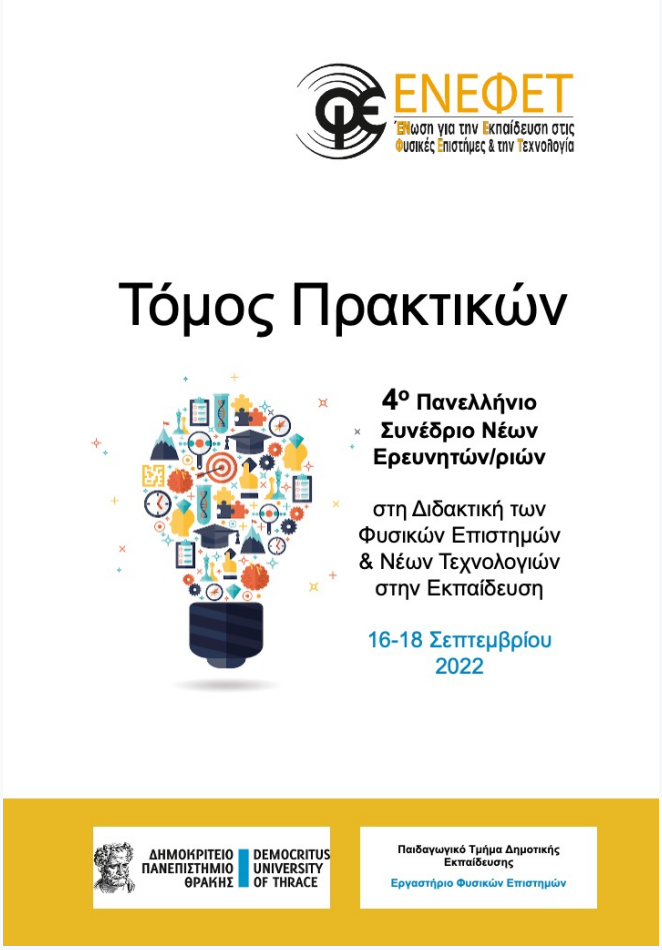
ePublishing
ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ
NATIONAL DOCUMENTATION CENTRE

Πανελλήνιο Συνέδριο Νέων Ερευνητών/τριών στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση

(2024)

4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Νέων Ερευνητών και Ερευνητριών



Σχεδιασμός, Ανάπτυξη, Εφαρμογή και Αξιολόγηση μίας ΔΜΑ, για τη Διάδοση της Θερμότητας με Αγωγή, με Στόχο τη Διερεύνηση των Μαθησιακών Μονοπατιών των Μαθητών

Ελένη - Μαρία Βαλκάνου, Ιωάννης Σταράκης, Αναστάσιος Ζουπίδης

doi: 10.12681/nrcodiste.5963

https://epublishing.ekt.gr | **e-Εκδότης:** ΕΚΤ | **Πρόσβαση:** 24/01/2026 16:45:38

Σχεδιασμός, Ανάπτυξη, Εφαρμογή και Αξιολόγηση μίας ΔΜΑ, για τη Διάδοση της Θερμότητας με Αγωγή, με Στόχο τη Διερεύνηση των Μαθησιακών Μονοπατιών των Μαθητών

Ελένη-Μαρία Βαλκάνου[1], Ιωάννης Σταράκης[2], Αναστάσιος Ζουπίδης[3]
[1]Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια, [2]Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό, [3]Επίκουρος Καθηγητής
[1]Παιδαγωγικό Τμήμα Νηπιαγωγών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας,
[2]Τμήμα Εκπαίδευσης και Αγωγής στην Προσχολική Ηλικία, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών,
[3]Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
valkanoue@gmail.com

Περίληψη
Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η εφαρμογή και η αξιολόγηση μίας ΔΜΑ για τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή στην Ε' τάξη του Δημοτικού Σχολείου. Απώτερος στόχος είναι η καταγραφή των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών σε αυτή τη θεματική περιοχή. Η ακολουθία εφαρμόστηκε με τη μέθοδο του διδακτικού πειράματος σε μικρές ομάδες μαθητών. Συμμετέχοντες ήταν 12 μαθητές Ε' τάξης. Τα διδακτικά πειράματα βιντεοσκοπήθηκαν και ηχογραφήθηκαν. Για την ανάλυση των δεδομένων αξιοποιούνται ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου. Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του πρώτου διδακτικού πειράματος, καθώς και τα πρώτα αποτελέσματα από την ανάλυσή του.

