

Η Διδασκαλία της Θερμικής Ισορροπίας με τη Χρήση Εικονικού Εργαστηρίου^(*)

Αντωνιάδου Π.⁽¹⁾, Λεύκος Ι.⁽²⁾, Χαζηκρανιώτης Ε.⁽³⁾, Ψύλλος Δ.⁽⁴⁾

(1,2,4) Π.Τ.Δ.Ε. – Α.Π.Θ., (3) Τμήμα Φυσικής – Α.Π.Θ., Ελλάδα

(1) vivian@eled.auth.gr, (2) lefkos@skiathos.physics.auth.gr,

(3) evris@skiathos.physics.auth.gr, (4) psillos@skiathos.physics.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη χρήση του πολυμεσικού εργαστηριακού λογισμικού Σ.Ε.Π. με στόχο την κατανόηση της θερμικής ισορροπίας από μαθητές Β γυμνασίου. Στο πρώτο μέρος της εργασίας παρουσιάζεται η διδακτική πρόταση η οποία υλοποιείται με τη χρήση του παραπάνω λογισμικού και ειδικά σχεδιασμένων φύλλων εργασίας προκειμένου να διαγνωστούν αλλά και να τροποποιηθούν οι απόψεις των μαθητών για τα θερμικά φαινόμενα και ιδιαίτερα αυτές που αφορούν τη θερμική ισορροπία. Στο δεύτερο μέρος εργασία αναλύονται οι εννοιολογικές πορείες δύο μαθητών πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη διδασκαλία οι οποίες δείχνουν τη μετάβασή τους από εναλλακτικά, προς επιστημονικά αποδεκτά νοητικά μοντέλα της θερμικής ισορροπίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

εικονικό εργαστήριο, θερμότητα, διδακτική παρέμβαση, μοντέλα σκέψης, μαθησιακές πορείες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τις έρευνες προκύπτει ότι οι μαθητές έχουν εναλλακτικές αντιλήψεις για τα θερμικά φαινόμενα και τις σχετικές έννοιες συναντούν δε δυσκολίες στην κατανόηση των θεμάτων που σχετίζονται με αυτόν τον τομέα των Φ.Ε (Tiberghien, 1983, Hewson & Hamlin, 1984). Παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές θεωρούν τη θερμότητα ως μια "ουσία" η οποία ρέει από το ένα μέρος στο άλλο συγχέουν δε ορισμένες έννοιες μεταξύ τους, ιδιαίτερα τη θερμότητα με τη θερμοκρασία. Η μη διαφοροποίηση αυτών των εννοιών έχει σαν επιπλέον αποτέλεσμα την ελλιπή κατανόηση των καταστάσεων θερμικής ισορροπίας. Οι μαθητές δεν πιστεύουν ότι τα αντικείμενα που βρίσκονται σε θερμική επαφή τείνουν να αποκτήσουν την ίδια θερμοκρασία. Ακόμα οι μαθητές δεν λαμβάνουν υπόψη στις εξηγήσεις τους και τη συμμετοχή στη θερμική αλληλεπίδραση, του περιβάλλοντα χώρου, ειδικά του αέρα (Tiberghien, 1985). Πρόσφατα προτάθηκαν τρία νοητικά μοντέλα που συνδυάζουν της αντιλήψεις των μαθητών για τη θερμότητα και τη θερμοκρασία, με τις κατηγορίες εξήγησης που χειρίζονται οι μαθητές για τα θερμικά φαινόμενα, και με τον τρόπο που αντιλαμβάνονται τη θερμική ισορροπία και την τελική κατάσταση των σωμάτων (Σκουμιός & Χατζηνικήτα, 2000). Ως προς τη θερμική ισορροπία ειδικότερα, στο 1^ο μοντέλο οι τελικές θερμοκρασίες των σωμάτων που αλληλεπιδρούν εξαρτώνται (για τους μαθητές) από τα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Κατά τη διάρκεια δε, που εξελίσσεται ένα φαινόμενο, οι θερμοκρασίες δεν φαίνεται να διατηρούνται (αθροιστικά) στο σύστημα. Στο 2^ο μοντέλο η θερμική ισορροπία θεωρείται μια πιθανή αλλά όχι και αναγκαία κατάσταση, καθώς και οι τελικές θερμοκρασίες που εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των σωμάτων. Στα συστήματα σωμάτων που αλληλεπιδρούν, οι θερμοκρασίες (αθροιστικά) θεωρούνται ότι παραμένουν αμετάβλητες. Στο 3^ο μοντέλο, που πλησιάζει το επιστημονικά αποδεκτό, η θερμική ισορροπία εμφανίζεται ως αναγκαία κατάληξη ενός συστήματος σωμάτων τα οποία αλληλεπιδρούν, ανεξάρτητα από τη φύση τους.

Από εκπαιδευτικούς, συγγραφείς βιβλίων και ερευνητές, θεωρείται ότι η κατανόηση της θερμικής ισορροπίας είναι θεμελιώδης για τους μαθητές, ενώ επιπλέον χρειάζεται ειδική διδακτική αντιμετώπιση, με στόχο την κατανόηση των διαφορετικών, ως προς τις αρχικές αντιλήψεις, στοιχείων του επιστημονικού μοντέλου (Kesidou & Duit, 1993). Εκτιμούμε ότι η συνήθης αντιμετώπιση της θερμικής ισορροπίας, ενός θέματος με πλούσια φαινομενολογία για τους μαθητές, χρειάζεται εργαστηριακού τύπου προσέγγιση και εμπλοκή των μαθητών σε πολλά και διαφορετικά έργα τα οποία να αναδείχνουν πολλαπλές θερμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ σωμάτων και περιβάλλοντος. Αυτές οι αλληλεπιδράσεις περιορίζονται στο κλασσικό σχολικό εργαστήριο από την αδυναμία χειρισμού της θερμικής κατάστασης του περιβάλλοντος και του εύλογου χειρισμού της θερμικών ανταλλαγών μεταξύ των υπό μελέτη σωμάτων. Όπως έχει επισημανθεί αλλού (Ψύλλος & Μπισδικιάν, 2002), το εικονικό εργαστήριο παρέχει δυνατότητες παραμετροποίησης των πειραματικών διατάξεων, ώστε να επιτυγχάνεται μια πολύπλευρη προσέγγιση των φαινομένων, αλλά και δυνατότητες χρήσης γραφικών παραστάσεων πραγματικού χρόνου με στόχο την οικοδόμηση δεσμών μεταξύ της θεωρίας και των φαινομένων.

Στο πλαίσιο αυτό η βασική επιδίωξη της παρούσας εργασίας είναι η άρθρωση ευέλικτης διδακτικής πρότασης, η οποία βασίζεται σε εικονικό εργαστήριο και στοχεύει στην κατανόηση από τους μαθητές, των διαφορετικών ως προς τις αρχικές τους αντιλήψεις, στοιχείων της επιστημονικής γνώσης. Επιπλέον αντικείμενο της εργασίας, είναι η διερεύνηση των πολλαπλών αλληλεπιδράσεων και πορειών των μαθητών, κατά την εφαρμογή της διδασκαλίας της θερμικής ισορροπίας με το εικονικό εργαστήριο (Αντωνιάδου, 2002).

