



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΝΗΠΙΑΓΩΓΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΗΣ ΑΓΩΓΗΣ: ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ, ΤΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ»**

ΕΛΕΝΗ – ΜΑΡΙΑ ΒΑΛΚΑΝΟΥ

**Σχεδιασμός, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση Διδακτικής
Μαθησιακής Ακολουθίας στη Φυσική του Δημοτικού Σχολείου με
στόχο τη διερεύνηση των Μαθησιακών Μονοπατιών των μαθητών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΛΩΡΙΝΑ 2023

ΕΛΕΝΗ – ΜΑΡΙΑ ΒΑΛΚΑΝΟΥ

**Σχεδιασμός, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση Διδακτικής
Μαθησιακής Ακολουθίας στη Φυσική του Δημοτικού Σχολείου με
στόχο τη διερεύνηση των Μαθησιακών Μονοπατιών των μαθητών**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Ζουπίδης Αναστάσιος, Επιβλέπων

Σταράκης Ιωάννης, Μέλος τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής

Καριώτογλου Πέτρος, Μέλος τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους εκείνους που με βοήθησαν να πραγματοποιήσω τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία.

Αρχικά, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Α. Ζουπίδη για την επιστημονική καθοδήγηση και την υποστήριξή του σε όλες τις φάσεις της εργασίας. Παράλληλα, ευχαριστώ τον κ. Ι. Σταράκη, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής για την επιστημονική υποστήριξη και τις συμβουλές του σε όλα τα βήματα της εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω και από κοινού τους κ. Ζουπίδη και κ. Σταράκη, για την πρόθυμη και άμεση ανταπόκρισή τους σε προβληματισμούς και απορίες μου. Τα σχόλιά τους και οι επισημάνσεις τους με έκαναν να αναστοχαστώ ουσιαστικά πάνω σε πολλά ζητήματα. Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ. Π. Καριώτογλου, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής για τη στήριξη και τις γνώσεις που μου προσέφερε μέσα από τα μαθήματά του στο μεταπτυχιακό, οι οποίες είχαν σημαντικό αντίκτυπο στη θεμελίωση της εν λόγω εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τους διδάσκοντες και τις διδάσκουσες του μεταπτυχιακού προγράμματος, για τα εφόδια που μου προσέφεραν μέσα από τα μαθήματά τους και μέσα από τα ζητήματα που έθιγαν σε συζητήσεις που ακολουθούσαν παρουσιάσεις διπλωματικών εργασιών και εργασιών μαθημάτων εξαμήνου. Ιδιαίτερα ευχαριστώ την κ. Π. Παπαδοπούλου για τη γενικότερη στήριξη και βοήθειά της στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους μέντορες της ομάδας στην οποία συμμετείχα στο 4^ο Συνέδριο Νέων Ερευνητών/τριών της ΕΝΕΦΕΤ, οι οποίοι με τις παρατηρήσεις και τις συμβουλές τους με βοήθησαν να σκεφτώ αρκετά ζητήματα σε μεγαλύτερο βάθος. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τους κ. Α. Μολοχίδη, κ. Π. Παπαδοπούλου και κ. Δ. Σταύρου, οι οποίοι με τις καίριες επισημάνσεις τους σε συγκεκριμένα σημεία με βοήθησαν να βελτιώσω την εργασία.

Παράλληλα, ευχαριστώ τη διευθύντρια και τους εκπαιδευτικούς του σχολείου, στο οποίο έλαβε χώρα η έρευνα, για τη βοήθειά τους σε διαδικαστικά ζητήματα. Κυρίως όμως ευχαριστώ τους μαθητές και τις μαθήτριες, για την προθυμία με την οποία συμμετείχαν στην έρευνα.

Τέλος, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον πατέρα μου και την αδερφή μου για την κατανόηση και την ενθάρρυνσή τους σε στιγμές κούρασης και άγχους. Τον πατέρα μου τον ευχαριστώ και για τη βοήθειά του στη διαδικασία κατασκευής κάποιων από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
1. Θεωρητικό πλαίσιο.....	7
1.1 Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (ΔΜΑ).....	7
1.1.1 Εισαγωγή.....	7
1.1.2 Θεωρητικά πλαίσια για τον σχεδιασμό, ανάπτυξη και βελτίωση των ΔΜΑ.....	8
1.1.3 Αξιολόγηση των ΔΜΑ.....	14
1.2 Μαθησιακά Μονοπάτια.....	15
1.2.1 Εισαγωγή.....	15
1.2.2 Η συμβολή των Μονοπατιών Μάθησης σε ένα κονστρουκτιβιστικό πλαίσιο διδασκαλίας.....	16
1.2.3 Το Διδακτικό Πείραμα ως μεθοδολογική προσέγγιση για τη μελέτη των Μαθησιακών Μονοπατιών των μαθητών.....	17
1.2.4 Μελέτες που αναδεικνύουν τα Μαθησιακά Μονοπάτια.....	18
1.3 Η έννοια της Θερμότητας και οι μηχανισμοί διάδοσής της.....	21
1.3.1 Εισαγωγή.....	21
1.3.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή για την έννοια της Θερμότητας.....	21
1.3.3 Το επιστημονικό περιεχόμενο για την έννοια της Θερμότητας και τους μηχανισμούς διάδοσής της.....	22
1.3.4 Ιδέες μαθητών για θερμικές έννοιες και φαινόμενα.....	25
1.3.5 Διδακτικές προτάσεις για θερμικές έννοιες και φαινόμενα.....	32
1.4 Σύνοψη θεωρητικού μέρους.....	37
2. Μεθοδολογία της έρευνας.....	38
2.1 Σκοπός της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα.....	38
2.2 Συμμετέχοντες.....	39
2.3 Χρονικό διάστημα υλοποίησης της έρευνας.....	40
2.4 Εργαλεία της έρευνας.....	40
2.5 Συλλογή και ανάλυση των δεδομένων.....	40
3. Περιγραφή της ΔΜΑ.....	41
3.1 Εισαγωγή.....	41
3.2 Πρώτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στα μέταλλα.....	42
3.3 Δεύτερο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας σε διάφορα στερεά υλικά σώματα.....	51
3.4 Τρίτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στο νερό και τον αέρα.....	55
4. Αποτελέσματα.....	62
4.1 Εισαγωγή.....	62
4.2 Πρώτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στα μέταλλα.....	62

