ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

Τόμ. 13 (2024)

13ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση: ΠΡΑΚΤΙΚΑ

Σχεδιασμός, ανάπτυξη και αξιολόγηση πειραματικών δραστηριοτήτων για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή στα μέταλλα στο Δημοτικό σχολείο

Ελένη - Μαρία Βαλκάνου, Ιωάννης Σταράκης, Αναστάσιος Ζουπίδης

doi: 10.12681/codiste.6856

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 09/12/2025 19:51:04

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ

Ελένη-Μαρία Βαλκάνου[1], Ιωάννης Σταράκης[2], Αναστάσιος Ζουπίδης[3]

[1]Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, [2]Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, [3]Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

valkanoue@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η αξιολόγηση πειραματικών δραστηριοτήτων για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή στα μέταλλα για μαθητές Ε' τάξης Δημοτικού. Απώτερος στόχος ήταν η καταγραφή των μονοπατιών μάθησης των μαθητών σε αυτή τη θεματική περιοχή. Οι δραστηριότητες εφαρμόστηκαν με τη μέθοδο του διδακτικού πειράματος σε 12 μαθητές. Για την ανάλυση των δεδομένων αξιοποιήθηκαν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύνολο των μαθητών μετακινήθηκε από την αρχική άποψη ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση, και έτεινε να δίνει εξηγήσεις πιο κοντά προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη.

Λέξεις κλειδιά: Δημοτικό σχολείο, Διάδοση θερμότητας με αγωγή, Μονοπάτια μάθησης

DESIGN, DEVELOPMENT, AND EVALUATION OF EXPERIMENTAL ACTIVITIES ON HEAT CONDUCTION IN METALS AT PRIMARY EDUCATION

Eleni-Maria Valkanou[1], Ioannis Starakis[2], Anastasios Zoupidis[3]

[1] University of Western Macedonia, [2]National and Kapodistrian University of Athens, [3]Democritus University of Thrace

valkanoue@gmail.com

ABSTRACT

The purpose of this study was the design, development, and evaluation of experimental activities on heat conduction in metals for 5th graders. Ultimate aim was to capture students' learning pathways in this thematic area. The activities were implemented using teaching experiment method in 12 students. Qualitative methods were used for the analysis of the data. The results indicated that all the students were able to move from their initial view that heat is a substance and tended to give explanations closer to the scientifically accepted view.

Keywords: Primary education, Heat conduction, Learning pathways

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μαθητές όλων των βαθμίδων τείνουν να θεωρούν ότι η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού (Erickson & Tiberghien, 1985· Haglund et al., 2014· Lautetrey & Mazens, 2004). Ως εκ τούτου, θεωρούν ότι η θερμότητα υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις ή ότι μοιάζει με τον καπνό ή τον αέρα. Επομένως, κατά τη θέρμανση ενός αντικειμένου, οι μαθητές θεωρούν ότι η θερμότητα μπορεί «να κινηθεί» με ευκολία προς τα κάτω ή πάνω, αντίστοιχα, σε σχέση με την εστία θέρμανσης. Η εν λόγω εναλλακτική ιδέα ίσως ενισχύεται από το γεγονός ότι ο όρος «θερμότητα» χρησιμοποιείται ως ουσιαστικό στον καθημερινό λόγο, κάτι το οποίο υποδηλώνει ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση (Romer, 2001). Επιπλέον, η συγκεκριμένη ιδέα φαίνεται να είναι κρίσιμη για την εννοιολογική κατανόηση του φαινομένου στην διάδοσης της θερμότητας με αγωγή, διότι εμποδίζει τους μαθητές να αντιληφθούν αυτό το φαινόμενο με όρους μεταφοράς ενέργειας (Kesidou & Duit, 1993).