Σημαντικό εργαλείο για την διδακτική πρόταση που περιγράφουμε, αποτέλεσε το «εικονικό εργαστήριο θερμότητας» του λογισμικού ΣΕΠ (Ψύλλος κ.α., 2000), καθώς και ειδικά Φύλλα Εργασίας, με τα οποία οι μαθητές καθοδηγούνται στην εργαστηριακή τους εργασία. Ειδικά στα φαινόμενα θερμικής ισορροπίας, η ρύθμιση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος που είναι δυνατή στο εικονικό εργαστήριο, θεωρείται κρίσιμη, διότι ο μαθητής μπορεί μέσα από αυτή να αντιληφθεί ξεκάθαρα τον ρόλο του περιβάλλοντος. Άλλο χαρακτηριστικό είναι η ρύθμιση των ιδιοτήτων που έχουν τα δοχεία. Μπορούμε δηλαδή να επιλέξουμε κατά πόσο αυτά θα ακτινοβολούν ή όχι προς το περιβάλλον, δημιουργώντας έτσι διαφορετικά είδη συστημάτων σωμάτων, που να είναι κλειστά ή ανοιχτά. Με τον τρόπο αυτό σχεδιάζουμε δραστηριότητες που έχουν μια κλιμάκωση δυσκολίας – ανάλογα με το πλήθος των παραμέτρων του συστήματος, οδηγώντας τους μαθητές στο να περάσουν σταδιακά από απλούστερα σε συνθετότερα προβλήματα και τέλος σε καταστάσεις κοντά στην πολύπλοκη πραγματικότητα. Δυνατότητες όπως η επιτάχυνση του χρόνου εξέλιξης των πειραμάτων και η ευκολία αλλαγής των δεδομένων (μάζα, θερμοκρασία, υλικό) του προβλήματος, αποτελούν επίσης εργαλεία του λογισμικού, που βοηθούν ακόμη περισσότερο την εργαστηριακή διδασκαλία.

ΤΟ ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΜΑΘΗΣΙΑΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Α. Το εικονικό εργαστήριο θερμότητας

Το εικονικό εργαστήριο θερμότητας, αποτελεί μέρος του πολυμεσικού λογισμικού Σ.Ε.Π., που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε στα πλαίσια του έργου «Ναυσικά» της «Οδύσσειας» (Λεύκος, 2000). Συνοπτικά, η διάταξη στην οθόνη απεικονίζει τον χώρο ενός πραγματικού εργαστηρίου, όπου διακρίνονται ο άγκυρος εργασίας, ο νυτήρας κ.τ.λ. Όλα τα αντικείμενα που είναι απαραίτητα για τη σύνθεση και την εκτέλεση πειραμάτων διατίθενται μέσω μιας μπάρας εργαλείων.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό του είναι η πρόσβαση στις πληροφορίες μέσω πολλαπλών αναπαραστάσεων επί της οθόνης, με απλό, αλλά αποδεκτό για τους μαθητές επίπεδο αισθητηριακής και χειριστικής αληθοφάνειας και σχέσης με τη πραγματικότητα. Ιδιαίτερο βάρος στο εικονικό εργαστήριο αποδίδεται στη δημιουργία και την ερμηνεία από τον μαθητή των γραφικών παραστάσεων θερμότητας και θερμοκρασίας, που σχηματίζονται ταυτόχρονα και σε άμεση σύνδεση με την εξέλιξη των φαινομένων, με σκοπό τη ταυτόχρονη μελέτη της μεταβολής των μεγεθών. Η σύγκριση των παραστάσεων και οι προβληματισμοί που προκύπτουν, μπορούν να

οδηγήσουν στον εντοπισμό της σχέσης μεταξύ των εννοιών θερμότητας και θερμοκρασίας. Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό είναι η μεγάλη ελευθερία χειρισμών του μαθητή, που αφορά τόσο τη σύνθεση της πειραματικής διάταξης, όσο και την επιλογή των παραμέτρων ή αρχικών συνθηκών μιας πειραματικής διάταξης αλλά και τον έλεγχο της πορείας της εξέλιξης (Laurillard, 1988). Ο βαθμός ελευθερίας, είναι επιλέξιμος από τον καθηγητή, που μπορεί έτσι να προσαρμόσει το λογισμικό ανάλογα με τη διδακτική προσέγγιση που επιθυμεί να ακολουθήσει.



Εικόνα 1: Το εικονικό εργαστήριο Θερμότητας του Σ.Ε.Π.

B. Η διδακτική διαδικασία

Το εικονικό εργαστήριο αποτελεί τη βάση της διδακτικής πρότασης για τη διδασκαλία της θερμικής ισορροπίας που έγινε στην αρχή της σχολικής χρονιάς και προηγήθηκε της διδασκαλίας του κεφαλαίου της θερμότητας. Οι φάσεις της διδασκαλίας αναλύονται στη συνέχεια.

Η εξοικείωση με το εικονικό εργαστήριο θερμότητας προηγείται της κύριας διδασκαλίας στην περίπτωση που οι μαθητές, όπως στο δείγμα μας, δεν είναι εξοικειωμένοι με το συγκεκριμένο λογισμικό. Θεωρούμε πως αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση η εκτέλεση συγκεκριμένων δραστηριοτήτων, με στόχους κυρίως χειριστικούς.

Η διδασκαλία της θερμικής ισορροπίας έχει εργαστηριακό χαρακτήρα και διαρκεί 2 διδακτικές ώρες. Βασίζεται στη χρήση ενός ειδικού και απαραίτητου για την πλοήγηση στο ανοικτό περιβάλλον Φύλλου Εργασίας, το οποίο εκτελείται από τους μαθητές σε διμελείς ομάδες. Το Φ.Ε. περιλαμβάνει περισσότερα του ενός πειράματα κατά την διάρκεια των οποίων κατ' αρχήν οι μαθητές καθοδηγούνται στη σύνθεση της εικονικής πειραματικής διάταξης στην οθόνη του υπολογιστή. Κατόπιν, με βάση τις υποδείξεις του Φ.Ε., εκφράζουν υποθέσεις σχετικά με την εξέλιξη των φαινομένων και τη μεταβολή στα μεγέθη, εκτελούν το πείραμα και παρακολουθούν την εικονική εξέλιξη του φαινομένου και την ταυτόχρονη κατασκευή της γραφικής παράστασης. Στη συνέχεια, τροποποιούν τις τιμές των παραμέτρων του πειράματος και επαναλαμβάνουν την έκφραση υποθέσεων, εκτελώντας το πείραμα με τα νέα στοιχεία, με σκοπό τη παραμετρική διερεύνηση του πεδίου. Σε όλες τις φάσεις, μπορούν να συγκρίνουν μεταξύ τους τις γραφικές παραστάσεις που ελήφθησαν ή και με τις αρχικές στους απόψεις. Η δραστηριότητα αυτή οδηγεί και σε ποιοτικές και ποσοτικές εκτιμήσεις, κατά τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των μεγεθών και στην διατύπωση συμπερασμάτων (Ψύλλος κ.α, 2000, Λεύκος, 2001).

Η πρόταση που κρατήσαμε ως την πλέον σημαντική στο σχεδιασμό των Φύλλων Εργασίας για την αντιμετώπιση των εναλλακτικών απόψεων των μαθητών σε θέματα θερμικής ισορροπίας, είναι ότι στο 1^ο νοητικό μοντέλο η συνολική θερμοκρασία του συστήματος δεν διατηρείται, ενώ στο 2^ο νοητικό μοντέλο η συνολική θερμοκρασία του συστήματος διατηρείται &

Χατζηνικήτα, 2000). Η πρόταση επιβεβαιώθηκε και από τα ερευνητικά μας αποτελέσματα, όπως παρουσιάζεται στο επόμενο μέρος.