4.2.1	Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πρώτου διδακτικού πειράματος.....	62
4.2.2	Σύνοψη των αποτελεσμάτων του πρώτου διδακτικού πειράματος.....	85
4.3	Δεύτερο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας σε διάφορα στερεά υλικά σώματα.....	90
4.3.1	Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του δεύτερου διδακτικού πειράματος.....	90
4.3.2	Σύνοψη των αποτελεσμάτων του δεύτερου διδακτικού πειράματος	108
4.4	Τρίτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στο νερό και τον αέρα	111
4.4.1	Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του τρίτου διδακτικού πειράματος	111
4.4.2	Σύνοψη των αποτελεσμάτων του τρίτου διδακτικού πειράματος.....	130
5.	Συζήτηση.....	136
6.	Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	138
6.1	Συμπεράσματα της έρευνας.....	138
6.2	Προτάσεις, περιορισμοί και προεκτάσεις της έρευνας.....	139
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	142
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	150

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η εφαρμογή και η αξιολόγηση μίας Διδακτικής Μαθησιακής Ακολουθίας (ΔΜΑ) για τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή σε μαθητές Ε΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου (10-11 ετών). Απώτερος στόχος ήταν η καταγραφή των μαθησιακών μονοπατιών τους κατά την οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής άποψης για το εν λόγω φαινόμενο.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του διδακτικού πειράματος, η οποία συνδυάζει στοιχεία κλασικής συνέντευξης και διδασκαλίας. Σχεδιάστηκαν τρία διδακτικά πειράματα, διάρκειας 90 λεπτών το καθένα, τα οποία εφαρμόστηκαν σε 12 μαθητές Ε΄ τάξης (4 ομάδες των 3 μαθητών). Τα διδακτικά πειράματα βιντεοσκοπήθηκαν και ηχογραφήθηκαν. Εξαιτίας της διερευνητικής φύσης της έρευνας, για την ανάλυση των δεδομένων αξιοποιήθηκαν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου.

Κατά τον σχεδιασμό βασική επιδίωξη ήταν η αντιμετώπιση της εναλλακτικής ιδέας των μαθητών ότι η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού, καθώς και της ιδέας ότι ένα σώμα θεωρείται καλός αγωγός της θερμότητας με κριτήριο την ευκολία με την οποία μπορεί να θερμανθεί εξωτερικά. Τα τρία διδακτικά πειράματα αφορούσαν: α) στη διάδοση της θερμότητας στα μέταλλα και στόχος ήταν οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις σε αυτά τα υλικά, β) στη διάδοση της θερμότητας σε διάφορα στερεά υλικά σώματα και στόχος ήταν οι μαθητές να αποδώσουν τη διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα αυτών των υλικών στη διαφορετική τους σύσταση, και γ) στη διάδοση της θερμότητας στο νερό και τον αέρα, όπου στόχος ήταν οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι το νερό και ο αέρας είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας.

Από την έρευνα προέκυψε ότι μαθητές Ε΄ τάξης μπορούν να οικοδομήσουν στοιχεία του επιστημονικά αποδεκτού μοντέλου για την εξήγηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή. Αναδείχθηκαν συγκεκριμένα μονοπάτια μάθησης, μέσω των οποίων οι μαθητές είναι σε θέση να ξεπεράσουν τις εννοιολογικές τους δυσκολίες αναφορικά με την έννοια της θερμότητας και να μετατοπιστούν προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη για το υπό μελέτη φαινόμενο. Παράλληλα, αναδείχθηκαν σημαντικά ευρήματα τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για τον εμπλουτισμό της ΔΜΑ σε μία πιθανή μελλοντική εφαρμογή της.

Λέξεις κλειδιά: δημοτικό σχολείο, διδακτική μαθησιακή ακολουθία, θερμότητα, μονοπάτια μάθησης, διδακτικό πείραμα

Abstract

The purpose of this research was the design, development, implementation, and evaluation of a Teaching-Learning Sequence (TLS) on heat conduction in the 5th grade of Primary School (10-11 years old). Ultimate aim was to capture students' learning pathways, while constructing the scientifically accepted explanation of the phenomenon in question.

The study was carried out using the teaching experiment method approach, which combines typical interview and teaching elements. Three 90-minute teaching experiments were designed and applied to 12 5th graders (4 groups of 3 students). The teaching experiments were videotaped and recorded. Due to the exploratory nature of the research, qualitative content analysis methods were used for the analysis of the data.

Key point for the design of the TLS was the confrontation of students' alternative idea that the heat is a substance with fluid properties. As well as the confrontation of the idea that a body is considered to be heat's good conductor based on the ease with which it can be heated externally. The three teaching experiments focused on: a) heat conduction in metals, where the goal was for the students to discern that heat is conducted with the same rate to all directions in metals, b) heat conduction in various solid bodies, where the goal was for the students to attribute the difference in thermal conductivity of these bodies to their different composition, and c) heat conduction in water and air, where the goal was for the students to discern that water and air are bad conductors of heat.

The research indicates that 5th graders can construct elements of the scientifically accepted explanation of heat's conduction mechanism. Specific learning pathways emerged, through which the students can overcome their conceptual difficulties regarding the concept of heat and shift towards the scientific accepted model for the phenomenon in question. At the same time, important findings emerged which can be utilized for the enrichment of the TLS, in a possible future implementation.

Key words: primary education; teaching-learning sequence; heat; learning pathways; teaching experiment

1. Θεωρητικό πλαίσιο

1.1 Διδακτικές Μαθησιακές Ακολουθίες (ΔΜΑ)

1.1.1 Εισαγωγή

Ένας σημαντικός ερευνητικός τομέας στον χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (ΔΦΕ) αναφέρεται στον σχεδιασμό, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση των Διδακτικών Μαθησιακών Ακολουθιών (ΔΜΑ), οι οποίες στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται με τον όρο Teaching - Learning Sequences (TLS). Τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει διεξαχθεί ένας σημαντικός αριθμός θεωρητικών και εμπειρικών μελετών, μέσα από τις οποίες αναδεικνύονται θεωρητικά και μεθοδολογικά ζητήματα που άπτονται του σχεδιασμού και της ανάπτυξής τους (Ζουπίδης, 2012; Andersson & Bach, 2005; Bensson et al., 2010; Buty et al., 2004; Duit et al., 2012; Fazzio et al., 2008; Guisasola et al., 2017; Kabapinar et al., 2007; Kariotoglou, 2002; Kariotoglou et al., 2003; Kattmann et al., 1996; Leach & Scott, 2002; Lijnse, 1995; Lijnse & Klaassen, 2004; Méheut, 1997; Méheut, 2004; Méheut & Psillos, 2004; Psillos & Kariotoglou, 2016; Psillos et al., 2004; Psillos et al., 2005; Savinainen et al., 2005; Spyrtou et al., 2009; Tiberghien et al., 2009; Viennot & Ranson, 1999; West & Wallin, 2013). Το ενδιαφέρον για την έρευνα γύρω από τις ΔΜΑ έχει εξαπλωθεί και στη Βόρεια Αμερική, κυρίως υπό την ευρεία προοπτική της έρευνας βασισμένης στον σχεδιασμό (Design- Based Research, DBR) (Psillos & Kariotoglou, 2016).