Abstract
The purpose of this study is the design, development, implementation and evaluation of a TLS for the mechanism of heat conduction in the 5th grade of Primary School. Ultimate aim is to capture students' learning pathways in this thematic area. The sequence was implemented to small group of students with the teaching experiment method. Participants were 12 students of 5th grade. The teaching experiments were videotaped and recorded. Qualitative methods of content analysis are used to analyze the data. In this paper the design of the first teaching experiment, as well as first results from its analysis are presented.

Λέξεις κλειδιά: διδακτική μαθησιακή ακολουθία, μονοπάτια μάθησης, διδακτικό πείραμα, θερμότητα, δημοτικό σχολείο
Key words: teaching learning sequence, learning pathways, teaching experiment, heat, primary education

1. Εισαγωγή

Όπως προκύπτει από την επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας, οι μαθητές διαθέτουν πληθώρα εναλλακτικών αντιλήψεων για θερμικές έννοιες και φαινόμενα. Μία αρκετά συχνή αντίληψη, που εντοπίζεται σε μαθητές όλων των βαθμίδων, είναι ότι η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού. Κατά συνέπεια οι μαθητές τείνουν να την παρομοιάζουν με τον αέρα ή τον καπνό και θεωρούν ότι «πηγαίνει προς τα πάνω» ή εφόσον της αποδίδουν υλική υπόσταση θεωρούν ότι υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις (Erickson, 1980).

Σε επίπεδο Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης εντοπίζεται περιορισμένος αριθμός μελετών που αφορούν σε διδακτικές προτάσεις για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή, αλλά και στη διάκριση των σωμάτων σε θερμικούς αγωγούς και μονωτές, στις οποίες τα φαινόμενα διερευνώνται αποκλειστικά στη φαινομενολογική τους βάση (ενδεικτικά: Yeo et al., 2020). Σε αυτές τις διδακτικές προτάσεις υιοθετείται ένα ανακαλυπτικό πλαίσιο, μέσα από το οποίο

φαίνεται να μην επιδιώκεται η ερμηνεία των φαινομένων, αλλά ούτε η αντιμετώπιση των σχετικών εναλλακτικών ιδεών των μαθητών. Αντίθετα, σε επίπεδο Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης εντοπίζεται σημαντικός αριθμός σχετικών ερευνών, στις οποίες επιχειρείται η ανάπτυξη ενός ερμηνευτικού μηχανισμού για τα συγκεκριμένα φαινόμενα, μέσω της υιοθέτησης μίας κονστρουκτιβιστικής οπτικής με στόχο την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής (She, 2004), μέσω αξιοποίησης εικονικών περιβαλλόντων προσομοιώσεων (Hatzikraniotis et al., 2010) ή αξιοποίησης θερμικών καμερών (Schönborn et al., 2014).

2. Μεθοδολογία

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η εφαρμογή και η αξιολόγηση μίας ΔΜΑ για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή στην Ε' τάξη Δημοτικού Σχολείου. Απώτερος στόχος ήταν η καταγραφή των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών κατά την οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής εξήγησης του συγκεκριμένου φαινομένου. Ειδικότερα, το βασικό ερευνητικό ερώτημα που επιδιώκεται να απαντηθεί μέσα από την εν λόγω έρευνα είναι το ακόλουθο:

- Ποιες είναι οι διαδικασίες μάθησης μαθητών Ε' τάξης, κατά την οικοδόμηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή;

Συμμετέχοντες

Συμμετέχοντες της έρευνας ήταν δώδεκα (12) μαθητές Ε' τάξης του Δημοτικού Σχολείου (8 αγόρια και 4 κορίτσια) από ένα ιδιωτικό δημοτικό σχολείο του Νομού Αττικής. Για τις ανάγκες της έρευνας συγκροτήθηκαν τέσσερις (4) ομάδες των τριών (3) μαθητών.