Σε επίπεδο Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης εντοπίζονται αρκετές μελέτες στις οποίες περιγράφονται διδακτικές παρεμβάσεις για τη διδασκαλία του φαινομένου της διάδοσης της θερμότητας με αγωγή (π.χ. Åhman & Jeppsson, 2020· Haglund et al., 2016· Yeo et al., 2020). Ωστόσο, σε αυτές τις μελέτες το εν λόγω φαινόμενο διδάσκεται κυρίως μέσα από την εξέταση της θερμικής αγωγιμότητας διάφορων αντικειμένων σε ένα ανακαλυπτικό πλαίσιο διδασκαλίας και μάθησης (π.χ. Haglund et al., 2016), όπου οι ιδέες των μαθητών διερευνώνται μόνο σε επίπεδο φαινομενολογίας. Για παράδειγμα, οι Haglund et al. (2016), σε έρευνα που πραγματοποίησαν σε μαθητές δημοτικού (9-11 ετών), ανέπτυξαν πειραματικές δραστηριότητες για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή, αξιοποιώντας συνδυαστικά ένα μακροσκοπικό μοντέλο ροής θερμότητας. Οι μαθητές χρησιμοποίησαν το συγκεκριμένο μοντέλο για να εξετάσουν τη διάδοση της θερμότητας σε διάφορα αντικείμενα (ξύλο, πλαστικό, νερό κ.ά.). Το μοντέλο εισήχθη ρητά στους μαθητές και σύμφωνα με αυτό η θερμότητα ρέει αυθόρμητα από ένα αντικείμενο υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα αντικείμενο χαμηλότερης θερμοκρασίας. Αν και το συγκεκριμένο μοντέλο φάνηκε να βοηθά τους μαθητές να αναπτύξουν κατανόηση γύρω από αυτό το φαινόμενο, ωστόσο φάνηκε να ενισχύει την αντίληψη τους ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση. Σε αυτό το πλαίσιο φαίνεται ότι υπάρχει ανάγκη να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο μαθητές δημοτικού σχολείου είναι σε θέση να οικοδομήσουν στοιχεία της επιστημονικά αποδεκτής άποψης για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη και η αξιολόγηση πειραματικών δραστηριοτήτων για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή στα μέταλλα για μαθητές/ριες Ε' τάξης Δημοτικού. Απώτερος στόχος ήταν η καταγραφή των μονοπατιών μάθησής τους κατά τη διδασκαλία αυτού του φαινομένου. Το ερευνητικό ερώτημα ήταν το εξής: *«Ποια είναι τα μονοπάτια μάθησης μαθητών/ριών Ε' τάξης, κατά την οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής άποψης ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα;»*

Συγκεκριμένα, η έρευνα που παρουσιάζεται εδώ είναι μέρος μίας ευρύτερης Διδακτικής-Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή για μαθητές/ριες Ε' τάξης. Η ΔΜΑ αναπτύχθηκε από τους/τις συγγραφείς και αποτελείται από τις ακόλουθες τρείς ενότητες, διάρκειας 90 λεπτών η καθεμία: α) διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα, β) διάδοση της θερμότητας σε διάφορα στερεά αντικείμενα, γ) διάδοση της θερμότητας στο νερό και τον αέρα.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην πρώτη ενότητα της ΔΜΑ, η οποία θεωρήθηκε προαπαιτούμενη των άλλων δύο. Σε αυτή την ενότητα, οι μαθητές μέσα από την ακολουθία των πειραματικών δραστηριοτήτων εξετάζουν τη διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα και επιδιώκεται να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή

άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις σε αυτά τα αντικείμενα. Η εναλλακτική ιδέα ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση (Erickson & Tiberghien, 1985) φαίνεται να οδηγεί στην άποψη ότι η διάδοση της θερμότητας εξαρτάται από την υψομετρική διαφορά σε σχέση με την εστία θέρμανσης, δηλαδή ότι διαδίδεται με μεγαλύτερη ευκολία επάνω ή κάτω από την εστία θέρμανσης. Συνεπώς, θεωρήσαμε ότι η εναλλακτική ιδέα της υλικής υπόστασης της θερμότητας, θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί αξιοποιώντας την συγκεκριμένη άποψη περί εξάρτησης της διάδοσης της θερμότητας από την υψομετρική διαφορά. Τα πειράματα θέρμανσης μετάλλων θεωρήθηκαν κατάλληλα για την αντιμετώπιση της προαναφερθείσας εναλλακτικής ιδέας, καθώς οι μαθητές κατά τη διεξαγωγή τους είναι εύκολο να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται σε αυτά τα αντικείμενα με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις, ανεξάρτητα από την υψομετρική διαφορά από την εστία θέρμανσης (πάνω και κάτω από αυτή) και με αυτόν τον τρόπο να οδηγηθούν σε γνωστική σύγκρουση.

Συμμετέχοντες/ουσες

Συμμετέχοντες/ουσες στην έρευνα ήταν 12 μαθητές/ριες Ε' τάξης (8 αγόρια και 4 κορίτσια) ενός ιδιωτικού δημοτικού σχολείου του νομού Αττικής. Πριν την εφαρμογή της ακολουθίας, τα μαθήματα που είχαν παρακολουθήσει οι συγκεκριμένοι μαθητές/ριες στο πλαίσιο του μαθήματος των Φυσικών και σχετίζονταν με έννοιες που ερμηνεύουν θερμικά φαινόμενα, αφορούσαν: α) στη διάκριση των εννοιών της θερμοκρασίας και της θερμότητας, β) στην κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας, κατά τη θερμική επαφή δύο σωμάτων, γ) στα φαινόμενα τήξης, πήξης, εξάτμισης, συμπύκνωσης και βρασμού, και δ) στα φαινόμενα διαστολής και συστολής στερεών και ρευστών σωμάτων κατά τη θέρμανσή τους. Για τις ανάγκες της έρευνας σχηματίστηκαν 4 ομάδες των 3 μαθητών.