Οι ΔΜΑ αναπτύχθηκαν σταδιακά από τη δεκαετία του 1980 έως σήμερα. Συγκεκριμένα συνιστούν απόρροια σειράς εμπειρικών μελετών που έλαβαν χώρα εκείνη την περίοδο και αφορούσαν σε εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για διάφορα φυσικά φαινόμενα, αλλά και στην ανάπτυξη θεωρητικών πλαισίων για τη διδασκαλία και τη μάθηση ως κονστрукτιβιστική διαδικασία (Méheut & Psillos, 2004). Οι προσπάθειες που συντελέστηκαν υπό αυτό το πρίσμα προωθούσαν την εννοιολογική μάθηση. Κεντρική θέση σε αυτές τις έρευνες είχε η άποψη ότι οι μαθητές κατασκευάζουν τη νέα γνώση βασιζόμενοι στις προϋπάρχουσες γνώσεις τους και όχι σε συγκεκριμένα μοντέλα που βασίζονται στο περιεχόμενο (Psillos & Kariotoglou, 2016). Ωστόσο, οι ερευνητές εκείνη την περίοδο επικεντρώνονταν περισσότερο στην ανάπτυξη γενικών εκπαιδευτικών και ψυχολογικών θεωριών. Σταδιακά, με την ανάπτυξη των ΔΜΑ αξιοποιήθηκαν αυτές οι γενικές θεωρίες και προτάθηκαν συγκεκριμένες εφαρμογές στις σχολικές τάξεις για διάφορα περιεχόμενα των ΦΕ (Lijnse, 2004).

Οι ΔΜΑ θεωρούνται μεσαίας κλίμακας αναλυτικά προγράμματα σπουδών (διάρκειας 5-15 ωρών) που αφορούν στη διδασκαλία και μάθηση συγκεκριμένων γνωστικών περιοχών των ΦΕ (Kariotoglou et al., 2003) και θεωρούνται προϊόντα Αναπτυξιακής Έρευνας (Developmental Research) (Lijnse & Klaassen, 2004). Αποτελούν δηλαδή ταυτόχρονα διδακτικές παρεμβάσεις και προϊόντα έρευνας, τα οποία περιλαμβάνουν αναμενόμενες αντιδράσεις μαθητών και καλά τεκμηριωμένες προτάσεις διδασκαλίας, εμπειρικά προσαρμοσμένες στη συλλογιστική των μαθητών (Psillos & Kariotoglou, 2016). Η χρήση του όρου ΔΜΑ υποδηλώνει τη στενή σχέση μεταξύ της προτεινόμενης διδασκαλίας και της προσδοκώμενης μαθησιακής πορείας, κατά την εφαρμογή της (Méheut & Psillos, 2004).

Οι ΔΜΑ δομούνται πάνω σε δύο διαστάσεις, την επιστημονική και την παιδαγωγική. Η επιστημονική αφορά στη σχέση ανάμεσα στο επιστημονικό περιεχόμενο και τον υλικό κόσμο, ενώ η παιδαγωγική αφορά στη σχέση μεταξύ του εκπαιδευτικού και των μαθητών. Το γεγονός αυτό καθιστά τις ΔΜΑ ένα ερευνητικό εργαλείο, μέσω του οποίου μπορούν να αναδειχθούν οι αρχές και τα κριτήρια του διδακτικού μετασχηματισμού του περιεχομένου που πρόκειται να διδαχθεί, αλλά και η πορεία μάθησης των μαθητών. Ως εκ τούτου, για το σχεδιασμό μίας κατάλληλης ΔΜΑ κρίνεται απαραίτητο να συνδυάζονται οι παραπάνω διαστάσεις, ώστε η ακολουθία να προσανατολίζεται στη διδασκαλία του συγκεκριμένου επιστημονικού περιεχομένου και να προσαρμόζεται στους συλλογισμούς των μαθητών, μέσω της επιλογής ενός κατάλληλου διδακτικού μοντέλου (Καριώτογλου, 2004).

Τα στάδια από τα οποία αποτελείται μία ΔΜΑ είναι ο σχεδιασμός, η ανάπτυξη, η εφαρμογή και η αξιολόγηση. Οι ερευνητές τείνουν να συμφωνούν ότι οι παραπάνω διαδικασίες είναι άρρηκτα συνυφασμένες σε μία κυκλική εξελικτική διαδικασία στον χρόνο, η οποία βασίζεται στην έρευνα και έχει ως στόχο τη συνύφανση της μαθητικής και της επιστημονικής προοπτικής (Lijnse & Klaassen, 2004). Συχνά μία ΔΜΑ αναπτύσσεται σταδιακά, μέσα από διαδοχικές υλοποιήσεις και τροφοδοτείται από πλούσια ερευνητικά δεδομένα, τα οποία συμβάλλουν στη βελτίωση και στον εμπλουτισμό της. Συγκεκριμένα, μετά το στάδιο της αξιολόγησης ακολουθούν βελτιωτικές διορθώσεις, ο επανασχεδιασμός της και ακολούθως η εκ νέου εφαρμογή της. Η εν λόγω διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η ΔΜΑ κριθεί αποτελεσματική βάσει των στόχων της (Méheut & Psillos, 2004). Μεταξύ των κύριων παραγόντων που επηρεάζουν τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των ΔΜΑ είναι η φύση και η εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης, τα ερευνητικά ευρήματα γύρω από τις αντιλήψεις και τους συλλογισμούς των μαθητών, οι εκπαιδευτικοί περιορισμοί, ο διδακτικός μετασχηματισμός του περιεχομένου, καθώς και οι τρέχουσες παιδαγωγικές προσεγγίσεις και εκπαιδευτικά πλαίσια για τη διδασκαλία και τη μάθηση (Duit, 2007; Kariotoglou, 2002; Lijnse, 1995 στο Ζουπίδης, 2012).

Οι Méheut & Psillos (2004) επισημαίνουν ότι οι ΔΜΑ θεωρούνται καινοτομικά προϊόντα έρευνας, τα οποία διαφέρουν ριζικά από τα ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα και μέσω της υλοποίησής τους φαίνεται να μπορούν να προωθηθούν καινοτομίες στον χώρο της εκπαίδευσης, οι οποίες αφορούν σε νέες στρατηγικές διδασκαλίας, διαδικασίες, εργαλεία, αλλά και στο περιεχόμενο.