Χρονικό Διάστημα Υλοποίησης της Έρευνας

Η έρευνα έλαβε χώρα κατά το χρονικό διάστημα 16/05/2022 – 08/06/2022.

Εργαλεία της Έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του διδακτικού πειράματος (Komorek & Duit, 2004). Κατά την εφαρμογή ενός διδακτικού πειράματος δίνεται η δυνατότητα στον ερευνητή να λειτουργήσει σε δύο επίπεδα, καθώς μπορεί είναι συνεντευκτής αλλά και διδάσκων, αναλόγως την τροπή που παίρνει κάθε φορά η διαδικασία συλλογής των δεδομένων. Έτσι, μέσα από την εν λόγω μέθοδο φαίνεται ότι επιτρέπεται αφενός η εις βάθος διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών και αφετέρου η λεπτομερής καταγραφή της εννοιολογικής τους εξέλιξης προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη για τις εκάστοτε έννοιες. Απώτερος στόχος της έρευνας ήταν η καταγραφή των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών για το υπό μελέτη φαινόμενο, ως εκ τούτου η εν λόγω μέθοδος φαίνεται να θεωρείται κατάλληλη για την επίτευξη αυτού του στόχου και για αυτό και επιλέχθηκε.

Σχεδιάστηκαν τρία (3) διδακτικά πειράματα, με διάρκεια 1 ½ διδακτική ώρα το καθένα (περίπου 90'), τα οποία εφαρμόστηκαν σε καθεμία από τις τέσσερις (4) ομάδες μαθητών που σχηματίστηκαν.

Συλλογή και Ανάλυση των Δεδομένων

Τα διδακτικά πειράματα ηχογραφήθηκαν και βιντεοσκοπήθηκαν. Κατόπιν, απομαγνητοφωνήθηκαν κατά λέξη, ενώ καταγράφηκαν και στοιχεία μη λεκτικής επικοινωνίας των μαθητών (χειρονομίες και εκφράσεις). Στη συνέχεια τα αρχεία που προέκυψαν από τη διαδικασία της απομαγνητοφώνησης χωρίστηκαν σε βήματα, κατά αντιστοιχία με τα βήματα των διδακτικών πειραμάτων.

Ο χαρακτήρας της έρευνας ήταν διερευνητικός, ως εκ τούτου για την ανάλυσή των δεδομένων αξιοποιούνται ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου (Erickson, 2012). Συγκεκριμένα, για κάθε ένα βήμα του κάθε διδακτικού πειράματος καταγράφονται:

i) οι ιδέες των μαθητών σε καθεμία από τις τέσσερις (4) ομάδες μαθητών σε κομβικές ερωτήσεις
ii) τα επιχειρήματα που χρησιμοποίησαν οι μαθητές για να υποστηρίξουν αυτές τις ιδέες, να σχολιάσουν τις απόψεις των συμμαθητών τους και να ερμηνεύσουν τα πειραματικά δεδομένα
iii) οι δυσκολίες που συνάντησαν οι μαθητές σε όλα τα βήματα των διδακτικών πειραμάτων και οι διαδικασίες οι οποίες τους βοήθησαν να τις ξεπεράσουν (αν αυτό ήταν δυνατό)
iv) το εννοιολογικό πλαίσιο στο οποίο κατέληξαν οι μαθητές

Όλα τα παραπάνω κατηγοριοποιούνται και συνδυάζονται προκειμένου να περιγραφεί η όποια εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών και να καταγραφούν τα μονοπάτια μάθησής τους.