Εργαλεία της έρευνας

Η έρευνα διεξήχθη με τη μέθοδο του Διδακτικού Πειράματος (Komorek & Duit, 2004), σε καθεμία από τις ομάδες των μαθητών που είχαν σχηματιστεί. Η συγκεκριμένη μέθοδος συνδυάζει στοιχεία κλασικής συνέντευξης και διδασκαλίας. Συγκεκριμένα, κατά την υλοποίηση ενός Διδακτικού Πειράματος, ο ρόλος του ερευνητή είναι διττός: α) είναι εκπαιδευτικός που εφαρμόζει μία διδακτική παρέμβαση, και β) είναι συνεντευκτής που θέτει τα κατάλληλα ερωτήματα σε διάφορες φάσεις της διδασκαλίας, έτσι ώστε οι ιδέες των μαθητών να μελετηθούν σε βάθος. Η υιοθέτηση αυτής της μεθόδου φαίνεται να επιτρέπει τη διερεύνηση των ιδεών των μαθητών πριν τη διδασκαλία και πώς αυτές οι ιδέες εξελίσσονται, κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη.

Συλλογή και ανάλυση δεδομένων

Η εφαρμογή της ακολουθίας των πειραματικών δραστηριοτήτων σε καθεμία από τις ομάδες βιντεοσκοπήθηκε και ηχογραφήθηκε. Εξαιτίας της διερευνητικής φύσης της έρευνας, για την ανάλυση των δεδομένων αξιοποιήθηκαν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου (Erickson, 2012).

Αρχικά, τα βιντεοσκοπημένα αρχεία απομαγνητοφωνήθηκαν κατά λέξη και χωρίστηκαν σε ενότητες, κατά αντιστοιχία με τα βήματα των πειραματικών δραστηριοτήτων που θα παρουσιαστούν στην επόμενη υποενότητα. Στη συνέχεια, για κάθε βήμα καταγράφηκαν: α) οι ιδέες των μαθητών σε κομβικές ερωτήσεις, β) τα επιχειρήματα που χρησιμοποίησαν οι μαθητές για να υποστηρίξουν αυτές τις ιδέες, για να σχολιάσουν τις απόψεις των συμμαθητών τους ή για να ερμηνεύσουν τις πειραματικές παρατηρήσεις, γ) οι εννοιολογικές δυσκολίες των μαθητών και οι διαδικασίες που τους βοήθησαν να ξεπεράσουν αυτές τις δυσκολίες, και δ) το

εννοιολογικό πλαίσιο στο οποίο κατέληξαν οι μαθητές. Τέλος, όλα τα παραπάνω κατηγοριοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν ώστε να περιγραφεί η όποια εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών και να καταγραφούν τα μονοπάτια μάθησής τους.

Οι κατηγορίες προέκυψαν μέσω δύο διαφορετικών διαδικασιών ανάλυσης των δεδομένων (προς τα κάτω και προς τα πάνω ανάλυση). Ακολουθώντας μία προς τα κάτω ανάλυση (top-down analysis), πραγματοποιήθηκε σύγκριση των απαντήσεων των μαθητών: α) με αναμενόμενες απαντήσεις στις οποίες στόχευε η ΔΜΑ και β) με παρόμοιες ιδέες που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία. Παράλληλα, ακολουθώντας μία προς τα επάνω ανάλυση (bottom-up analysis) πραγματοποιήθηκε συνεχής σύγκριση παρόμοιων απαντήσεων των μαθητών για τον σχηματισμό μίας νέας κατηγορίας (Bryant & Charmaz, 2007). Για την εγκυρότητα της έρευνας, η κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών πραγματοποιήθηκε ανεξάρτητα από τους τρεις συγγραφείς, μέχρι να προκύψει συμφωνία.

Για την παρουσίαση των δεδομένων, υιοθετήθηκε ένας συνδυασμός γενικής και ειδικής περιγραφής (Erickson, 2012). Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι συχνότητες όλων των απαντήσεων των μαθητών/ριών, ενώ παράλληλα παρατίθενται αποσπάσματα από τους διαλόγους των μαθητών/ριών στα οποία εμπεριέχονται απαντήσεις με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

Η ακολουθία των πειραματικών δραστηριοτήτων

Κατά τον σχεδιασμό των πειραματικών δραστηριοτήτων βασιστήκαμε στην προτεινόμενη δομή για τον σχεδιασμό ενός Διδακτικού Πειράματος από τους Komorek & Duit (2004). Συγκεκριμένα, η εν λόγω δομή αποτελείται από τα ακόλουθα βήματα: α) πρόβλεψη και εξήγηση της πρόβλεψης για ένα φαινόμενο, β) παρατήρηση και εξήγηση της παρατήρησης του φαινομένου, και γ) γενίκευση της εξήγησης για παρόμοια φαινόμενα. Ωστόσο, στη δική μας δομή των πειραματικών δραστηριοτήτων, οι δύο πρώτες φάσεις επαναλαμβάνονται προτού οι μαθητές οδηγηθούν στη γενίκευση.