Τα ζητήματα που αντιμετωπίσαν οι μαθητές στο φύλλο εργασίας, μπορούν να συνοψιστούν στο εξής: Τι συμβαίνει με τις θερμοκρασίες δύο σωμάτων όταν έρχονται σε επαφή και έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, ενώ κατά περίπτωση, είτε αλληλεπιδρούν είτε δεν αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον. Το Φ.Ε. χωρίζεται σε δυο δραστηριότητες - και επιμέρους βήματα - οι οποίες έχουν ως στόχο να οδηγήσουν τους μαθητές στην αντιμετώπιση των ιδεών τους σε θέματα θερμικής ισορροπίας. Έτσι έχουμε:

Δραστηριότητα 1 – αποτελείται από 3 βήματα. Οι μαθητές μελετούν με τη βοήθεια του εικονικού εργαστηρίου το φαινόμενο όπου ένα σώμα αφήνεται ελεύθερο να αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον. Παράλληλα με τη χρήση του εικονικού περιβάλλοντος, στην εισαγωγική αυτή δραστηριότητα, οι μαθητές έχουν στα θρανία τους ένα κουτάκι με κρύα πορτοκαλάδα και μια κούπα ζεστό τσάι. Έτσι επιχειρείται η εγκυροποίηση, σε ποιοτικό επίπεδο, των φαινομένων που μελετούν στο εικονικό περιβάλλον, καθώς μπορούν να επικυρώσουν - αλλά, μέσω της αφής - την επίδραση του περιβάλλοντος χώρου στα σώματα που έχουν διαφορετική θερμοκρασία από αυτό.

Δραστηριότητα 2 – αποτελείται από 4 βήματα. Αποτελεί τον πυρήνα της παρέμβασης, εισάγοντας το φαινόμενο της θερμικής ισορροπίας σε ένα σύστημα σωμάτων που είτε αλληλεπιδρά είτε όχι με το περιβάλλον, δυνατότητα που παρέχεται εύχρηστα από το ΣΕΠ. Αντικείμενο της μελέτης είναι η τελική θερμοκρασία του συστήματος (κατάσταση θερμικής ισορροπίας) μέσω μιας σειράς πειραμάτων με εύκολη παραμετρική μεταβολή τόσο της μάζας όσο και του είδους των σωμάτων που αλληλεπιδρούν θερμικά. Οι δραστηριότητες του Φ.Ε. έχουν τέτοια δομή ώστε η μετάβαση στο φαινόμενο της θερμικής ισορροπίας να γίνεται σταδιακά και ευέλικτα από τους μαθητές με διαφορετικά μοντέλα, και με στόχο την βαθμιαία πορεία από απλές σε πιο σύνθετες έννοιες και φαινόμενα. Ειδικά στο σχεδιασμό της κύριας δραστηριότητας, τα χαρακτηριστικά του λογισμικού είχαν ιδιαίτερη σημασία, καθώς μας επέτρεψαν να παραμετροποιήσουμε τόσο τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος όσο και τις θερμικές ιδιότητες των δοχείων, που είναι αδύνατο ή πολύ δύσκολο να επιτευχθεί με κλασσικά εργαστηριακά μέσα.

Έτσι, οι μαθητές μελετούν τις θερμικές αλληλεπιδράσεις:

- (α) ενός κλειστού συστήματος σωμάτων που αποτελείται από
 - i. δυο ίδια υλικά με ίδια μάζα και διαφορετική θερμοκρασία (βήμα 1)
 - ii. δυο ίδια υλικά με διαφορετική μάζα και θερμοκρασία (βήμα 2)
 - iii. δυο διαφορετικά υλικά με διαφορετική μάζα και θερμοκρασία (βήμα 3)
- (β) ενός ανοιχτού συστήματος - αλληλεπίδραση με το περιβάλλον (βήμα 4).

Σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία της προώθησης και αλλαγής των ιδεών, παίζει ο καθηγητής μια και η χρήση λογισμικών αυτού του τύπου με την πολύ ανοιχτή δομή τους, απαιτούν εξωτερική καθοδήγηση των μαθητών (Μικρόπουλος, 2000). Ο καθηγητής, εκμεταλλευόμενος τα ερεθίσματα που παρέχει το λογισμικό και παρακολουθώντας τις ενέργειες των μαθητών καθώς εκτελούν το Φ.Ε., διαλέγεται μαζί τους, προσπαθώντας να τους ωθήσει να αλλάξουν τις απόψεις τους, κατευθύνοντάς τις προς το επιστημονικό μοντέλο.

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η διδακτική πρόταση εφαρμόστηκε σε σχολείο, το οποίο διέθετε αίθουσα πληροφορικής σε ολόκληρες τάξεις και σε ολιγομελείς ομάδες μαθητών της Β Γυμνασίου. Στη παρούσα εργασία επικεντρωνόμαστε στις ολιγομελείς ομάδες ώστε να μελετηθούν σε βάθος οι αλληλεπιδράσεις τους με το λογισμικό.

Στην πρώτη φάση 60 μαθητές Β' Γυμνασίου συμμετείχαν στη εξοικείωση με το εικονικό εργαστήριο. Στη συνέχεια και πριν τη διδασκαλία διακινήθηκε αρχικό ερωτηματολόγιο (pre-test) με 7 ερωτήσεις που στόχο έχει τον έλεγχο των ιδεών των μαθητών σε φαινόμενα θερμικής ισορροπίας. Συνοπτικά, λόγω περιορισμένου χώρου, αναφέρεται ότι οι πολλαπλές επιλογές απαντήσεων στις ερωτήσεις είναι κατάλληλα διαμορφωμένες ώστε το περιεχόμενό τους να

αντικατοπτρίζει τα 3 νοητικά μοντέλα (Αντωνιάδου 2002, Σκουμιός κ.α., 2000). Βέβαια όπως φάνηκε και στην ανάλυση υπάρχουν μαθητές που οι ιδέες τους δεν είναι δυνατό να ταξινομηθούν στα 3 μοντέλα, αλλά θα μπορούσαν να «ανήκουν» σε ένα ενδιάμεσο μοντέλο. Παρόλα αυτά τα μοντέλα αποτελούν μια καλή τράπεζα δεδομένων, παρέχοντας τη δυνατότητα σύγκρισης, των συγκεκριμένων ιδεών των παιδιών.

Από την επεξεργασία των απαντήσεων των 60 μαθητών, επιλέχθηκαν 6 στους οποίους εμφανίζονται πιο ξεκάθαρα τα 3 μοντέλα. Με ατομική ημι-δομημένη συνέντευξη καθενός από αυτούς, εγκυροποιήθηκε η ταξινόμησή τους στα μοντέλα, ζητώντας τους να σχολιάσουν κάποιες από τις απαντήσεις τους στο αρχικό ερωτηματολόγιο. Συνοπτικά αναφέρουμε ότι στα αρχικά ερωτηματολόγια ανιχνεύθηκαν παρόμοιες ιδέες σε θέματα θερμικής ισορροπίας, με αυτές που προτείνονται στα μοντέλα 1, 2 και 3 (Αντωνιάδου, 2002).

Στη συνέχεια οι μαθητές οργανώνονται σε τρεις διμελείς ομάδες, μια ομάδα έχει μαθητές από το 1^ο μοντέλο, μια από το 2^ο και μια μεικτή, όπου ένας μαθητής ανήκει στο 1^ο και ένας στο 2^ο μοντέλο. Η όλη εργασία κάθε ομάδας κατά τη διδασκαλία μαγνητοσκοπήθηκε, με σκοπό να γίνει ανάλυση των βημάτων που ακολούθησε κάθε μαθητής σε συγκεκριμένα σημεία, οποία αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα βήματα του Φ.Ε. Αυτά αποτέλεσαν τις μετρήσεις μας για την παρακολούθηση των μεταβολών που εμφανίζουν οι μαθητές στις απόψεις τους και της εξέλιξής τους.