Η Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία (ΔΜΑ)

Όπως προαναφέρθηκε σχεδιάστηκαν τρία διδακτικά πειράματα, τα οποία αφορούσαν στη διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα, σε διάφορα στερεά υλικά σώματα, καθώς και στο νερό και τον αέρα. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ενδεικτικά ο σχεδιασμός του πρώτου διδακτικού πειράματος.

Το πρώτο διδακτικό πείραμα της ακολουθίας αφορούσε στη διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα. Η εναλλακτική ιδέα ότι η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού φαίνεται να είναι κομβικής σημασίας για την εννοιολογική κατανόηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή. Έχοντας αυτή την ιδέα οι μαθητές τείνουν να θεωρούν ότι η θερμότητα ως ρευστή ουσία μπορεί να διαδίδεται στο ίδιο υλικό, με διαφορετική ταχύτητα, ανάλογα με την κατεύθυνση διάδοσης και δυσκολεύονται να αντιληφθούν το συγκεκριμένο φαινόμενο με όρους μεταφοράς ενέργειας (Kesidou & Duit, 1993). Στο πλαίσιο αυτό θεωρήθηκε ότι η εν λόγω ιδέα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται πρωταρχικά μέσα από τη διδασκαλία της διάδοσης της θερμότητας στα μέταλλα, πριν οι μαθητές διδαχθούν τη διάδοσή της σε άλλα σώματα. Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης μετάλλων οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις και συνεπώς να αντιμετωπίσουν τη συγκεκριμένη εναλλακτική ιδέα.

Κεντρικός διδακτικός στόχος αυτού του μέρους της ακολουθίας ήταν ο παρακάτω:

- Οι μαθητές/ τριες να διαπιστώσουν ότι η διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα πραγματοποιείται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις.

Τα βασικά βήματα της ακολουθίας ήταν τα εξής:

1ο Βήμα

Στο πρώτο βήμα οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν και να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα, σε μία μεταλλική ράβδο, η οποία έχει τοποθετηθεί σε μικρή κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, και θερμαίνεται ακριβώς στο κέντρο της
- να διαπιστώσουν πειραματικά (*1ο Πείραμα*) ότι κατά τη θέρμανση της μεταλλικής ράβδου, ακριβώς στο κέντρο της, η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις

Παρουσιάζεται στους μαθητές μία βαθμονομημένη μεταλλική ράβδος, στην οποία βρίσκονται πηγμένες σταγόνες κεριού σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο της (*Εικόνα 1*). Έπειτα, οι μαθητές καλούνται να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί εάν τοποθετήσουμε τη ράβδο σε μικρή κλίση (10ο) και τη θερμάνουμε ακριβώς στο κέντρο της. Αναμένεται να θεωρήσουν είτε ότι θα λιώσουν μόνο (ή πιο εύκολα) οι κάτω σταγόνες, λόγω βαρύτητας, είτε ότι θα λιώσουν μόνο (ή πιο εύκολα οι πάνω), διότι θα θεωρήσουν ότι η θερμότητα θα πάει προς τα πάνω.

Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος βαθμονομήθηκε από εμάς μία ράβδος αλουμινίου, ανά πέντε εκατοστά από το κέντρο της (*Εικόνα 1*). Αξίζει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση που το πείραμα λάβει χώρα με τοποθέτηση της ράβδου σε γωνία κλίσης

μεγαλύτερη των 10°, παρατηρείται να λιώνουν πιο γρήγορα οι πάνω σταγόνες, λόγω ρευμάτων μεταφοράς που δημιουργούνται στον αέρα. Ως εκ τούτου, η πραγματοποίηση του πειράματος με τοποθέτηση της ράβδου σε κλίση 10° ενισχύει διδακτικά τη διαδικασία σε αυτό το βήμα, αφού οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται στη ράβδο με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις.