Τα κύρια βήματα των πειραματικών δραστηριοτήτων είναι τα ακόλουθα:

Στο *1ο βήμα,* οι μαθητές/ριες κλήθηκαν: α) να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί κατά τη θέρμανση του κέντρου μίας μεταλλικής ράβδου, η οποία ήταν τοποθετημένη με κλίση 10ο ως προς το οριζόντιο επίπεδο και στην οποία είχαν τοποθετηθεί από τρεις σταγόνες πηγμένου κεριού σε ίσες αποστάσεις εκατέρωθεν του κέντρου της (βλέπε *Πείραμα 1* στον *Πίνακα 1*), και β) να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους.

Στο *2ο βήμα,* οι μαθητές/ριες κλήθηκαν: α) να διαπιστώσουν πειραματικά (βλέπε *Πείραμα 1* στον *Πίνακα 1*) ότι κατά τη θέρμανση της ράβδου, τα διαδοχικά ζευγάρια πηγμένων σταγόνων κεριού εκατέρωθεν του κέντρου της λιώνουν σχεδόν ταυτόχρονα, και β) να ερμηνεύσουν την εν λόγω πειραματική παρατήρηση.

Στο *3ο βήμα*, οι μαθητές/ριες κλήθηκαν: α) να εκφράσουν τις ιδέες τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί σχετικά με τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας, εάν η υψομετρική διαφορά των πηγμένων σταγόνων κεριού (πάνω και κάτω από την εστία θέρμανσης) αυξηθεί χρησιμοποιώντας μία διαφορετική πειραματική διάταξη, η οποία περιλαμβάνει και κάθετα τμήματα (βλέπε *Πείραμα 2* στον *Πίνακα 1*), και β) να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους.

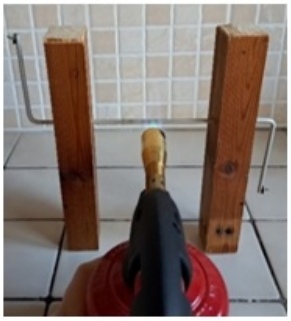
Αξίζει να αναφερθεί ότι θεωρήσαμε πως μέσα από την πραγματοποίηση του *1ου Πειράματος* πιθανά να μην ήταν εφικτό οι μαθητές/ριες να μετακινηθούν από τις αρχικές εναλλακτικές τους ιδέες, εξαιτίας της μικρής κλίσης της ράβδου. Ωστόσο, εάν το *1ο Πείραμα* πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη γωνία κλίσης, παρατηρείται ότι οι σταγόνες κεριού που βρίσκονται στο πάνω μέρος της ράβδου, λιώνουν σημαντικά πιο γρήγορα συγκριτικά με τις κάτω, λόγω των ρευμάτων μεταφοράς που δημιουργούνται στον αέρα. Επομένως,

θεωρήσαμε απαραίτητη την ανάπτυξη του *2ου Πειράματος*. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε σε αυτό το πείραμα, λάβαμε υπόψη αρκετούς παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση της θερμότητας (π.χ. τη διατομή της μεταλλικής βελόνας, το πάχος των ξύλινων βάσεων), έτσι ώστε να είναι δυνατό οι μαθητές/ριες να παρατηρήσουν τη σχεδόν ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας στα δύο άκρα της βελόνας. Στο πλαίσιο του διδακτικού μετασχηματισμού, θεωρήσαμε ότι το εν λόγω πείραμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί, διότι ενισχύει διδακτικά τη διαδικασία, αφού οι μαθητές/ριες μπορούν να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό σε όλες τις κατευθύνσεις σε ένα μεταλλικό αντικείμενο, το οποίο ενσωματώνει κάθετα τμήματα.