1.1.2 Θεωρητικά πλαίσια για τον σχεδιασμό, ανάπτυξη και βελτίωση των ΔΜΑ

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται θεωρητικά πλαίσια, τα οποία αξιοποιούνται από τους ερευνητές, για να περιγράψουν τις διαδικασίες του σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της βελτίωσης μίας ΔΜΑ, αλλά και για να εντοπίσουν τους παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις διαδικασίες. Τα θεωρητικά πλαίσια, τα οποία αξιοποιούνται για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των μαθησιακών ακολουθιών θεωρούνται διαμεσολαβητές μεταξύ των μεγάλων θεωριών (grand theories), σχετικών με την παιδαγωγική, τη μάθηση, τα κίνητρα, την επιστημολογία κ.ά. και των απαιτήσεων για την ανάπτυξη των ΔΜΑ (Psillos & Kariotoglou, 2016). Τα σημαντικότερα από αυτά τα θεωρητικά πλαίσια είναι τα ακόλουθα:

(α) Το μοντέλο της Αναπτυξιακής Έρευνας

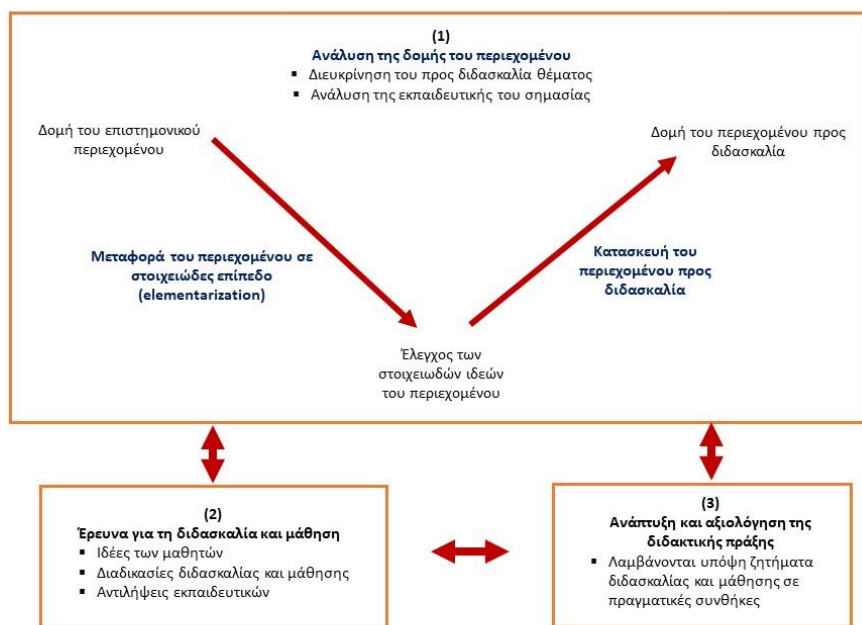
Σύμφωνα με το θεωρητικό πλαίσιο της Αναπτυξιακής Έρευνας (Developmental Research) (Lijnse, 1995; Lijnse & Klaassen, 2004) διακριτό χαρακτηριστικό των ΔΜΑ είναι η ένταξή τους σε μία κυκλική εξελικτική διαδικασία, μέσω της οποίας εμπλουτίζονται οι διαδικασίες του σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της εφαρμογής, με δεδομένα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους. Έτσι, μέσα από μία τέτοια διαδικασία οι ΔΜΑ μπορούν και επανασχεδιάζονται και βελτιώνονται. Σύμφωνα με τους Lijnse & Klaassen (2004) οι κονστρουκτιβιστικές θεωρίες συνιστούν ένα ευρύ πλαίσιο και για να έχουν αποτελέσματα στην πράξη, θα πρέπει να εστιάζουν σε συγκεκριμένο γνωστικό περιεχόμενο των ΦΕ. Έτσι, προκειμένου να διδαχθεί αυτό το περιεχόμενο στην τάξη, αναγκαία προϋπόθεση είναι ο σχεδιασμός κατάλληλων διδακτικών δομών. Συγκεκριμένα, ο ερευνητής προτείνει τη δημιουργία ενός σεναρίου, το οποίο θα αποτελείται από διαδοχικά συνεκτικά βήματα και θα περιλαμβάνει καλά τεκμηριωμένες δραστηριότητες. Παράλληλα, η χρήση του θα συμβάλλει στη βελτίωση και στον εμπλουτισμό αυτών των δραστηριοτήτων, αφού θα δίνει ανατροφοδότηση στον εκπαιδευτικό κατά την εφαρμογή του. Καίριας σημασίας σε μία τέτοια προσέγγιση φαίνεται να είναι η ανάλυση του περιεχομένου που πρόκειται να διδαχθεί, ο καθορισμός των στόχων, αλλά και η ανάλυση των συλλογισμών και των αντιλήψεων των μαθητών, ώστε να προκύπτουν όσο το δυνατόν καλύτερα σενάρια διδασκαλίας. Τα σενάρια αυτά συμβάλλουν στην ανάδειξη μαθησιακών διαδρομών, μέσω των οποίων εντοπίζονται μαθησιακές δυσκολίες και πιθανοί τρόποι χειρισμού τους (Lijnse, 1995; Lijnse & Klaassen, 2004). Στο πλαίσιο της Αναπτυξιακής Έρευνας, οι μαθητές φαίνεται να βρίσκονται στο επίκεντρο, καθώς έμφαση δίνεται στα κίνητρά τους και στην καλλιέργεια των μεταγνωστικών τους δεξιοτήτων. Ως εκ τούτου, η εν λόγω προσέγγιση φαίνεται να βασίζεται περισσότερο σε ψυχολογικές διαστάσεις της μάθησης (Psillos & Kariotolou, 2016).

(β) Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης

Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Educational Reconstruction) (Duit, 2007; Duit et al., 2012) φαίνεται να παρέχει στους ερευνητές μία πιο συγκεκριμένη δομή για την περιγραφή και ανάλυση των διαδικασιών σχεδιασμού και ανάπτυξης μίας ΔΜΑ (Ζουπίδης, 2012). Το συγκεκριμένο μοντέλο συγκροτείται από τις ακόλουθες τρεις, άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους, συνιστώσες: α) την ανάλυση της δομής του περιεχομένου που πρόκειται να διδαχθεί, β) τις εμπειρικές έρευνες για τη διδασκαλία και τη μάθηση και γ) την ανάπτυξη και την αξιολόγηση της διδασκαλίας (Σχήμα 1.1). Αναφορικά με την πρώτη συνιστώσα, στόχος είναι μέσα από την ανάλυση του επιστημονικού περιεχομένου να διαμορφωθεί το περιεχόμενο της διδασκαλίας. Έτσι, το προς διδασκαλία περιεχόμενο αναλύεται και οδηγείται σε στοιχειώδες επίπεδο (elementarization). Κατόπιν, οι στοιχειώδεις μονάδες που προκύπτουν από την ανάλυση επανοικοδομούνται στη βάση εκπαιδευτικών παραγόντων. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται υπόψη οι σκοποί και οι στόχοι της διδασκαλίας και της μάθησης του εν λόγω περιεχομένου, αλλά και η οπτική των μαθητών, όπως οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν και τα ενδιαφέροντά τους. Η δεύτερη συνιστώσα αναφέρεται στις εμπειρικές έρευνες σχετικές με τις ιδέες των μαθητών και την εξέλιξη τους προς την επιστημονική άποψη κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας, με διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης, καθώς και με τις ιδέες των εκπαιδευτικών. Τέλος, η τρίτη συνιστώσα αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονται και αξιολογούνται οι διδακτικές ενότητες, καθώς και σε περιορισμούς και

δυσκολίες που μπορεί να προκύψουν από την εφαρμογή της ΔΜΑ, σε πραγματικές συνθήκες τάξης (Duit, 2007; Duit et. al, 2012; Psillos & Kariotoglou, 2016).