Εικόνα 1: Στη μεταλλική ράβδο έχουν τοποθετηθεί από 3 σταγόνες πηγμένου κεριού στα 10, 15, 20 και 25 εκ. εκατέρωθεν του κέντρου της

Κατά την πραγματοποίηση του *1ου Πειράματος* (*Εικόνα 2*) η ράβδος θερμαίνεται με τη βοήθεια του φλόγιστρου ακριβώς στο κέντρο της και παρατηρείται ότι τα διαδοχικά ζευγάρια σταγόνων πηγμένου κεριού, σε ίση απόσταση εκατέρωθεν του κέντρου της, λιώνουν σχεδόν ταυτόχρονα. Συγκεκριμένα, λόγω των πολλών μεταβλητών που υπεισέρχονται στην πειραματική διαδικασία, παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις, στις χρονικές στιγμές, στις οποίες λιώνουν οι διαδοχικές σταγόνες πηγμένου κεριού. Έτσι, συχνά παρατηρείται, μεταξύ των σταγόνων ενός συγκεκριμένου ζεύγους σταγόνων, να λιώνει ελάχιστα πιο γρήγορα, είτε η σταγόνα που βρίσκεται πιο χαμηλά, είτε η σταγόνα που βρίσκεται πιο ψηλά ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Για τον λόγο αυτό και λαμβάνοντας υπόψη το μεθοδολογικό πλαίσιο μέσα στο οποίο υλοποιήθηκε η έρευνα, κρίθηκε σκόπιμο το εν λόγω πείραμα να προβληθεί στους μαθητές σε ψηφιακή μορφή.

Εικόνα 2: Πραγματοποίηση του 1ου πειράματος

Κατά την παρατήρηση του βίντεο οι μαθητές πιθανώς να εκφράσουν την άποψη, ότι κατά την αύξηση της υψομετρικής διαφοράς των διαδοχικών ζευγαριών πηγμένου κεριού, περιμένουν να παρατηρήσουν αποκλίσεις ως προς τον χρόνο στον οποίο λιώνουν οι σταγόνες. Ωστόσο, θα παρατηρήσουν ότι τα διαδοχικά ζευγάρια πηγμένων σταγόνων κεριού λιώνουν ταυτόχρονα και συνεπώς αναμένεται να έρθουν σε σύγκρουση με τις απόψεις που πιθανώς να εκφράσουν αρχικά, ότι η θερμότητα διαδίδεται μόνο (ή πιο εύκολα) προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

2ο Βήμα

Στο δεύτερο βήμα οι μαθητές καλούνται:

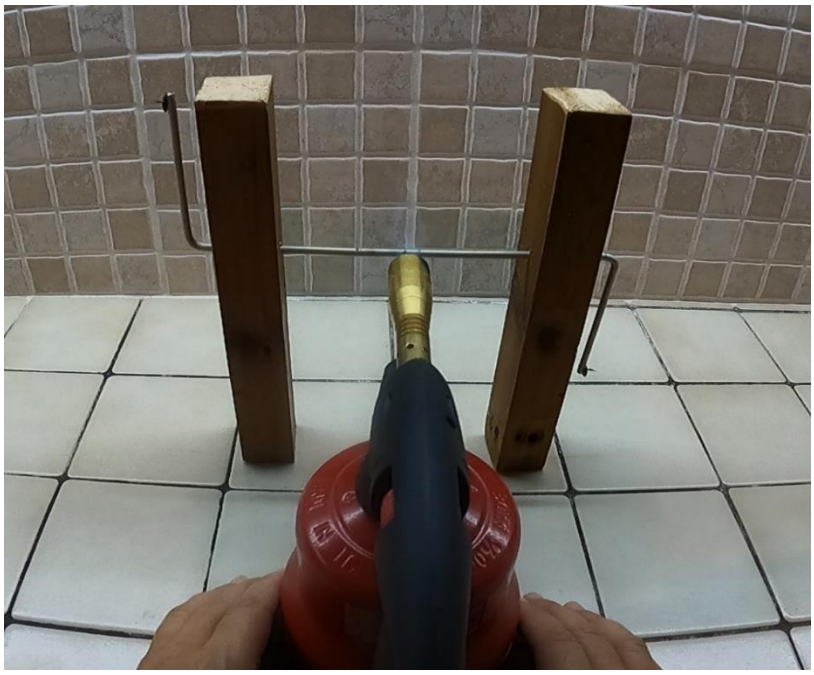
- να εκφράσουν και να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί σχετικά με τη διάδοση της θερμότητας, εάν αυξηθεί και άλλο η υψομετρική διαφορά των σταγόνων πηγμένου κεριού
- να διαπιστώσουν πειραματικά (*2ο Πείραμα*) ότι η αύξηση της υψομετρικής διαφοράς δεν επηρεάζει τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας
- να ερμηνεύσουν τη σχετική πειραματική παρατήρηση