Στο *4ο βήμα*, οι μαθητές/ριες κλήθηκαν: α) να διαπιστώσουν πειραματικά (βλέπε *Πείραμα 2* στον *Πίνακα 1*) ότι κατά τη θέρμανση της μεταλλικής βελόνας, οι πινέζες που τοποθετούνται στα άκρα της ξεκολλούν σχεδόν ταυτόχρονα από τη βελόνα, β) να ερμηνεύσουν τη σχετική πειραματική παρατήρηση, και γ) να εκφράσουν το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν αναφορικά με τη διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι και τα δύο πειράματα προβλήθηκαν σε ψηφιακή μορφή στους μαθητές/ριες, προκειμένου να αποφευχθούν εκπαιδευτικές δυσκολίες που προκαλούνται από τα σφάλματα μέτρησης ή ασυνέπειες που υπεισέρχονται στην πειραματική διαδικασία. Αυτή η απόφαση φαίνεται να είναι σε συμφωνία και με το μεθοδολογικό πλαίσιο εντός του οποίου διεξήχθη η έρευνα, αφού μας επέτρεψε να μελετήσουμε τις ιδέες των μαθητών/ριών χωρίς αυτές να επηρεάζονται από τις προαναφερθείσες δυσκολίες.

Πίνακας 1. Τα πειράματα της ενότητας «διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα»

Πείραμα	**Υλικά**	**Ενέργειες**
1ο Πείραμα	• Μεταλλική ράβδος, βαθμονομημένη ανά 5 εκ. από το κέντρο και προς τα δύο της άκρα • Κερί • Φλόγιστρο • Χρονόμετρο	(1) Ίδια ποσότητα κεριού τοποθετείται στα 10, 15, 20 και 25 εκ. από το κέντρο της ράβδου προς τα δύο της άκρα. (2) Η ράβδος τοποθετείται σε κλίση 10° και θερμαίνεται στο κέντρο της με το φλόγιστρο. (3) Τα διαδοχικά ζευγάρια κεριού εκατέρωθεν του κέντρου της λιώνουν σχεδόν ταυτόχρονα.
2ο Πείραμα 	• Μεταλλική βελόνα με δύο κάθετα ισομήκη τμήματα, αντίθετου προσανατολισμού, τα οποία ισαπέχουν από το κέντρο της • Ξύλινες βάσεις στήριξης • Κερί • Πινέζες • Φλόγιστρο • Χρονόμετρο	(1) Στα άκρα της βελόνας τοποθετείται από μία πινέζα με τη βοήθεια ίδιας ποσότητας κεριού. (2) Η βελόνα θερμαίνεται στο κέντρο της με το φλόγιστρο. (3) Οι πινέζες ξεκολλούν από τη βελόνα σχεδόν ταυτόχρονα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Αρχικά, στο *1ο βήμα*, οι μαθητές/ριες στο σύνολό τους απέδωσαν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας. Οι περισσότεροι μαθητές/ριες (9/12) θεώρησαν ότι η θερμότητα είναι μία ουσία που μπορεί να μεταφερθεί εντός της ράβδου και μπορεί να επηρεαστεί από τη βαρύτητα. Επομένως, θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με μεγαλύτερη ευκολία προς την κάτω μεριά της ράβδου. Οι περισσότεροι από αυτούς

τους μαθητές/ριες έτειναν να αναφέρονται ρητά στη βαρύτητα, ενώ οι υπόλοιποι την υπονόησαν μέσα από τα παραδείγματα που χρησιμοποίησαν:

Εκπαιδευτικός: Γιατί πιστεύεις ότι η θερμότητα διαδίδεται πιο γρήγορα προς τα κάτω;

Μαθήτρια – 6: Λόγω της βαρύτητας. Είναι όπως όταν πέφτουμε από την τσουλήθρα.

Μαθητής – 2: Είναι παρόμοιο με το πώς κινείται στη λαμπάδα. Το κερί λιώνει και μένει εκεί, άρα η θερμότητα πάει προς τα κάτω.

Οι υπόλοιποι μαθητές/ριες (3/12) φάνηκε να ταυτίζουν τη θερμότητα με τον ζεστό αέρα, αφού εξέφρασαν την άποψη ότι η ράβδος θα θερμανθεί εξωτερικά λόγω του ζεστού αέρα, ενώ η διάδοσή της στο εσωτερικό της ράβδου δε θα είναι εφικτή. Επομένως, θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με μεγαλύτερη ευκολία προς το επάνω μέρος της ράβδου. Επίσης, οι συγκεκριμένοι μαθητές/ριες φάνηκε να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας με τη διαφοροποίηση ότι την ταυτίζουν με τον ζεστό αέρα:

Μαθητής – 12: Νομίζω ότι ο ζεστός αέρας πάει προς τα επάνω. Αλλά θα αρχίσει να λιώνει και προς τα κάτω (δείχνει με το χέρι του τη σταγόνα που βρίσκεται 10 εκ. κάτω από το κέντρο της ράβδου), αλλά σε περισσότερο χρόνο, για παράδειγμα σε 3 ημέρες περίπου.