Στο πλαίσιο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης έμφαση δίνεται στην ψυχοκοινωνική διάσταση της μάθησης, αφού στο επίκεντρο βρίσκεται ο μαθητής, ο εκπαιδευτικός και η μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Πρόκειται για ένα μοντέλο που ενσωματώνει μία ολοκληρωμένη κονστρουκτιβιστική οπτική, καθώς αφενός η διαδικασία «οικοδόμησης» της γνώσης θεωρείται μία ενεργή ατομική διαδικασία, μέσα σε ένα κοινωνικό περιβάλλον και αφετέρου το επιστημονικό περιεχόμενο θεωρείται μία αβέβαιη ανθρώπινη κατασκευή, η οποία δε συνιστά μία και μόνο αλήθεια (Psillos & Kariotoglou, 2016).



Σχήμα 1.1. Το μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Educational Reconstruction) (Duit, 2007)

(γ) Το μοντέλο του Διδακτικού Ρόμβου

Στο μοντέλο του Διδακτικού Ρόμβου (Didactical Rhombus) (Méheut & Psillos, 2004) επιχειρείται η οργάνωση/ κατηγοριοποίηση των προβληματισμών που εγείρονται κατά την ανάπτυξη μίας ΔΜΑ, σε δύο άξονες, στον κατακόρυφο που αντιπροσωπεύει την επιστημολογική διάσταση και στον οριζόντιο που αντιπροσωπεύει την παιδαγωγική. Η επιστημολογική διάσταση μπορεί να περιλαμβάνει, για παράδειγμα υποθέσεις για τις επιστημονικές μεθόδους και για τις διαδικασίες επεξεργασίας και επικύρωσης της επιστημονικής γνώσης που πρόκειται να διδαχθεί ή για τη σχέση μεταξύ επιστημονικής γνώσης και υλικού κόσμου. Η παιδαγωγική διάσταση μπορεί να περιλαμβάνει προβληματισμούς σχετικά με τον ρόλο του εκπαιδευτικού, τη διδακτική προσέγγισή του (δασκαλοκεντρική ή μαθητοκεντρική) και ως εκ τούτου το είδος της αλληλεπίδρασής του με τους μαθητές, καθώς και το είδος των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μαθητών. Στις πλευρές του ρόμβου και μεταξύ των σημείων «Μαθητές» και «Υλικός κόσμος» εντοπίζονται οι αντιλήψεις των μαθητών για τα φυσικά φαινόμενα, οι οποίες όσο

περισσότερο αποκλίνουν από την επιστημονική άποψη, τόσο πιο κοντά στο σημείο «Μαθητές» τοποθετούνται. Στην πλευρά που ορίζεται από τα σημεία «Μαθητές» και «Επιστημονική γνώση» εντοπίζονται ζητήματα που άπτονται των στάσεων των μαθητών απέναντι στην επιστημονική γνώση. Μέσω της συγκεκριμένης αναπαράστασης των διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν τη διαδικασία σχεδιασμού μίας ΔΜΑ, υποδεικνύεται η σχετική ανεξαρτησία επιστημολογικής και παιδαγωγικής διάστασης και επιδιώκεται να αναδειχθούν τα σημεία αλληλεπίδρασης των δύο αυτών διαστάσεων σε αυτή τη διαδικασία. Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται έρευνες που εστιάζουν είτε στη μία, είτε στην άλλη διάσταση ή σε συνδυασμό αυτών, ωστόσο οι ερευνητές γενικά τείνουν στις μελέτες τους να μη διευκρινίζουν τους παράγοντες που λαμβάνουν υπόψη κατά το σχεδιασμό, ιδίως τους εκπαιδευτικούς περιορισμούς (Méheut & Psillos, 2004).

(δ) Το μοντέλο της Βασισμένης στον Σχεδιασμό Έρευνας

Το μοντέλο της Βασισμένης στον Σχεδιασμό Έρευνας (Design- Based Research) (Brown, 1992; Design – based Research Collective, 2003; Tiberghien et al., 2009) αποτελεί ένα πλαίσιο μέσα από το οποίο προτείνεται μία συνεκτική μεθοδολογία που γεφυρώνει τη θεωρητική έρευνα και την εκπαιδευτική πρακτική. Οι ΔΜΑ που σχεδιάζονται υπό αυτό το πρίσμα, ενσωματώνουν συγκεκριμένες θεωρητικές θέσεις για τη διδασκαλία και τη μάθηση, τις οποίες συνδυάζουν με καινοτόμες πρακτικές (όπως η δημιουργία τεχνουργημάτων, η χρήση scaffolds κ.ά.). Ταυτόχρονα, η έρευνα αναφορικά με αυτές τις παρεμβάσεις μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία θεωριών, οι οποίες θα επικοινωνούν τα αποτελέσματα της έρευνας. Ένα άλλο διακριτό χαρακτηριστικό του εν λόγω πλαισίου είναι το γεγονός ότι κατά τον σχεδιασμό λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που αφορούν στην υλοποίηση της ΔΜΑ σε πραγματικές συνθήκες τάξης. Έτσι, σκοπός της έρευνας είναι μέσα από την εφαρμογή της, να αναδειχθούν τα στοιχεία εκείνα που μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της ακολουθίας. Τέλος, για την επίτευξη όλων όσων προαναφέρθηκαν κρίνεται απαραίτητη η συνεργασία ερευνητών και εκπαιδευτικών, κατά την υλοποίηση των διαδικασιών σχεδιασμού, ανάπτυξης και εφαρμογής της ΔΜΑ (Design – Based Research Collective, 2003).