Για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία που αναφέρθηκε στο προηγούμενο βήμα, όταν το *1ο Πείραμα* λαμβάνει χώρα με τοποθέτηση της ράβδου σε γωνία κλίσης μεγαλύτερης των 10ο, κατασκευάστηκε από εμάς μία διαφορετική πειραματική διάταξη (*Εικόνα 3*). Στους μαθητές παρουσιάζεται η εν λόγω πειραματική διάταξη και καλούνται να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί κατά τη θέρμανση της μεταλλικής βελόνας αυτής της διάταξης. Συγκεκριμένα, τους διευκρινίζεται ότι στα δύο άκρα της βελόνας έχουν τοποθετηθεί δύο πινέζες με τη βοήθεια μικρής ποσότητας κεριού και έπειτα καλούνται να μετρήσουν τα κάθετα τμήματα της διάταξης με τη βοήθεια ενός χάρακα και να υπολογίσουν τη διαφορά στο ύψος που έχουν οι πινέζες. Κατόπιν, τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: *«Εάν θερμάνουμε τη βελόνα με τη βοήθεια του φλόγιστρου ακριβώς στο κέντρο της περιμένετε να ξεκολλήσει κάποια πινέζα πιο γρήγορα ή πιο αργά από την άλλη και γιατί;»*

Εικόνα 3: Πειραματική διάταξη 2ου Πειράματος

Οι μαθητές αναμένεται είτε να θεωρήσουν ότι η αύξηση της υψομετρικής διαφοράς δε θα επηρεάσει τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας, είτε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί πιο γρήγορα προς τα πάνω ή προς τα κάτω, λόγω αύξησης της διαφοράς στο ύψος ή διαφορετικού σχήματος της διάταξης (κατακόρυφα τμήματα).

Κατά την πραγματοποίηση του *2ου Πειράματος* (*Εικόνα 4*) παρατηρείται ότι οι δύο πινέζες ξεκολλούν σχεδόν ταυτόχρονα από τη μεταλλική βελόνα. Ωστόσο, καθώς και σε αυτό το πείραμα υπεισέρχονται αρκετές μεταβλητές, κατά την πειραματική διαδικασία παρατηρούνται και εδώ μικρές αποκλίσεις στον χρόνο στον οποίο ξεκολλούν οι δύο πινέζες. Συνεπώς, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν στο 1ο βήμα κρίθηκε σκόπιμο και το εν λόγω πείραμα να βιντεοσκοπηθεί από εμάς και να προβληθεί στους μαθητές σε ψηφιακή μορφή.



Εικόνα 4: Πραγματοποίηση 2ου πειράματος

Μέσα από την πραγματοποίηση του *2ου Πειράματος* αναμένεται να παρατηρήσουν ότι οι δύο πινέζες ξεκολλούν ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα από τη μεταλλική βελόνα. Όσοι από τους μαθητές είχαν θεωρήσει ότι η αύξηση της υψομετρικής διαφοράς των σταγόνων δε θα επηρεάσει τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας, αναμένεται να ενισχύσουν την προηγούμενη άποψή τους, ενώ όσοι είχαν θεωρήσει ότι θα παρατηρηθούν αποκλίσεις στις χρονικές στιγμές που θα ξεκολλήσουν οι πινέζες, είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω, αναμένεται να έρθουν σε σύγκρουση με αυτές τις απόψεις.