Στο *2ο βήμα*, κατά την προβολή της βιντεοσκοπημένης εκδοχής του *1ου Πειράματος*, οι μαθητές/ριες παρατήρησαν ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο σχεδόν ρυθμό στις δύο μεριές τη ράβδου. Σχετικά με την εξήγηση αυτής της παρατήρησης, οι περισσότεροι (9/12) εξέφρασαν την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο σχεδόν ρυθμό στις δύο μεριές της ράβδου, διότι δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση:

Μαθητής – 5: Η θερμότητα δεν είναι κάτι σαν αντικείμενο, το οποίο δε μπορεί να μετακινηθεί προς τα επάνω. Μπορεί και πηγαίνει και προς τα επάνω.

Οι υπόλοιποι μαθητές/ριες (3/12) θεώρησαν ότι η θερμότητα διαδίδεται ελάχιστα πιο γρήγορα προς την πάνω μεριά της ράβδου. Για την εξήγηση αυτής της άποψης βασίστηκαν αποκλειστικά στη φαινομενολογική παρατήρηση του συγκεκριμένου πειράματος, ότι οι σταγόνες που βρίσκονται στην πάνω μεριά της ράβδου λιώνουν για κλάσματα του δευτερολέπτου πιο γρήγορα συγκριτικά με τις κάτω, χωρίς να αναφέρουν κάποιο συγκεκριμένο ερμηνευτικό μηχανισμό.

Στο *3ο βήμα*, οι ακόλουθες τάσεις εμφανίστηκαν μεταξύ των απαντήσεων των μαθητών/ριών:

Α) Κάποιοι μαθητές/ριες (5/12) θεώρησαν ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας θα διαφοροποιηθεί κατά την πραγματοποίηση του *2ου Πειράματος*, εξαιτίας της παρουσίας των κάθετων τμημάτων στην πειραματική διάταξη. Συγκεκριμένα, θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με μεγαλύτερη ευκολία στο πάνω ή στο κάτω μέρος της μεταλλικής βελόνας. Η πραγματοποίηση του *1ου Πειράματος* φάνηκε να μην αποτελεί κομβικό σημείο για αυτούς τους μαθητές/ριες, εξαιτίας της μικρής υψομετρικής διαφοράς των σταγόνων κεριού στη μεταλλική ράβδο (πάνω και κάτω από την εστία θέρμανσης).

Μαθήτρια – 10: Είναι εντελώς κάθετο εδώ (δείχνει το κάθετο τμήμα της διάταξης), και η θερμότητα θα πέσει.

Β) Κάποιοι άλλοι μαθητές/ριες (4/12) θεώρησαν ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας δε θα επηρεαστεί κατά την πραγματοποίηση του *2ου Πειράματος*, επειδή είναι ανεξάρτητος από τη μεταβλητή της υψομετρικής διαφοράς (πάνω και κάτω από την εστία θέρμανσης). Η πραγματοποίηση του *1ου Πειράματος* φάνηκε να αποτελεί κομβικό σημείο για αυτούς τους μαθητές/ριες, καθώς τους βοήθησε να μετατοπιστούν εννοιολογικά από τις αρχικές εναλλακτικές τους ιδέες:

Μαθητής – 8: Αυτό εδώ (δείχνει το κάθετο τμήμα στο κάτω μέρος της βελόνας) είναι 8 εκ. από αυτό εδώ (δείχνει το οριζόντιο τμήμα της βελόνας), και αυτό (δείχνει το κάθετο τμήμα στο πάνω μέρος της βελόνας) είναι 8 εκ. επίσης. Είναι η ίδια απόσταση.

Μαθήτρια – 9: Άρα, η θερμότητα θα πάει πάνω και κάτω ταυτόχρονα.

Γ) Οι υπόλοιποι μαθητές/ριες (3/12) εξέφρασαν την άποψη ότι η θερμότητα θα διαδοθεί ελάχιστα πιο γρήγορα προς τα επάνω, λόγω των φαινομενολογικών παρατηρήσεων του *1ου Πειράματος*, δηλαδή ότι οι σταγόνες κεριού στο πάνω μέρος της ράβδου λιώνουν πιο γρήγορα για κλάσματα του δευτερολέπτου. Τα αναμενόμενα σφάλματα μέτρησης που υπεισέρχονται στην πειραματική διαδικασία, σχετικά με τις μικρές αποκλίσεις που παρατηρούνται στις χρονικές στιγμές που λιώνουν τα διαδοχικά ζευγάρια σταγόνων κεριού εκατέρωθεν του κέντρου της ράβδου, φάνηκε να παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της άποψης αυτών των μαθητών/ριών.

