική κατανόηση. Μια άλλη γενική διαπίστωση ήταν, ότι οι μαθητές, αν τους δοθεί η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τις πρακτικές δεξιότητές τους στη κατασκευή τμημάτων απλών πειραματικών διατάξεων, ωθούνται σε δημιουργική παραγωγική σκέψη. Συνεργάζονται αρμονικά μεταξύ τους, βρίσκουν πρότυπες κατασκευαστικές λύσεις και αναπτύσσουν και βελτιώνουν τόσο τις δεξιότητές τους, όσο και την ικανότητα τους να διατυπώνουν και να ελέγχουν υποθετικούς συλλογισμούς. Οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά και με ενδιαφέρον στην πειραματική διαδικασία, έχοντας την αίσθηση ότι, ως κατασκευαστές δημιουργοί, ελέγχουν αποτελεσματικότερα τη πορεία των πειραματικών διεργασιών έναντι των άλλων μαθητών που απλώς την χρησιμοποιούν. Η κατάσταση αυτή τους κάνει να αναπτύσσουν έντονη ερευνητική διάθεση και πνεύμα ομαδικής συνεργασίας, όπως και πληθώρα γόνιμων αποριών γεγονός που οδηγεί στην επίτευξη των διδακτικών στόχων της πειραματικής δραστηριότητας, αφού



ενεργοποιεί την έμφυτη δημιουργικότητα τους, μετατρέποντάς τους από παθητικούς παρατηρητές σε «ενεργούς ερευνητές». Επιπρόσθετα, η χρήση των αισθητήρων και του σχετικού λογισμικού ενισχύουν την εκπαιδευτική αποτελεσματικότητα του σχολικού εργαστηρίου, απαλλάσσοντας τους μαθητές από το άγχος της σωστής λήψης και καταγραφής των πειραματικών δεδομένων, δίνοντάς τους την δυνατότητα να επικεντρώσουν την προσοχή τους στο φαινόμενο, όπως αυτό εξελίσσεται χρονικά. Η κατάσταση αυτή αποτυπώθηκε και στις απαντήσεις των μαθητών. Η σύγκριση μεταξύ των δύο ομάδων έδειξε ότι οι μαθητές της Π.Ο είχαν μεγαλύτερα ποσοστά σωστών ή μερικώς σωστών απαντήσεων από τους μαθητές της Ο.Ε στα ερωτήματα που σχετίζονται άμεσα με τις κατασκευές τους. Στα υπόλοιπα ερωτήματα δεν διαπιστώθηκε αξιοσημείωτη διαφορά. Πιο συγκεκριμένα οι μαθητές της Π.Ο πέτυχαν ποσοστά σωστών απαντήσεων μεγαλύτερα: α) κατά 12.9% στο ερώτημα «τι σημαίνει ροή θερμότητας», και β) κατά 15.5% στο ερώτημα «ποια η δομή των μετάλλων». Στα άλλα ερωτήματα υπήρξε μικρή μη αξιοσημείωτη διαφοροποίηση της τάξης του $\pm 3\%$. Από τις συνεντεύξεις των μαθητών της Π.Ο μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας προέκυψε ότι λόγοι για αυτή την διαφοροποίηση σύμφωνα με τους μαθητές ήταν: α) «...η κοπή και επεξεργασία των μεταλλικών ράβδων και των μονωτικών τοιχωμάτων...», που διαφοροποίησε τις απόψεις τους για την δομή των μετάλλων και β) «...η διάνοιξη των θέσεων των αισθητήρων στις μεταλλικές ράβδους...» σε συγκεκριμένες θέσεις που οι ίδιοι υπέδειξαν και υλοποίησαν που διαφοροποίησε τις απόψεις τους σχετικά την ροή της θερμότητας. Βασικό μειονέκτημα για την εφαρμογή της αντίστοιχης διαδικασίας στο επίπεδο του γενικού σχολείου αποτελεί η έλλειψη ειδικού εργαστηριακού εξοπλισμού και χώρου που απαιτείται για την κατασκευή των τμημάτων των πειραματικών διατάξεων όπως και η έλλειψη του κατάλληλου βοηθητικού προσωπικού – εργαστηριακών βοηθών για την ασφαλή τεχνική υποστήριξη των μαθητών. Συνοψίζοντας αναφέρουμε ότι όλες οι ερωτήσεις που τέθηκαν στους μαθητές είναι γενικές ερωτήσεις κατανόησης των Φυσικών εννοιών, και μόνον εμμέσως συνδέονται με το περιεχόμενο της διδασκαλίας. Τονίζεται ότι όλες οι παρατηρήσεις που έγιναν υπερβαίνουν τα πειραματικά σφάλματα μέτρησης. Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι το κύριο συμπέρασμα της παρούσας μελέτης είναι η ύπαρξη ιδιαίτερης βελτίωσης στην κατανόηση των φυσικών εννοιών από τους μαθητές, οι οποίες σχετίζονται με τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, η οποία κερδήθηκε μέσα από την εμπλοκή τους στην κατασκευή τμημάτων της πειραματικής διάταξης και την χρήση των σύγχρονων τρόπων συλλογής, μεταφοράς, επεξεργασίας και παρουσίασης των πειραματικών δεδομένων.