(ε) Το μοντέλο Learning Demands (Μαθησιακών απαιτήσεων)

Το θεωρητικό πλαίσιο των Μαθησιακών Απαιτήσεων (Learning Demands) (Leach & Scott, 2002; Leach et al., 2010) ορίζει μία προσέγγιση για τον σχεδιασμό των ΔΜΑ, η οποία υιοθετεί την οπτική του κοινωνικού κονστρουκτιβισμού στη διδασκαλία και τη μάθηση. Συγκεκριμένα, η εν λόγω προσέγγιση έχει ως βάση κοινωνικοπολιτισμικές προσεγγίσεις για την εννοιολόγηση της μάθησης. Βάρος δίνεται στη σημασία που κατέχει η ανάπτυξη μίας νέας κοινωνικής γλώσσας των μαθητών, μέσω της οποίας θα καταφέρουν να οικοδομήσουν τις προσωπικές τους ερμηνείες αναφορικά με τη γλώσσα της επιστήμης. Η έννοια των Μαθησιακών Απαιτήσεων προσφέρει έναν τρόπο αξιολόγησης των διαφορών που εντοπίζονται μεταξύ των δύο αυτών γλωσσών. Μέσα από τον εντοπισμό των μαθησιακών απαιτήσεων, οι ερευνητές επιδιώκουν να εστιάσουν στις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι μαθητές, όταν προσεγγίζουν μία συγκεκριμένη πτυχή της σχολικής επιστήμης, έτσι ώστε ακολούθως ο σχεδιασμός της διδασκαλίας να επικεντρωθεί σε αυτές τις μαθησιακές απαιτήσεις. Η εν λόγω προσέγγιση τονίζει τη σημασία της ανάπτυξης

διδασκικών δραστηριοτήτων βασισμένων στον σχεδιασμό, αλλά και του καθοριστικού ρόλου του εκπαιδευτικού στη διαμεσολάβηση αυτών των δραστηριοτήτων. Οι ερευνητές που προτείνουν αυτό το πλαίσιο θεωρούν ότι συχνά παραμελείται ο ρόλος του εκπαιδευτικού σε ερευνητικές εργασίες, πιθανώς λόγω της έλλειψης κατάλληλων θεωρητικών εργαλείων ικανών να περιγράψουν και να αξιολογήσουν τη δραστηριότητά του. Ως εκ τούτου, και προκειμένου να καλύψουν αυτή την ανάγκη, προτείνουν εργαλεία, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστούν τα διαφορετικά είδη επικοινωνιακής προσέγγισης που χρησιμοποιούνται από τους εκπαιδευτικούς στη διδασκαλία. Έτσι, ένα άλλο διακριτό χαρακτηριστικό αυτού του πλαισίου είναι το γεγονός ότι η αξιολόγηση των ΔΜΑ γίνεται όχι μόνο μέσω της συλλογής δεδομένων σχετικών με τη μάθηση των μαθητών αναφορικά με τους διδακτικούς στόχους, αλλά κυρίως επιδιώκεται η συλλογή δεδομένων αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο διεξήχθη η διδασκαλία (τρόπος οργάνωσης διδασκικών δραστηριοτήτων και τρόπος επικοινωνίας του εκπαιδευτικού με τους μαθητές) (Leach & Scott, 2002; Leach et al., 2010).

(στ) Το μοντέλο Δύο Κόσμοι (Two Worlds)

Μέσα από το μεθοδολογικό πλαίσιο των Δύο Κόσμων (Two Worlds) (Buty et al., 2004) προτείνονται σχεδιαστικές αρχές για τις ΔΜΑ, οι οποίες βασίζονται στην επιστημολογία των πειραματικών επιστημών και στη θεωρία μάθησης του Vygotsky. Η γνώση σε αυτό το μοντέλο κατηγοριοποιείται σε καθημερινή και επιστημονική. Κάθε κατηγορία προσφέρει ιδέες για την περιγραφή των αντικειμένων και των γεγονότων μέσα στον υλικό κόσμο. Οι ερευνητές που προτείνουν αυτό το πλαίσιο χρησιμοποιούν το τρίγωνο της γνώσης, της διδασκαλίας και της μάθησης και αναζητούν μεγάλες θεωρίες που σχετίζονται με αυτούς τους τρεις πόλους (Psillos & Kariotoglou, 2016). Παράλληλα, μία τάξη ΦΕ θεωρείται μία εκπαιδευτική κοινότητα στην οποία συμμετέχουν οι μαθητές και ο ρόλος τους εκπαιδευτικού σε αυτή είναι να μεταφέρει ορισμένες από τις γνώσεις και πρακτικές των επιστημόνων. Συνεπώς, η διαδικασία της μοντελοποίησης θεωρείται από τους ερευνητές κομβικής σημασίας και προτείνεται ως κύρια δραστηριότητα στη διδασκαλία και μάθηση των ΦΕ (Buty et al., 2004).

(ζ) Το μοντέλο της Θεωρίας Εστιασμένης στο Περιεχόμενο

Σύμφωνα με το μοντέλο της Θεωρίας Εστιασμένης στο Περιεχόμενο (Content Specific Theory - CST) (Andersson & Bach, 2005; Andersson et al., 2005), οι σχεδιαστικές αρχές μίας ΔΜΑ θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όχι μόνο γενικές θεωρίες, αλλά και να εστιάζουν σε συγκεκριμένο επιστημονικό περιεχόμενο, προκειμένου να είναι αποτελεσματικές και μέσω αυτών να ευνοείται η κατανόηση. Η εν λόγω προσέγγιση εμπεριέχει όψεις που αφορούν στο περιεχόμενο (περιορισμένες σε συγκεκριμένο επιστημονικό περιεχόμενο), σε πτυχές της φύσης της επιστήμης (περιορισμένες στη σχολική επιστήμη), αλλά και σε γενικές πτυχές (εκτός πλαισίου σχολικής επιστήμης) και επικεντρώνεται σε ζητήματα όπως η κατανόηση των μαθητών, η φύση του θέματος και ο ρόλος του εκπαιδευτικού στη διδακτική πράξη. Η υιοθέτηση του συγκεκριμένου πλαισίου μπορεί να συμβάλλει στην ανάπτυξη μίας εκπαιδευτικής/ σχολικής επιστήμης (educational science), η οποία για παράδειγμα μπορεί να περιλαμβάνει τις ιδιαίτερες συνθήκες που απαιτείται να ληφθούν υπόψη για τη διδασκαλία συγκεκριμένης γνωστικής περιοχής σε πραγματικές συνθήκες

τάξης. Τέλος, οι ερευνητές που προτείνουν αυτό το μοντέλο θεωρούν ότι οι σχεδιαστές που αναπτύσσουν μία ΔΜΑ θα μπορούσαν να παρέχουν γενικές αρχές/ προτάσεις για τους εκπαιδευτικούς, καθώς και τα κατάλληλα υλικά, ώστε να μπορούν να αναπτύξουν οι ίδιοι σχετικές δραστηριότητες (Andersson & Bach, 2005; Andersson et al., 2005).