Δυο εβδομάδες μετά από την διδασκαλία ζητήθηκε από τους 6 μαθητές της έρευνας, να απαντήσουν στις ερωτήσεις ενός post –test. Αυτό περιείχε έργα παρόμοια με αυτά του pre-test με στόχο των έλεγχου της διατήρησης των απόψεων που διαμόρφωσαν κατά τη διδασκαλία.

Στη παρούσα εργασία μας εστιάζουμε σε επιλεγμένα σημεία της πορείας δύο μαθητών της Νίκης και του Φοίβου, που από τα προκαταρκτικά τεστ κατατάσσονται στο 1^ο και το 2^ο μοντέλο αντίστοιχα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Α. Η περίπτωση της Νίκης

Η μαθήτριά αυτή, είχε υποστηρίξει στο pre – test, ότι ένα σώμα με διαφορετική θερμοκρασία από το περιβάλλον, δεν είναι ανάγκη να αποκτήσει την ίδια με αυτό θερμοκρασία (1^ο μοντέλο). Στη συνέντευξη είπε:

Καθ: αν η θερμοκρασία έξω γίνει 100C ποια νομίζεις ότι θα είναι η θερμοκρασία του δοχείου;

Ν: επειδή υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του δοχείου 800C και έξω 100C δεν πιστεύω να κατέβει 100C αλλά ίσως η τελική να γίνει 200C και μετά από μέρες 110C με 120C

Καθ: αυτή η θερμοκρασία θα είναι η τελική;

Ν: μάλλον

Από τη συνέντευξη της Νίκης φαίνεται ότι η αναφορά στη «τελική θερμοκρασία» είναι ασαφής (θα γίνει 20^ο και μετά από μέρες 11^ο). Μετά από μέρες φαίνεται πιο πιθανή μια θερμική κατάσταση κοντά σε αυτή του περιβάλλοντος χωρίς όμως οι θερμοκρασίες συστήματος-περιβάλλοντος να εξισωθούν, και χωρίς να θεωρείται αυτή η κατάσταση τελική, τουλάχιστον με αναγκαιότητα.

Στη διάρκεια της διδασκαλίας, η Νίκη που συνεργάζεται με την Ελεάνθη, εκτελώντας την δραστηριότητα 1, διαπιστώνει ότι σε παρόμοια περίπτωση, το σώμα θα αποκτήσει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όπως και ότι στη συνέχεια θα παραμείνει σταθερή. Εισάγεται έτσι σταδιακά στην έννοια της θερμικής ισορροπίας (χωρίς σαφή αναφορά στον όρο), με την κατανόηση του ρόλου της διαφοράς θερμοκρασίας των σωμάτων που αλληλεπιδρούν.

Δραστηριότητα 1 (3 βήματα)

Βήμα 1 Οι μαθητές μελετούν τι συμβαίνει στη θερμοκρασία του νερού ενός δοχείου, όταν η θερμοκρασία του είναι ίδια με αυτή του δωματίου.

Καθ: όταν το δοχείο είχε την ίδια θερμοκρασία με το δωμάτιο τι παρατηρούμε;

Ν: ότι δεν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του δοχείου

Βήμα 2 Οι μαθητές μελετούν τι συμβαίνει στη θερμοκρασία του νερού ενός δοχείου, όταν η θερμοκρασία του είναι **διαφορετική** από αυτή του δωματίου.

Καθ: τώρα τι συμβαίνει όταν δωμάτιο και δοχείο έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες;

Ε: το δοχείο μεταβάλλει τη θερμοκρασία του και γίνεται όση και του δωματίου

Καθ: θυμάσαι πώς απάντησες στο ερωτηματολόγιο;

Ν: κι εγώ νόμιζα ότι δεν θα έφτανε στην ίδια θερμοκρασία αλλά 21... πάντως όχι 20°

Είναι αξιοσημείωτη η σύνδεση των δεδομένων του πειράματος με τις αρχικές διαπιστώσεις της μαθήτριας όπως αυτές διατυπώθηκαν στις απαντήσεις του pre-test. Με τη βοήθεια του εργαστηρίου διαπιστώνει την εξίσωση της θερμοκρασίας του δοχείου με αυτή του περιβάλλοντος.

Βήμα 3 Οι μαθητές διερευνούν την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, αξιοποιώντας τη δυνατότητα του λογισμικού, ένα δοχείο να μπορεί να ακτινοβολεί/απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον του ή όχι. Συγκεκριμένα, έχουν δυο δοχεία με νερό ίδιας μάζας και θερμοκρασίας, όπου το ένα μόνο ακτινοβολεί/απορροφά, ενώ το άλλο όχι.

Καθ: παρατηρήστε τις δύο θερμοκρασίες.

Ε: η μια θερμοκρασία παραμένει σταθερή

Ν: η άλλη μεταβάλλεται

Καθ: γιατί;

Ν: μήπως επειδή δεν ακτινοβολεί...

Καθ: η αρχική θερμοκρασία των δοχείων ποια είναι;

Ν: 40°

Καθ: η τελική θερμοκρασία των δοχείων ποια θα είναι;

Ν: του ενός θα είναι 40ο και του άλλου 20°

Καθ: καταλαβαίνεις τι σημαίνει αρχική και τελική θερμοκρασία;

Ν: ναι, όταν ξεκινήσαμε το πείραμα είναι η αρχική και τελική η θερμοκρασία (αυτή) που θα φτάσει το νερό (μετά) και δεν θα μεταβάλλεται πια.

Δραστηριότητα 2 (4 βήματα)

Όπως και στη δραστηριότητα 1, αναγγέλλεται από την αρχή ποιο είναι το υπό εξέταση φαινόμενο που λαμβάνει χώρα. Ως επιθυμητό αποτέλεσμα των εφαρμογών που ακολουθούν, είναι η δυνατότητα κατανόησης και ερμηνείας του φαινομένου της θερμικής ισορροπίας, στη γενικότητά του, ενός συστήματος δύο σωμάτων που δεν έχουν κατ' ανάγκη τις ίδιες μάζες ή σύσταση (π.χ. νερό- σίδηρος), έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες και είναι το ένα βυθισμένο μέσα στο άλλο, σε δύο περιπτώσεις: (α) Το σύστημα να είναι κλειστό (έλλειψη αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον) (βήμα 1,2,3), (β) Το σύστημα να είναι ανοιχτό (αλληλεπίδραση με το περιβάλλον) (βήμα 4).

Βήμα 1 Σε αυτό το βήμα οι μαθητές μελετούν τη περίπτωση της επαφής δύο δοχείων με νερό ίδιας μάζας, των οποίων: (1) Οι θερμοκρασίες νερού είναι διαφορετικές μεταξύ τους. (2) Το ένα δοχείο είναι βυθισμένο μέσα στο άλλο. (3) Το εξωτερικό δοχείο **δεν ακτινοβολεί** προς το περιβάλλον (μονωμένο).

Η Νίκη μαζί με τη Ελεάνθη, έκαναν για το βήμα αυτό την εξής πρόβλεψη:

Ν: εφόσον το εξωτερικό δεν ακτινοβολεί θα παραμείνει 25°. Το μέσα δοχείο....