3ο Βήμα

Στο τρίτο βήμα οι μαθητές καλούνται:

- να διατυπώσουν το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν αναφορικά με τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας στα μέταλλα

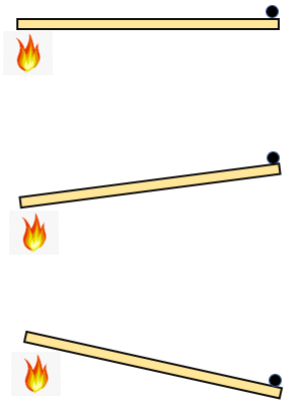
Αναμένεται να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα.

4ο Βήμα

Στο τέταρτο βήμα οι μαθητές καλούνται:

- να εφαρμόσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν στο προηγούμενο βήμα σε μία νέα κατάσταση.

Στους μαθητές παρουσιάζεται το σκίτσο της *Εικόνας 5* και ακολούθως τους τίθεται το εξής ερώτημα: *«Θα λιώσει το πηγμένο κερί σε κάποια από τις παραπάνω περιπτώσεις πιο γρήγορα ή πιο αργά από τις άλλες; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας»*.



Εικόνα 5: Σκίτσο δραστηριότητας εφαρμογής

Αναμένεται να θεωρήσουν ότι και στις τρεις περιπτώσεις οι σταγόνες θα λιώσουν το ίδιο γρήγορα.

3. Αποτελέσματα

Η εργασία βρίσκεται στη φάση της ανάλυσης των δεδομένων. Από τη μέχρι τώρα ανάλυση των δεδομένων του πρώτου διδακτικού πειράματος προκύπτουν τα ακόλουθα.

Στο *1ο βήμα*, ζητήθηκε από τους μαθητές να διατυπώσουν τις απόψεις τους αναφορικά με την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας, κατά τη θέρμανση της μεταλλικής ράβδου υπό κλίση. Η πλειοψηφία τους θεώρησε ότι η θερμότητα υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις και για αυτό τον λόγο θα διαδοθεί με πολύ γρήγορο ρυθμό προς την κάτω μεριά της ράβδου. Σημαντικός αριθμός μαθητών φάνηκε να ταυτίζει τη θερμότητα με τον ζεστό αέρα και για τον λόγο αυτό εξέφρασε την άποψη ότι θα διαδοθεί πολύ γρήγορα προς την πάνω μεριά της ράβδου και με σημαντικά πιο αργό ρυθμό προς την κάτω μεριά. Ωστόσο, μέσα από την πραγματοποίηση του *1ου Πειράματος* ήρθαν σε σύγκρουση με αυτές τους τις απόψεις, όταν παρατήρησαν τα διαδοχικά ζευγάρια πηγμένων σταγόνων κεριού να ξεκολλούν σχεδόν ταυτόχρονα από τη ράβδο. Στο σύνολό τους διατύπωσαν την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται σχεδόν ταυτόχρονα προς όλες τις κατευθύνσεις, παρατηρώντας μικρές αποκλίσεις της τάξης των δευτερολέπτων, είτε προς τα επάνω, είτε προς τα κάτω.

Στο *2ο βήμα*, οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί εάν αυξηθεί η υψομετρική διαφορά των σταγόνων κεριού, χρησιμοποιώντας μία διαφορετική πειραματική διάταξη. Αναφορικά με αυτό το ερώτημα στο σύνολό τους φάνηκε να επικρατούν δύο τάσεις. Η πλειοψηφία τους θεώρησε ότι λόγω του διαφορετικού σχήματος αυτής της διάταξης και συγκεκριμένα λόγω της παρουσίας των κατακόρυφων τμημάτων η θερμότητα θα διαδοθεί πιο γρήγορα είτε προς τα κάτω, είτε προς τα πάνω. Σημαντικός αριθμός μαθητών, ωστόσο θεώρησε ότι θα διαδοθεί και σε αυτή την περίπτωση με τον ίδιο ρυθμό, διότι δεν έχει σημασία η υψομετρική διαφορά. Η πραγματοποίηση του *2ου Πειράματος* αποτέλεσε κομβικό σημείο της ακολουθίας, καθώς φάνηκε να τους βοηθά να ξεπεράσουν τις εννοιολογικές δυσκολίες που εξέφρασαν. Όσοι από τους μαθητές θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί το ίδιο γρήγορα και σε αυτή την περίπτωση ενίσχυσαν αυτή τους την άποψη, ενώ όσοι θεώρησαν ότι θα διαδοθεί πιο γρήγορα είτε προς τα επάνω, είτε προς τα κάτω, λόγω του διαφορετικού σχήματος αυτής της διάταξης ήρθαν σε σύγκρουση με αυτές τους τις απόψεις όταν παρατήρησαν ότι διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις.