Στο *4ο βήμα*, κατά την προβολή της βιντεοσκοπημένης εκδοχής του *2ου Πειράματος*, οι μαθητές/ριες παρατήρησαν ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο σχεδόν ρυθμό στα δύο άκρα της μεταλλικής βελόνας. Οι περισσότεροι (9/12) θεώρησαν ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό, επειδή δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση. Επιπλέον, οι συγκεκριμένοι μαθητές/ριες διευκρίνισαν ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας είναι ανεξάρτητος από τη μεταβλητή της υψομετρικής διαφοράς (πάνω και κάτω από την εστία θέρμανσης) και εξαρτάται μόνο από την απόσταση στην οποία πραγματοποιείται η διάδοση κάθε φορά. Η πραγματοποίηση του *2ου Πειράματος* φάνηκε να αποτελεί κομβικό σημείο των πειραματικών δραστηριοτήτων, αφού βοήθησε τους μαθητές/ριες που θεωρούσαν ότι η διάδοση της θερμότητας εξαρτάται από τη μεταβλητή της υψομετρικής διαφοράς (πάνω και κάτω από την εστία θέρμανσης) να μετακινηθούν εννοιολογικά προς την άποψη ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας είναι ανεξάρτητος από αυτή τη μεταβλητή. Οι υπόλοιποι μαθητές/ριες (3/12) εξέφρασαν την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό στα δύο άκρα της βελόνας, αλλά για την ερμηνεία αυτής της παρατήρησης βασίστηκαν αποκλειστικά στη φαινομενολογία του συγκεκριμένου πειράματος.

Στο τέλος αυτού του βήματος, οι μαθητές/ριες κλήθηκαν να εκφράσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν αναφορικά με τη διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα. Όλοι οι μαθητές/ριες διατύπωσαν το συμπέρασμα ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα. Αναφορικά με την εξήγηση αυτού του φαινομένου, οι περισσότεροι (9/12) ανέφεραν ρητώς ότι η θερμότητα δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση:

Μαθητής – 1: Πιστεύω ότι η θερμότητα πηγαίνει ταυτόχρονα και στις δύο μεριές. Το πάνω και το κάτω δεν παίζει ρόλο.

Μαθητής – 7: Και η βαρύτητα δεν παίζει ρόλο.

Οι υπόλοιποι μαθητές/ριες (3/12), για την εξήγηση του φαινομένου βασίστηκαν αποκλειστικά στη φαινομενολογία των πειραμάτων και δεν ήταν σε θέση να εκφράσουν κάποιο ερμηνευτικό μηχανισμό.

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι προκύπτουν τρία διαφορετικά μονοπάτια μάθησης. Το πρώτο μονοπάτι ακολούθησαν πέντε μαθητές/ριες οι οποίοι αρχικά απέδωσαν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας. Στο *2ο βήμα* μετακινήθηκαν στην άποψη ότι η θερμότητα δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση, αλλά στο *3ο βήμα* επανήλθαν στην αρχική τους άποψη. Ωστόσο, στο *4ο βήμα* επανήλθαν ξανά στην άποψη ότι η θερμότητα δεν έχει υλική υπόσταση. Το δεύτερο μονοπάτι ακολούθησαν 4 μαθητές/ριες, οι οποίοι επίσης αρχικά απέδωσαν υλική υπόσταση στη θερμότητα και στο *2ο βήμα* μετακινήθηκαν στην άποψη ότι η θερμότητα δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση. Ωστόσο, οι συγκεκριμένοι μαθητές/ριες παρέμειναν σε αυτή την άποψη μέχρι το τελευταίο βήμα των δραστηριοτήτων. Τέλος, το τρίτο μονοπάτι μάθησης ακολούθησαν τρεις μαθητές οι οποίοι επίσης αρχικά απέδωσαν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας.

Στο *2ο βήμα* μετακινήθηκαν στην άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό σε όλες τις κατευθύνσεις και διατήρησαν αυτή την άποψη μέχρι το τελευταίο βήμα. Ωστόσο, για την εξήγηση του φαινομένου βασίστηκαν αποκλειστικά στη φαινομενολογία των πειραμάτων και δεν ήταν σε θέση να εκφράσουν κάποιο ερμηνευτικό μηχανισμό, σε όλα τα βήματα των πειραματικών δραστηριοτήτων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η καταγραφή των μονοπατιών μάθησης μαθητών/ριών Ε' τάξης, κατά τη διδασκαλία του φαινομένου της διάδοσης της θερμότητας με αγωγή. Από την έρευνα προέκυψαν συγκεκριμένα μονοπάτια μάθησης, μέσω των οποίων οι μαθητές/ριες μπορούν να ξεπεράσουν τις εννοιολογικές τους δυσκολίες αναφορικά με την έννοια της θερμότητας και να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή εξήγηση ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα.