Ε: εφόσον η θερμοκρασία του εξωτερικού δοχείου παραμένει σταθερή και η θερμοκρασία του εσωτερικού θα παραμείνει σταθερή

Ν: αφού το εσωτερικό ακτινοβολεί θα επηρεαστεί από του εξωτερικού

Ε: εννοείς δηλαδή ότι θα αποκτήσει το μικρό τη θερμοκρασία του μεγάλου δοχείου;

Ν: θα χουν και τα δύο ή 25° ή 40°.

Ε: 25° θα 'χουν

N: κι εγώ έτσι νομίζω γιατί όπως όταν είναι στο περιβάλλον αποκτά τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος έτσι κι εδώ...

Είναι φανερό ότι με τον όρο «ακτινοβολεί», η μαθήτρια υπονοεί αλληλεπιδρά θερμικά. Η Νίκη αντιμετωπίζει το πρόβλημα των δοχείων όπου το ένα είναι βυθισμένο μέσα στο άλλο, πιστεύοντας ότι το εξωτερικό δοχείο «θα δώσει τη θερμοκρασία του» στο εσωτερικό (1^ο μοντέλο). Κατά την εκτέλεση του πειράματος, παρατηρεί ότι τα δοχεία αλληλοεπηρεάζονται, η άποψή της αλλάζει και πιστεύει τώρα ότι τελικά θα αποκτήσουν μια μέση τιμή των θερμοκρασιών και τα δυο δοχεία.

Καθ: (εκτέλεση του πειράματος) πώς πάνε οι προβλέψεις; τι παρατηρείτε;

N: ότι το εξωτερικό ανεβαίνει και το εσωτερικό κατεβαίνει. Τώρα να δούμε που θα φτάσουν, μήπως θα φτάσουν σε μια μέση θερμοκρασία; (1)

Η παρατήρηση της εξέλιξης του πειράματος είναι καθοριστική για την αλλαγή των αρχικών απόψεων της Νίκης καθώς με την εκκίνηση του πειράματος φάνηκε αμέσως η αυξομειώση των αντίστοιχων θερμοκρασιών, οπότε ανατρέπεται η εκδοχή της σταθερής θερμοκρασίας του ενός δοχείου και της μεταβολής της θερμοκρασίας μόνο του άλλου (σημείο 1). Για να οδηγηθεί η μαθήτρια στην περιγραφή του φαινομένου θα πρέπει να συμπεριλάβει και όρους αλληλεπίδρασης. Στο σημείο αυτής της γνωστικής αλλαγής σπουδαίο ρόλο παίζει η δυνατότητα πολλαπλής αναπαράστασης των φαινομένων, δηλαδή η εμφάνιση - η συγχρονική εξέλιξη - των γραφικών παραστάσεων και η αποκωδικοποίηση των δεδομένων της, έτσι όπως την πραγματοποιεί παρακάτω η μαθήτρια:

Καθ: γιατί οι δύο γραμμές γίνονται μία;

N: γιατί στο τέλος φτάνουν σε μια θερμοκρασία, σε θερμική ισορροπία και η θερμοκρασία αυτή σταματάει να μεταβάλλεται πια οπότε οι δύο γραμμές γίνονται μια. (2)

Καθ: να σας ρωτήσω κάτι; Αν ερχόντουσαν σε επαφή και είχαν ίδιες θερμοκρασίες θα παρατηρούσαμε αλλαγή στις θερμοκρασίες;

EN: όχι

Καθ: Τώρα αναγκαστικά τι συνέβη που είχαν διαφορετικές θερμοκρασίες;

N: επηρεάστηκαν το ένα με το άλλο και έφτασαν σε μια μέση θερμοκρασία, το άλλο ανέβηκε το άλλο κατέβηκε και.... (3)

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, έχουμε για τη Νίκη: Η μαθήτρια αρχίζει να περιγράφει το φαινόμενο με όρους αλληλεπίδρασης (σημείο 3), ενώ αυτό δεν συνέβαινε πριν την εφαρμογή – εκτέλεση του πειράματος, όπως επιβεβαιώνει και η αρχική της πρόβλεψη (στην εισαγωγή του βήματος 1 της παρούσας δραστηριότητας). Γίνεται αντιληπτή η έννοια της τελικής θερμοκρασίας του συστήματος (μη μεταβολή της θερμοκρασίας) και η κατάσταση αυτή ορίζεται από την ίδια τη μαθήτρια, ως κατάσταση «θερμικής ισορροπίας» (σημείο 2). Μετά από το βήμα αυτό, θεωρούμε ότι το 1^ο μοντέλο ανατρέπεται μιας και η τελική θερμοκρασία του συστήματος των σωμάτων είναι μια ενδιάμεση τιμή θερμοκρασίας.

Η εκτέλεση των βημάτων 2 και 3, δίνει επιπλέον πληροφορίες για την πορεία της σκέψης της μαθήτριας σε μια προσπάθεια σύνδεσης του φαινομένου που περιγράφει η αντίστοιχη ερώτηση του pre-test, με το πείραμα στο εργαστήριο ώστε να κατανοήσει τι πραγματικά συμβαίνει.

Βήμα 2 Σε αυτό το βήμα, οι μαθητές μελετούν τη θερμική αλληλεπίδραση σε κλειστό σύστημα σωμάτων: δύο δοχεία που το ένα είναι βυθισμένο μέσα στο άλλο και περιέχουν διαφορετικές ποσότητες νερού.

Καθ: λέτε να φτάσουν στον ίδιο μέσο όρο θερμοκρασίας όπως και πριν;

E-N: (σιωπή)

Καθ: και στις δυο περιπτώσεις (στο βήμα αυτό και το προηγούμενο) η τελική θερμοκρασία είναι ίδια και στα δύο δοχεία;

E-N: ναι

Καθ: τώρα η κοινή τιμή είναι διαφορετική από τη προηγούμενη;

N: η διαφορά είναι η διπλάσια μάζα του εξωτερικού δοχείου

Καθ: μεταξύ τους είναι ίδιες;

E: ναι έχουν θερμική ισορροπία

Βήμα 3 Στο βήμα αυτό, οι μαθητές παρατηρούν τη θερμική αλληλεπίδραση μεταξύ του νερού και του σιδήρου που είναι βυθισμένος μέσα στο δοχείο με το νερό. Πρόκειται για ένα κλειστό σύστημα σωμάτων με διαφορετικές θερμοκρασίες (πείραμα αντίστοιχο με αυτό του pre-test).

N: ...ο σίδηρος θα πάρει τη θερμοκρασία...όχι.. ο σίδηρος θα έρθει σε μια μέση θερμοκρασία με το νερό ... θα φτάσουν κάποτε σε μια θερμική ισορροπία

Βήμα 4 Σε αυτό το βήμα οι μαθητές αντιμετωπίζουν την περίπτωση δύο δοχείων των οποίων: (1) Οι θερμοκρασίες είναι διαφορετικές μεταξύ τους, (2) Το ένα δοχείο είναι βυθισμένο μέσα στο άλλο, (3) Το εξωτερικό δοχείο **ακτινοβολεί** προς το περιβάλλον.

Οι μαθητές καλούνται να προβλέψουν ποια θα είναι η τελική θερμοκρασία του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα η Ελεάνθη μαζί με την Νίκη πρότειναν τα εξής:

E: μήπως το εξωτερικό δοχείο αφού πια ακτινοβολεί, θα επηρεαστεί από τη θερμοκρασία του εσωτερικού, αλλά και του περιβάλλοντος.