(η) Το μοντέλο Κόσμος – Ιδέες - Τεκμήρια

Οι Psillos et al. (2004) προτείνουν ένα θεωρητικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των ΔΜΑ, μέσω του οποίου επιχειρείται μία επιστημολογική μοντελοποίηση των δραστηριοτήτων που περιλαμβάνει μία διδασκαλία. Για την ανάπτυξη του εν λόγω μοντέλου, οι ερευνητές βασίστηκαν σε μελέτες που αφορούν στις επιστημονικές πρακτικές και ειδικότερα στη θεωρία του Hacking, υποστηρίζοντας ότι αυτές οι πρακτικές μπορούν να εφαρμοστούν όχι μόνο σε επαγγελματικό πλαίσιο, αλλά και σε εκπαιδευτικό (Ζουπιδής, 2012). Το μοντέλο που πρότειναν περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες: Κόσμος, Τεκμήρια και Ιδέες (Cosmos, Evidence, Ideas - CEI). Το πλαίσιο αυτό εφαρμόστηκε προκειμένου να μοντελοποιηθούν οι διδακτικές δραστηριότητες τριών ΔΜΑ σχετικών με τα ρευστά. Οι ερευνητές επεδίωξαν να εντοπίσουν σχέσεις ή όχι μεταξύ των τριών κατηγοριών και προσπάθησαν να αναδείξουν τις δυνατότητες που έχουν οι μαθητές κατά τη διδασκαλία των ΦΕ, μέσω των οποίων πραγματοποιείται σύνδεση μεταξύ του κόσμου των θεωριών και του πραγματικού κόσμου (Psillos et al., 2004). Τα ευρήματα της έρευνας έδειξαν ότι η αξιοποίηση του μοντέλου CEI, μπορεί να ενισχύσει τη διαδικασία του σχεδιασμού των διδακτικών δραστηριοτήτων μίας ΔΜΑ, αλλά και να αναδείξει σημαντικά στοιχεία που επηρεάζουν τη διαδικασία της ανάπτυξής της, υπό τον περιορισμό πάντα της επιστημολογικής ανάλυσης, στο μικρο – επίπεδο που αφορά στη διδακτική δραστηριότητα της εκάστοτε ΔΜΑ (Ζουπιδής, 2012).

(θ) Το μοντέλο του Pickering

Δεδομένου ότι οι ΔΜΑ περιλαμβάνουν σύνθετες αλληλεπιδράσεις, η εμπειρική βελτίωσή τους συνιστά μία διαδικασία κομβικής σημασίας. Συνήθως, η επαναληπτική βελτίωση των ακολουθιών περιλαμβάνει αρκετούς κύκλους διαδοχικών υλοποιήσεων και συνακόλουθη συλλογή δεδομένων. Μάλιστα, ένας μακροπρόθεσμος σχεδιασμός φαίνεται να περιλαμβάνει διαφορετικούς τρόπους βελτίωσης και εμπειρικής τεκμηρίωσης μεταξύ των διαδοχικών υλοποιήσεων. Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν την πλήρη εφαρμογή της ακολουθίας σε επίπεδο ολομέλειας τάξης, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητά της (Méheut & Psillos, 2004).

Για την ανάδειξη, περιγραφή και ερμηνεία των βελτιωτικών αλλαγών μίας ΔΜΑ, από μία εφαρμογή της, ως την επόμενη έχει προταθεί το μοντέλο του Pickering (Zoupidis et al., 2016; Kariotoglou et al., 2003). Οι ερευνητές που προτείνουν αυτό το πλαίσιο θεωρούν ότι οι διδακτικές δραστηριότητες, από τις οποίες συγκροτούνται οι ΔΜΑ, καθώς και οι μεταξύ τους σχέσεις επηρεάζονται από τρεις βασικούς παράγοντες: α) τον εκπαιδευτικό, β) τον υλικό και γ) τον επιστημονικό. Πιο αναλυτικά, ο εκπαιδευτικός παράγοντας σχετίζεται με όψεις του εκπαιδευτικού συστήματος, των αναλυτικών προγραμμάτων και του συγκεκριμένου σχολείου ή της τάξης που εφαρμόζεται η ακολουθία (π.χ. χαρακτηριστικά εκπαιδευτικών και μαθητών, διοίκηση σχολείου κ.ά.). Ο υλικός παράγοντας αφορά στις υλικοτεχνικές υποδομές του σχολείου (π.χ. υλικά και διατάξεις εργαστηρίου ΦΕ, χρήση απλών υλικών καθημερινής χρήσης κ.ά.) και τέλος, ο επιστημονικός αφορά σε όψεις της

ΔΦΕ ως επιστημονικής δραστηριότητας (π.χ. τρέχουσες θεωρίες μάθησης κ.ά.) (Ζουπιδής, 2012). Οι παράγοντες αυτοί περιορίζουν τις διάφορες δραστηριότητες κατά την ανάπτυξη της ακολουθίας, καθώς και τις σχέσεις μεταξύ τους (αντίσταση, προσαρμογή, στόχος) και είναι πιθανό να επηρεάσουν τη διαδικασία βελτίωσης μίας ΔΜΑ. Έτσι, οι ερευνητές ή οι εκπαιδευτικοί που παράγουν μία ΔΜΑ καλούνται να επιτύχουν τους στόχους τους και να ξεπεράσουν τις αντιστάσεις που συναντούν, μέσα από την εφαρμογή διαδοχικών προσαρμογών (Kariotoglou et al., 2003; Ζουπιδής, 2012). Συγκεκριμένα, οι στόχοι αναφέρονται στους διδακτικούς στόχους και στα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα, οι αντιστάσεις στις δυσκολίες που εμφανίζονται κατά τη διαδικασία σχεδιασμού, ανάπτυξης και εφαρμογής της ΔΜΑ και οι προσαρμογές στις αλλαγές που πραγματοποιούνται στην ακολουθία, προκειμένου να ξεπεραστεί η αντίσταση (Ζουπιδής, 2012).

1.1.3 Αξιολόγηση των ΔΜΑ

Η επαναληπτική διαδικασία ανάπτυξης των ΔΜΑ θεωρείται θεμελιώδες χαρακτηριστικό τους, το οποίο τις καθιστά τεκμηριωμένα αποτελεσματικές. Μετά από κάθε εφαρμογή λαμβάνουν χώρα η ανάλυση, ο σχεδιασμός και η αξιολόγηση. Μέσα από τη διαδικασία της ανάλυσης αναδεικνύεται κυρίως, η συμφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων και των επιδιωκόμενων στόχων. Εν συνεχεία, τα αποτελέσματα συμβάλλουν στην αναθεώρηση του σχεδιασμού και επιδιώκεται η κάλυψη πιθανών κενών μεταξύ υλοποιούμενων και προσδοκώμενων στόχων. Στο τέλος ενός κύκλου σχεδιασμού, το στάδιο της ανάπτυξης μίας ΔΜΑ καθορίζει το είδος των δραστηριοτήτων αξιολόγησης που μπορούν να πραγματοποιηθούν. Η αξιολόγηση μπορεί να αφορά σε ολόκληρη τη ΔΜΑ, στις μονάδες που την αποτελούν, ακόμα και στις διάφορες δραστηριότητες και την αλληλουχία τους. Συνεπώς, δεν αξιολογούνται μόνο τα τελικά αποτελέσματα, αλλά και κάποιες υποθέσεις της ακολουθίας σε μεγαλύτερο βάθος (Tiberghien et al., 2009).