Σημαντικό εννοιολογικό εμπόδιο στα μαθησιακά μονοπάτια ήταν η ισχυρή τάση των μαθητών/ριών να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας. Αυτή η αναμενόμενη τάση φαίνεται να οδηγεί στην άποψη ότι η διάδοση της θερμότητας εξαρτάται από τη μεταβλητή της υψομετρικής διαφοράς (πάνω και κάτω από την εστία θέρμανσης) και λαμβάνει χώρα με μεγαλύτερη ευκολία σε συγκεκριμένη κατεύθυνση (πάνω ή κάτω). Το συγκεκριμένο εύρημα φαίνεται να είναι σε συμφωνία με ευρήματα άλλων ερευνητών, ότι οι μαθητές τείνουν να θεωρούν ότι η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού (Erickson & Tiberghien, 1985). Επιπλέον, τα σφάλματα μέτρησης και οι ασυνέπειες που παρατηρούνται στην πειραματική διαδικασία βρέθηκε ότι αποτελούν σημαντικό εννοιολογικό εμπόδιο, αφού έπαιξαν κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση της άποψης των μαθητών/ριών. Η συγκεκριμένη δυσκολία πιθανά οφείλεται στο γεγονός ότι οι μαθητές/ριες δε γνωρίζουν διάφορες επιστημολογικές πτυχές της πειραματικής διαδικασίας (π.χ. παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία και σφάλματα μέτρησης).

Κομβικό σημείο των μονοπατιών μάθησης αποτέλεσε η πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης μετάλλων. Στα συγκεκριμένα πειράματα οι μαθητές/ριες είχαν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν τη σχεδόν ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας στα σημεία ενός μεταλλικού αντικειμένου που έχουν κάποια υψομετρική διαφορά από την εστία θέρμανσης (πάνω και κάτω από την εστία). Το γεγονός αυτό φάνηκε να βοηθά τους μαθητές/ριες να αντιμετωπίσουν την εναλλακτική τους ιδέα ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση. Ιδιαίτερη αξία για την αντιμετώπιση της προαναφερθείσας εναλλακτικής ιδέας είχε το πείραμα στο οποίο οι μαθητές/ριες παρατήρησαν την ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας στη μεταλλική βελόνα, η οποία ενσωμάτωνε και κάθετα τμήματα.

Η υιοθέτηση της μεθόδου του Διδακτικού Πειράματος (Komorek & Duit, 2004) παρέχει ασφαλή συμπεράσματα, αφού επέτρεψε μία εις βάθος μελέτη των ιδεών των μαθητών. Ωστόσο, ο αριθμός των συμμετεχόντων της έρευνας ήταν μικρός και όχι αντιπροσωπευτικός. Για τον λόγο αυτό θα είχε αξία, η ακολουθία των δραστηριοτήτων να εμπλουτιστεί σύμφωνα με τα ευρήματα που προέκυψαν και να εφαρμοστεί εκ νέου σε μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να προστεθεί μία δραστηριότητα σχετική με τα σφάλματα μέτρησης, η οποία θα βοηθήσει τους μαθητές/ριες να αντιμετωπίσουν τη σχετική τους δυσκολία, στην προσπάθειά τους να διαμορφώσουν την άποψή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Åhman, N., & Jeppsson, F. (2020). Teachers' and pupils' scientific dialogue in learning about invisible thermal phenomena. *International Journal of Science Education, 42*(18), 3116-3133. https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1852334

Bryant, A. & Charmaz, K. (Eds.) (2007). *The SAGE Handbook of Grounded Theory*. Sage.

Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Heat and temperature. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 52-83). Open University Press.

Erickson, F. (2012). Qualitative Research Methods for Science Education. In B. J. Fraser, K. G. Tobin, C. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1451-1469). Springer: Kluwer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7

Haglund, J., Jeppsson, F., & Andersson, J. (2014). Primary school children's ideas of mixing and of heat as expressed in a classroom setting. *Journal of Baltic Science Education, 13*(5). https://doi.org/10.33225/jbse/14.13.726

Haglund, J. Jeppson, F., Schönborn, K. (2016). Taking on the Heat—a Narrative Account of How Infrared Cameras Invite Instant Inquiry. *Research in Science Education, 46*, 685-713. https://doi.org/10.1007/s11165-015-9476-8

Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics: An interpretive study. *Journal of Research in Science Teaching, 30*(1), 85-106. https://doi.org/10.1002/tea.3660300107

Komorek, M., & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education, 26*(5), 619-633. https://doi.org/10.1080/09500690310001614717

Lautrey, J., & Mazens, K. (2004). Is children's naive knowledge consistent? A comparison of the concepts of sound and heat. *Learning and Instruction, 14*(4), 399-423. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.011

Romer, R. H. (2001). Heat is not a noun. *American Journal of Physics, 69*(2), 107-109. https://doi.org/10.1119/1.1341254

Yeo, J., Wong, W., Tan, D., Ong, Y., & Pedregosa A. (2020). Using visual representations to realize the concept of "heat". *Learning: Research and Practice, 6*(1), 34-50. https://doi.org/10.1080/23735082.2020.1750674