E-N: σκεφτήκαμε ότι θα φτάσουν σε μια μέση μεταξύ τους τα δοχεία και μετά θα φτάσουν στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Φαίνεται να πιστεύουν ότι οι θερμοκρασίες των δύο δοχείων του ανοιχτού συστήματος σωμάτων, πρώτα θα έρθουν σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους, αποκτώντας μια ενδιάμεση θερμοκρασία και μετά (σταδιακά) θα αποκτήσουν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Είναι σημαντικό βήμα ότι η Νίκη, στην πρόβλεψη, εκφράζει του συλλογισμούς της με όρους αλληλεπίδρασης όχι μόνο μεταξύ των σωμάτων του συστήματος αλλά επιπλέον και του συστήματος των σωμάτων με το περιβάλλον. Αυτή η διαπίστωση απουσίαζε από τον αρχικό τρόπο σκέψης πριν την εφαρμογή του Φύλλου Εργασίας, ακριβώς γιατί πίστευε ότι το ένα σώμα θα κρατήσει σταθερή τη θερμοκρασία του ενώ το δεύτερο σώμα θα αποκτήσει τη θερμοκρασία του πρώτου (1^ο μοντέλο)

Η άποψη της είναι ισχυρή, δεδομένου ότι δέχεται πόσο σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος στη διαμόρφωση της τελικής θερμοκρασίας του συστήματος, όπως φαίνεται το παρακάτω σχόλιο της μαθήτριας:

N: ... δηλαδή φτάνουν σε μια μέση θερμοκρασία και μετά είτε την αυξάνουν είτε τη μειώνουν ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Άρα, σχετικά με τη θερμοκρασία ενός ανοιχτού συστήματος σωμάτων, η προσέγγιση της Νίκης εξελίσσεται σημαντικά, θεωρώντας ότι τα δύο σώματα μεταβάλλουν από κοινού τη θερμοκρασία τους ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αν και σε δύο βήματα.

B. Η περίπτωση του Φοίβου – Κύρια σημεία

Ο Φοίβος είχε εκφράσει αρχικά την άποψη ότι ένα σώμα με χαμηλότερη θερμοκρασία από του περιβάλλοντος, είναι δυνατό να φτάσει σε αυτή, υπό ορισμένες προϋποθέσεις π.χ. αν η θερμοκρασία του ήταν **πολύ** χαμηλότερη από του περιβάλλοντος.

Καθ: υπάρχει περίπτωση το ποτήρι να φτάσει τους 20°C όσο και θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή τους -2 °C όταν αυτή είναι η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος;

Φ: στους -2 °C μπορεί να φτάσει αλλά όχι στους 20°C

Καθ: δηλαδή υπάρχει περίπτωση οι 80°C ή 70°C του νερού να γίνουν -20°C αλλά δεν υπάρχει περίπτωση να γίνουν 20°C;

Φ: όχι δεν υπάρχει περίπτωση.

Ο Φοίβος στην άποψή του είναι κατηγορηματικός. Για το Φοίβο, το περιβάλλον έχει την «ιδιότητα» να κάνει τα θερμά σώματα να κρυώνουν και τα κρύα να ζεσταίνονται, ωστόσο, ο ρόλος της διαφοράς των θερμοκρασιών δεν του είναι ορατός, παρά μόνο μετά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων του Φ.Ε., όπως φαίνεται και παρακάτω στα αποσπάσματα:

Δραστηριότητα 1 - Βήμα 2

Στο βήμα αυτό, ο Φοίβος επέλεξε η θερμοκρασία του δοχείου να είναι -10°C , ενώ η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι 20°C .

Με την εκκίνηση του πειράματος, το δοχείο αλλάζει θερμοκρασία, ο μαθητής παρατηρεί τη μεταβολή της και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι πρέπει να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των σωμάτων. Όταν όμως ζητάμε μια πρόβλεψη για τη θερμοκρασία στην οποία το δοχείο θα μπορούσε να φτάσει τότε:

Καθ: Αφήστε το πείραμα να εξελιχθεί. Το δοχείο σας έχει θερμοκρασία -10°C . Τι φαντάζεστε ότι θα γίνει; (πρόβλεψη)

Φ: θα φτάσει τους 0°C Κελσίου

Στο σημείο αυτό ο μαθητής δείχνει μεγάλη συνέπεια σε σχέση με την αρχική του άποψη που διατύπωσε στο pre-test ότι, όταν το σώμα που βρίσκεται εκτεθειμένο στο περιβάλλον έχει πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον τότε δεν μπορεί να φτάσει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, όπως απάντησε και στο αντίστοιχο φαινόμενο του pre-test. Η απάντηση του, τον κρατάει σταθερά μακριά από το 3^ο νοητικό μοντέλο. Ωστόσο πολύ γρήγορα, και παρατηρώντας την εξέλιξη του πειράματος στο εικονικό εργαστήριο, ο μαθητής άρχισε να «υποψιάζεται» την τελική θερμοκρασία του δοχείου

Καθ: μέχρι που θα φτάσει; (πρόβλεψη) γιατί;

Φ: μέχρι 20° , γιατί 20° είναι και του δωματίου. Αποκτά τη θερμοκρασία του δωματίου.

Δραστηριότητα 1 - Βήμα 3

Στο βήμα αυτό, ο Φοίβος μαζί με την Ιωάννα που αποτελούν την ομάδα εργασίας, κάνει εκείνους τους απαραίτητους συλλογισμούς, οι οποίοι θα τον οδηγήσουν πιθανόν στην αλλαγή της αρχικής του άποψης για τη τελική θερμοκρασία ενός σώματος το οποίο έχει διαφορετική θερμοκρασία από το περιβάλλον:

Καθ: Για πείτε μου σε ποια θερμοκρασία θα σταματήσει το δοχείο που ακτινοβολεί και γιατί;

Φ: θα πάει στους 20° γιατί θα πάρει τη θερμοκρασία του δωματίου.

Καθ: και αυτή θα είναι τελική τιμή;

Φ: αν δεν αλλάξει η θερμοκρασία του δωματίου, ναι

Καθ: Μπράβο, όταν το δοχείο δεν ακτινοβολεί τι συμβαίνει;

Ι: παραμένει σταθερό, δεν παίρνει δηλαδή τη θερμοκρασία του δωματίου

Από τις απαντήσεις του ο Φοίβος φαίνεται να μπορεί να περιγράψει τη θερμική αλληλεπίδραση ενός σώματος με το περιβάλλον. Στο βήμα 3 της δραστηριότητας 1, ο Φοίβος είχε δυο δοχεία, το ένα θερμικά μονωμένο (δεν ακτινοβολεί) και το άλλο όχι. Η πρόβλεψή του και η αιτιολόγηση της θερμικής αλληλεπίδρασης των δοχείων με το περιβάλλον είναι επαρκής. Όμως, όταν στο ίδιο πρόβλημα, τα δυο δοχεία μπαίνουν το ένα μέσα στο άλλο (δραστηριότητα 2, βήμα 1), η αλληλεπίδραση των δοχείων μεταξύ τους για το Φοίβο δεν είναι προφανής.

Δραστηριότητα 2 - Βήμα 1

Η ομάδα του Φοίβου, έκανε την πρόβλεψη ότι:

Φ: το εξωτερικό δοχείο που δεν ακτινοβολεί θα παραμείνει στους 10°C ενώ η θερμοκρασία του εσωτερικού θα γίνει ίδια με τη θερμοκρασία του δωματίου δηλαδή 20°C .