Βιβλιογραφία

Γρηγορίου, Β, Οικονομίδης, Σ. & Καλκάνης, Γ. (2007). «Η Θερμική Ισορροπία στο Ολοκληρωμένο Τεχνολογικά και Μεθοδολογικά Εκπαιδευτικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών. Πρακτικά του 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, Τεύχος Γ, 1242-11249.

Ολυμπίου, Γ., Ζαχαρία, Ζ & Παπαευριπίδου, Μ. (2007). Διερεύνηση της εννοιολογικής κατανόησης προπτυχιακών φοιτητών για τη θερμότητα και τη θερμοκρασία μέσα από εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα πειραματισμού. Πρακτικά του 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, Τεύχος Γ, 1059-1068.

Τσίγκρης, Μ. & Μιχαηλίδης, Π. (2002). Μετρήσεις με Ιδιοκατασκευασμένες Πειραματικές Διατάξεις στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Πρακτικά του 3^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη "Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση", Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ρέθυμνο, 442-447.

Albert, E.(1978). Development of the concept of heat in children. Science Education, 62(3), 89-399.

- Arnold, M. & Millar, R. (1996). Learning the scientific ‘story’: A case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. *Science Education*, 80, 249–281.
- Castro, R.S. & Pessoa de Carvalho, A.M. (1995). The historic approach in teaching: Analysis of an experience. *Science and Education* 4, 87–97.
- Choi, H., Kim, E., Paik, S., Lee, K.. & Chung, W. (2001). Investigating elementary students’ understanding levels and alternative conceptions of heat and temperature. *Elementary Science Education*, 20, 123–138.
- Cowan, R. & Sutcliffe, N.B. (1991). What children’s temperature predictions reveal of their understanding of temperature. *British Journal of Educational Psychology*, 61, 300-309.
- Driver, R. & Russell, T. (1982). An Investigation of the Ideas of Heat and Temperature and Change of State of Children Aged Between 8 and 14 Years. University of Leeds.
- Engel-Clough, E. & Driver, R. (1985). Secondary students’ conceptions of the conduction of heat: bringing together personal and scientific views. *Physics Education*, 20, 176-82 ; (1986). A study of consistency in the use of student’s conceptual frameworks across different task contexts. *Science Education*, 70, 473–496.
- Erickson, G.L. (1977). Children’s Conceptions of Heat and Temperature Phenomena. Paper presented as part of a symposium on “Patterns of students beliefs-Implications for teaching” at the annual C.S.S.E. convention, Fredericton. ; (1979). Children’s conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63, 221–230 ; (1980) Children’s viewpoints of heat: A second look. *Science Education*, 64, 323–336.
- Eylon, B. & Linn, M.C. (1988). Learning and instruction: An examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, 58, 251–301.
- Harris, W.F. (1981). Heat in undergraduate education, or isn’t it time we abandoned the theory of caloric? *International Journal of Mechanical Engineering Education*, vol. 9, 317-321.
- Harrison, A.G., Grayson D.J. & Treagust, D.F. (1999). Investigating a grade 11 student’s evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 55–87.
- Jones, M.G., Carter, G. & Rua, M.J. (2000). Exploring the development of conceptual ecologies: Communities of concepts related to convection and heat. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 139-159.
- Kesidou, S. & Duit, R. (1993). Students’ conceptions of the second law of thermodynamics — An interpretative study. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 85–106.
- Kim, E. (2001). Investigation elementary students’ understanding levels and alternative conceptions of heat and temperature. Unpublished master’s thesis, Korea National University of Education, Chung-buk.
- Maskill, R. & Pedrosa de Jesus, H. (1997). Pupils’ questions, alternative Frameworks and the design of science teaching. *International Journal of Science Education*, 19, 781– 799.
- Niaz, M. (2000). A Framework to understand students’ differentiation between heat energy and temperature and its educational implication. *Interchange*, 31, (2000), pp. 1–20
- O’ Sullivan, C. (2007). Teaching Heat Transfer to Engineering Students – a course of computer-based hands –on activities. *International Conference on Engineering Education – ICEE*, 1-5
- Rogan, J.M. (1988). Development of a conceptual framework of heat. *Science Education*, 72, 103–113.
- Seoung-Hey, P., Boo-Kyung, C. & Young-Mi, G. (2007). Korean 4- to 11-Year-Old Student Conceptions of Heat and Temperature, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 44, no. 2, 284–302
- Shayer, M. & Wylam, H. (1981). The development of the concepts of heat and temperature in 10-13 year olds. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 419–434.



Stavy, R. & Berkowitz, I. (1980). Cognitive conflict as a basis for teaching quantitative aspects of the concept of temperature. *Science Education* 64, 679–692.

Strauss & Stavy, R. (1982). U-shaped behavioural growth: Implications for theories of development. In: *Review of child development research*, Hartup W. W. (ed.), Chicago: University of Chicago Press.

Tiberghien, A. (1980). Modes and conditions of learning, an example: the learning of some aspects of the concept of heat In Archenhold W. F., Driver R., Orton A., and Wood-Robinson C. (eds.), *Cognitive Development Research in Science and Mathematics: Proceedings of an International Seminar*, University of Leeds, 288-309.

Watts, D.M. & Gilbert, J.K. (1985) Appraising the understanding of science concepts: "Heat", Department of Educational Studies, University of Surrey, Guilford.

Wiser, M. (1988). The differentiation of heat and temperature: History of science and novice-expert shift. In Strauss S. (Ed.), *Ontogeny, Phylogeny, and the Historical Development*, Ablex, Norwood NJ, 28–48.