Στο *3ο βήμα*, στο σύνολό τους κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα, ανεξάρτητα από τη μεταβλητή του

ύψους. Αναφορικά με την ερμηνεία του φαινομένου, αξίζει να αναφερθεί, ότι σημαντικός αριθμός μαθητών έτεινε να αναφέρει ρητώς ότι η θερμότητα δεν μπορεί να έχει υλική υπόσταση.

Στο *4ο βήμα*, κατά την εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση, η πλειοψηφία τους εξέφρασε την άποψη ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας δεν επηρεάζεται από τη μεταβλητή του ύψους, αλλά από τις μεταβλητές του μήκους των ράβδων, της ποσότητας του πηγμένου κεριού και της έντασης της πηγής θερμότητας. Για τον λόγο θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με τον ίδιο ρυθμό και στις τρεις ράβδους του σκίτσου. Μόνο ένας μικρός αριθμός μαθητών θεώρησε ότι ο ρυθμός διάδοσής της θα διαφοροποιηθεί στην περίπτωση της ράβδου σε οριζόντια θέση.

4. Συμπεράσματα

Από τη μέχρι τώρα ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ότι μία ισχυρή τάση των μαθητών είναι η απόδοση υλικής υπόστασης στην έννοια της θερμότητας. Ωστόσο, η πραγματοποίηση πειραμάτων στα οποία οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν την ταυτόχρονη διάδοσή της σε σημεία ενός υλικού που έχουν κάποια υψομετρική διαφορά φαίνεται να τους βοηθά να αντιμετωπίσουν αυτή τους την εννοιολογική δυσκολία.

Από την ανάλυση των δεδομένων του δεύτερου διδακτικού πειράματος αναμένεται να αναδειχθούν οι αντιλήψεις των μαθητών αναφορικά με τη διάδοση της θερμότητας σε διάφορα υλικά σώματα και να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο είναι σε θέση να οικοδομήσουν τις έννοιες των καλών και κακών αγωγών της θερμότητας. Από την ανάλυση του τρίτου διδακτικού πειράματος αναμένεται να μελετηθεί ο βαθμός στον οποίο τείνουν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή στην περίπτωση του νερού και του αέρα. Παράλληλα, από την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων αναμένεται να προκύψουν και ευρήματα, τα οποία θα συμβάλλουν στη διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΑ σε μία πιθανή μελλοντική εφαρμογή της.

5. Βιβλιογραφία

Erickson, G. (1980). Children's viewpoints of heat: A second look. *Science Education, 64*(3), 323-336. https://doi.org/10.1002/sce.3730640307

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

Hatzikraniotis, E., Kallery, M., Molohidis, A., & Psillos, D. (2010). Students' design of experiments: an inquiry module on the conduction of heat. *Physics Education, 45*, 335-344. https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/4/002

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

Schönborn, K., Haglund, J., & Xie, C. (2014). Pupils' early explorations of thermoimaging to interpret heat and temperature. *Journal of Baltic Science Education, 13*(1), 118-132. https://doi.org/10.33225/jbse/14.13.118

She, H.-C. (2004). Fostering radical conceptual change through dual-situated learning model. *Journal of Research in Science Teaching, 14*(2), 142-164. https://doi.org/10.1002/tea.10130

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