Κατά την εξέλιξη του πειράματος ο Φοίβος (όπως και η Ιωάννα) διαπιστώνει την μεταβολή της θερμοκρασίας του εξωτερικού δοχείου, το οποίο σύμφωνα με την πρόβλεψή του θα διατηρούσε σταθερή τη θερμοκρασία του, όπως και τη μεταβολή του εσωτερικού δοχείου το οποίο τείνει να πλησιάζει τη θερμοκρασία του εξωτερικού δοχείου. Οι αντιδράσεις του μαθητή είναι άμεσες όταν τα δύο δοχεία αποκτούν την ίδια μέση θερμοκρασία, όπως φαίνεται παρακάτω:

Καθ: ας πάμε στα συμπεράσματα, Τι παρατηρείς να συμβαίνει όταν δύο δοχεία με διαφορετικές θερμοκρασίες με το ένα βυθισμένο στο άλλο και το εξωτερικό να μην ακτινοβολεί;

Φ: οι θερμοκρασίες τους γίνονται ίδιες.

Έχει μεγάλη σημασία για την εφαρμογή να μπορούν τα παιδιά να κατανοούν πότε το σύστημα των σωμάτων φτάνει σε κατάσταση ισορροπίας την οποία στη διάρκεια της εφαρμογής τη χαρακτηρίζουμε ως «τελική κατάσταση των σωμάτων».

Καθ: οι τελικές θερμοκρασίες είναι ίδιες;

Φ-Ι: ναι

Καθ: σε τι φτάσαμε δηλαδή;

Φ-Ι: σε θερμική ισορροπία

Καθ: Τώρα που έφτασαν σε αυτή τη τιμή (τελική) και αν το αφήσουμε για μια μέρα πιστεύεις ότι θα αλλάξει κι άλλο η θερμοκρασία των δοχείων;

Φ: εγώ πιστεύω ότι δεν θα αλλάξει, επειδή το εξωτερικό που δεν ακτινοβολεί περικλείει το εσωτερικό η θερμοκρασία η τελική δεν θα αλλάξει

Καθ: Τι βλέπετε; τι λάθος κάνατε ;

Φ: δεν υπολογίσαμε ότι θα μεταφέρει την ακτινοβολία του το εσωτερικό και θα αλλάζουν οι θερμοκρασίες και των δύο

Όπως και στην περίπτωση της Νίκης, η ομάδα του Φοίβου με την λέξη «ακτινοβολία» αποδίδει τη ροή θερμότητας. Με την έννοια αυτή, ο Φοίβος φαίνεται να υπονοεί, ότι η τελική θερμοκρασία θα επιτευχθεί επειδή θα υπάρξει μεταφορά θερμότητας από το εσωτερικό δοχείο στο εξωτερικό. Παρότι η ερμηνεία είναι επιστημονικά αποδεκτή, και ο μαθητής φαίνεται να έχει περάσει στο 3^ο μοντέλο σκέψης, ο ρόλος της διαφοράς θερμοκρασίας στις θερμικές αλληλεπιδράσεις δεν είναι σαφής στο μοντέλο σκέψης του Φοίβου. Ο Φοίβος αντιμετωπίζει με επιτυχία το επόμενο βήμα της δραστηριότητας (δύο δοχεία με διαφορετική ποσότητα νερού), ωστόσο αποτυγχάνει στην πρόβλεψή του, όταν το εσωτερικό δοχείο αντικατασταθεί με ένα κομμάτι σίδηρο (βήμα 3, δραστηριότητα 2)

Δραστηριότητα 2 - Βήμα 3

Στο πείραμα ο Φοίβος επέλεξε δοχείο με νερό 10°C, και μέσα του βυθισμένο ένα κομμάτι σίδηρο 15°C. Στην προσπάθειά του να προβλέψει ποια θα είναι η θερμοκρασία του σιδήρου, ο Φοίβος, φαίνεται να επιστρέφει στο 2^ο μοντέλο σκέψης προβλέποντας ότι η τελική θερμοκρασία του συστήματος νερό- σιδήρου θα είναι 25° C (δηλαδή το άθροισμα των δυο θερμοκρασιών):

Καθ: τι θερμοκρασία περιμένετε να γίνει;

Φ: εγώ λέω 25°

Όταν ο Φοίβος παρατηρεί τι συμβαίνει μετά την εκτέλεση του πειράματος, σύμφωνα με το οποίο νερό και σίδηρος φτάνουν σε μια κοινή θερμοκρασία που ασφαλώς δεν είναι το άθροισμα των αρχικών τους θερμοκρασιών, δεν αργεί να συνδέσει αυτά τα οποία στα προηγούμενα βήματα κατανόησε με το φαινόμενο που έτρεχε μπροστά του.

Καθ: τι έγινε Φοίβο σε απογοητεύει το αποτέλεσμα; Δηλαδή προηγουμένως που είχαμε δοχεία και φτάνανε σε θερμική ισορροπία ήταν άλλο και τώρα που έχουμε σίδηρο είναι άλλο;

Φ: πάλι ίσα θα είναι (παρατηρεί την εξέλιξη του πειράματος)

Ο μαθητής εμφανίζει σημαντικές διαφορές από τις μαθήτριες της ομάδας Νίκη-Ελεάνθη. Παρατηρούμε ότι μπορεί στο ένα βήμα μιας δραστηριότητας να περάσει από το ένα μοντέλο στο άλλο ενώ σε ένα παρακάτω βήμα να αντιστρέψει την πορεία της σκέψης του σε αρχικές του θέσεις και να αλλάξει πάλι το μοντέλο σκέψης. Γι αυτό και σε αυτό τον συγκεκριμένο μαθητή ειδικά το βήμα 3 της Δραστηριότητας 2, λειτούργησε αποτελεσματικά, να συνδέσει τις απαντήσεις που έδωσε στο pre-test με αυτά που ο ίδιος παρατηρούσε και μέσα από τη σύγκριση να καταλήξει σε ορθότερα συμπεράσματα.

Δραστηριότητα 2 - Βήμα 4

Ο μαθητής αντιμετωπίζει το ανοιχτό σύστημα σωμάτων όπως και το κλειστό και προβλέπει ότι η θερμοκρασία των σωμάτων του συστήματος θα είναι ο μέσος όρος των αρχικών θερμοκρασιών τους, αποκλείοντας έτσι την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον (μοντέλο 1 και 2) (σημείο 1).

Φ: όταν θα φτάσουν σε μια θερμοκρασία που δεν θα αλλάζουν. Εγώ λέω ότι θα γίνει 20° ,όχι θα είναι $12,5^{\circ}$, ο μέσος όρος τους (1)

Στην πορεία της εξέλιξης του πειράματος και μετά την ολοκλήρωσή του, ασκώντας κριτική στην αρχική του εκτίμηση, διαπιστώνει την λάθος εκτίμησή του και μάλιστα προσδιορίζει μόνος του σε πιο ακριβώς σημείο έγινε αυτό (σημείο 2). Είναι πολύ χαρακτηριστικός ο τρόπος με τον οποίο περιγράφει πλέον το φαινόμενο στο τέλος του βήματος (σημείο 3).

Φ: εγώ δεν έλαβα υπόψη μου ότι ακτινοβολεί και θα πάρει μετά τη θερμοκρασία του δωματίου. Τώρα μεταβάλλονται κι άλλο.....(φτάσανε) στους 20°C . (2)

Ο μαθητής φαίνεται να έχει μια αστάθεια στις απόψεις του παρόλο που με την άμεση παρατήρηση και πολύ πιο νωρίς από την ολοκλήρωση του πειράματος φτάνει σε σωστές προβλέψεις. Η ερμηνεία που δίνει τελικά για το φαινόμενο που παρατηρεί, δημιουργεί προσδοκίες για μια ουσιαστική κατανόηση του φαινομένου, το οποίο περιγράφει με αφορμή την ερώτηση του καθηγητή του:

Καθ: για εξηγήστε γιατί η τελική θερμοκρασία είναι στο βήμα αυτό διαφορετική από πριν

Φ: επειδή τώρα το εξωτερικό ακτινοβολεί ενώ προηγουμένως δεν ακτινοβολούσε και έτσι όταν έγινε η σταθεροποίηση επειδή δεν ακτινοβολούσε δεν μπορούσε να πάρει τη θερμοκρασία του δωματίου ενώ τώρα μπορεί να την πάρει μόλις σταθεροποιήθηκε και μετά. (3)

Καθ: θα μεταβληθεί αυτή η τελική θερμοκρασία από εδώ και πέρα;

Φ-Ι: όχι εκτός και αν αλλάξει η θερμοκρασία δωματίου

Για το Φοίβο, ο ρόλος της διαφοράς της θερμοκρασίας στις θερμικές αλληλεπιδράσεις γίνεται πλέον φανερός. Αντιλαμβάνεται την κατάσταση στην οποία έφτασε το σύστημα των σωμάτων αλλά, επιπλέον, έχει την δυνατότητα να προβλέπει τι θα συμβεί αν αλλάξει μια παράμετρος του προβλήματος.

Δυο εβδομάδες αργότερα, τόσο η ομάδα της Νίκης όσο και του Φοίβου κλήθηκαν να απαντήσουν σε ένα post-test, με έργα που αφορούσαν φαινόμενα θερμικής αλληλεπίδρασης ενός σώματος με το περιβάλλον, όπως και ενός συστήματος 2 σωμάτων που ήταν είτε ανοιχτό είτε κλειστό (αλληλεπιδρούσε ή όχι με το περιβάλλον). Οι απαντήσεις τους, τους κατέταξαν στο 3^ο νοητικό μοντέλο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα εργασία διατυπώσαμε διδακτική πρόταση για τη θερμική ισορροπία η οποία έλαβε υπόψη της έρευνες και προτάσεις σχετικά με τις αντιλήψεις των μαθητών και βασίστηκε στις δυνατότητες εικονικού εργαστηρίου. Από την πιλοτική εφαρμογή αναδείχθηκε ο σημαντικός ρόλος του λογισμικού και ειδικά η δυνατότητα εμπλοκής των μαθητών σε έργα με ανοικτά και κλειστά συστήματα, παραμετροποίηση του περιβάλλοντος και πολλαπλής αναπαράστασης της εξέλιξης των θερμικών φαινομένων. Η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του λογισμικού φαίνεται αποδοτική στο πλαίσιο δομημένης ακολουθίας δραστηριοτήτων, που αποτέλεσε το έναυσμα τόσο για την αλληλεπίδραση μεταξύ των μαθητών, όσο και με τον καθηγητή, του οποίου ο ρόλος αποδεικνύεται ισχυρός στην προώθηση της αλλαγής των απόψεών τους.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή δείχνουν ότι είναι δυνατή η εφαρμογή της διδακτικής πρότασης σε μαθητές που εκκινούν από διαφορετικά αρχικά νοητικά μοντέλα πιο πρώιμα η πιο προχωρημένα. Οι εννοιολογικές πορείες των μαθητών αυτών διαφέρουν, αλλά είναι εφικτή η κατανόηση των στοιχείων που συγκροτούν αποδεκτές επιστημονικές απόψεις για τη θερμική ισορροπία.

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

(*) Ο όρος «εικονικό εργαστήριο» εμφανίζεται στην ελληνική βιβλιογραφία (Μικρόπουλος, 2000), σαν κατηγορία εκπ/κού λογισμικού σε συνδυασμό με τις προσομοιώσεις φαινομένων. Διεθνώς, αντιστοιχα λογισμικά (ChemLab, CPU) αναφέρονται με τους όρους simulation ή και interactive simulation που

αποδίδει την μεγάλη δυνατότητα ελευθερίας, ελέγχου και μεταβολής των παραμέτρων και διατάξεων από το χρήστη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αντωνιάδου, Π. (2002), «Μελέτη της διδασκαλίας και της μάθησης της θερμικής ισορροπίας, σε μαθητές Γυμνασίου, με τη χρήση εικονικού εργαστηρίου πολυμέσων», Διπλωματική Εργασία για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος, Π.Τ.Δ.Ε. - Α.Π.Θ.
- Driver, P. Guesne, E. Tiberghien, A. (1993), " Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες" εκδ. Ένωση Ελλήνων Φυσικών Τροχαλία.
- Hewson, M.G. and Hamlin, D. (1984), " The influence of intellectual environment on conceptions of heat", *European Journal of Science Education* 6(3): 245-62.
- Kesidou, S., Duit, R., (1993). Students conceptions of law of thermodynamics- An interpretative study, *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (1), 85-106
- Laurillard, D. (1988). Computers and the emancipation of students: Giving control to the learner. In Paul Ramsden (Ed.) *Improving learning*, Kogan Page Pub.
- Λεύκος, Ι. (2001), «Ανάπτυξη εφαρμογών εικονικού εργαστηρίου στην περιοχή της Θερμότητας, Διπλωματική Εργασία για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος, Π.Τ.Δ.Ε. - Α.Π.Θ.
- Λεύκος, Ι., Ρεφανίδης, Ι., Γάλλος, Α., Μπισδικιάν, Γ., Πετρίδου, Ε., Χατζηκρανιώτης, Ε., Βλαχάβας, Ι., Αργυράκης, Π. & Ψύλλος, Δ. (2000), «Εικονικό Εργαστήριο Θερμότητας», Πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου «Πληροφορική και Εκπαίδευση», Θεσσαλονίκη Νοε. 2000, ΣΕΠΔΕΘ.
- Μικρόπουλος, Τ.Α. (2000), «Εκπαιδευτικό Λογισμικό: Θέματα σχεδίασης και αξιολόγησης λογισμικού υπερμέσων», Κλειδάριθμος, Αθήνα.
- Σκουμιάς, Μ. & Χ"Νικήτα, Β. (2000), "Μοντέλα μαθητών για Θερμότητα, Θερμοκρασία και Θερμικά Φαινόμενα", Επιθεώρηση Φυσικής, περ. Γ', τομ. Η', τ. 31, Φθινόπωρο 2000, σελ. 58-71, Ε.Ε.Φ., Αθήνα.
- Tiberghien, A. (1985), Heat and Temperature: Part B: The development of ideas with teaching. In R. Driver, E. Guesne and A. Tiberghien, *Children's Ideas in Science*, Milton Keynes, Open Univ. Press.
- Ψύλλος, Δ., Αργυράκης, Π., Βλαχάβας, Ι., Χατζηκρανιώτης, Ε., Μπισδικιάν, Γ., Ρεφανίδης, Ι., Λεύκος, Ι., Κορομπίλης, Κ., Βράκας, Δ., Γάλλος, Α., Πετρίδου, Ε. & Νικολαΐδης, Ι. (2000), «Σύνθετο Εικονικό Περιβάλλον για τη διδασκαλία Θερμότητας – Θερμοδυναμικής», Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου με Διεθνή Συμμετοχή: «Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Εκπαίδευση», Οκτ. 2000, Πάτρα, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ψύλλος Δ. & Μπισδικιάν Γκ., (2002). "Τεχνολογίες Πληροφόρησης στο διερευνητικό εργαστήριο Φυσικών Επιστημών" στο "Τεχνολογίες της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στην Ελληνική Εκπαίδευση", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονία, υπό έκδοση.