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται δύο μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ΔΜΑ: α) η σύγκριση της αρχικής και της τελικής γνωστικής κατάστασης των μαθητών και β) η ανάδειξη των γνωστικών μονοπατιών (learning pathways) των μαθητών κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μαθησιακής ακολουθίας (Méheut & Psillos, 2004; Psillos & Kariotoglou, 1999).

Στόχος της πρώτης προσέγγισης είναι η αξιολόγηση και ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της ΔΜΑ συγκριτικά με τους διδακτικούς στόχους που επιδιώκεται να επιτευχθούν. Τα δεδομένα σε αυτή την περίπτωση συλλέγονται μέσω της χορήγησης γραπτών ερωτηματολογίων, πριν και μετά την εφαρμογή της, ενώ η αξιολόγηση διακρίνεται σε εσωτερική και εξωτερική. Η εσωτερική αφορά στη σύγκριση των απαντήσεων στα ερωτηματολόγια, μαθητών στους οποίους εφαρμόστηκε η ΔΜΑ και έχει ως στόχο την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς της βάσει των διδακτικών στόχων που έχουν τεθεί εξ αρχής. Η εξωτερική αφορά στη σύγκριση των απαντήσεων που έδωσαν μαθητές στους οποίους εφαρμόστηκε η ΔΜΑ με απαντήσεις μαθητών ίδιου γνωστικού επιπέδου, στους οποίους δεν εφαρμόστηκε η ακολουθία. Στόχος σε αυτή την περίπτωση είναι η εγκυροποίηση της αποτελεσματικότητας της ακολουθίας, έναντι διαφορετικού είδους διδασκαλιών που αφορούν στους ίδιους αρχικούς στόχους (Méheut & Psillos, 2004).

Σε ό,τι αφορά στη δεύτερη μεθοδολογική προσέγγιση στόχος είναι η ανάδειξη και μελέτη των μαθησιακών διαδικασιών καθ' όλη τη διάρκεια εφαρμογής της ΔΜΑ. Η λεπτομερής περιγραφή των μαθησιακών μονοπατιών (learning pathways) των μαθητών μπορεί να συμβάλλει στην αξιολόγηση συγκεκριμένων μαθησιακών καταστάσεων και ως εκ τούτου και στη συνολική αξιολόγηση της ακολουθίας, συμβάλλοντας στη βελτίωση αυτών των καταστάσεων, ενώ, παράλληλα, μπορεί να βοηθήσει στον έλεγχο των υποθέσεων βάσει των οποίων σχεδιάστηκαν αυτές οι μαθησιακές καταστάσεις (Méheut & Psillos, 2004).

1.2 Μαθησιακά Μονοπάτια

1.2.1 Εισαγωγή

Όπως προαναφέρθηκε ο όρος Μαθησιακά Μονοπάτια (learning pathways) αναφέρεται σε μία σημαντική μεθοδολογική προσέγγιση για την αξιολόγηση μίας ΔΜΑ, η οποία συμβάλλει στην ανάδειξη σημαντικών όψεων της μαθησιακής διαδικασίας, αλλά και στην αξιολόγηση συγκεκριμένων διδακτικών – μαθησιακών καταστάσεων. Ως εκ τούτου, οι αναλύσεις των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μελετηθεί και η αποτελεσματικότητα μίας συγκεκριμένης μαθησιακής κατάστασης, εκτός από τη συνολική αξιολόγηση της ακολουθίας (Méheut & Psillos, 2004).

Ο συγκεκριμένος όρος εντοπίζεται στη βιβλιογραφία και ως γνωστικά μαθησιακά μονοπάτια (cognitive learning pathways), γνωστικές διαδρομές (cognitive itineraries), εννοιολογικά μονοπάτια (conceptual pathways) (Méheut & Psillos, 2004), μαθησιακές διαδικασίες (learning processes) (Stavrou et al., 2008) και ως μονοπάτια σκέψης (thinking pathways) (Johann et al., 2022).

Τα μονοπάτια μάθησης μπορούν να θεωρηθούν ως στιγμιότυπα της εξέλιξης των μαθητών σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, δηλαδή αφορούν σε μία περιοδική εικόνα της μαθησιακής διαδικασίας ή ακόμα σε ένα συνεχές αυτής. Παράλληλα, παρέχουν λεπτομερείς περιγραφές του τρόπου με τον οποίο αλλάζει η κατανόηση συγκεκριμένων εννοιών από τους μαθητές (Petri & Niedderer, 1998). Συχνά ένα μαθησιακό μονοπάτι θεωρείται μία διαδρομή μάθησης, κατά μήκος της οποίας περνούν οι μαθητές προκειμένου να αναπτύξουν κατανόηση σε οποιονδήποτε τομέα των ΦΕ. Τα μονοπάτια παρέχουν μία επισκόπηση της διδασκαλίας και της μαθησιακής πορείας. Δείχνουν πώς αρθρώνονται οι αντιλήψεις των μαθητών με νέες ιδέες και πώς μετατρέπονται σε επιστημονικά αποδεκτές. Οι διαδρομές αυτές των μαθητών έχουν μία αρχή (ένα υποστήριγμα) και ένα τέλος. Η αρχή αναφέρεται στις ιδέες που «φέρνει» ο μαθητής στην αρχή της διδασκαλίας και το τέλος στην εννοιολογική κατανόηση που κατασκευάζει, ως αποτέλεσμα της διδασκαλίας. Ως εκ τούτου, κάθε μαθησιακό μονοπάτι φαίνεται ότι μπορεί να είναι ξεχωριστό/ μοναδικό/ ιδιόμορφο για τον κάθε μαθητή. Ωστόσο, όπως ακριβώς εντοπίζονται πρότυπα αναφορικά με τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, έτσι και στα μονοπάτια μάθησης φαίνεται ότι μπορούν να εντοπιστούν ομοιότητες στα διάφορα είδη εννοιολογικών οδών που ακολουθούν οι μαθητές, κατά τη μάθηση συγκεκριμένων γνωστικών περιοχών (Scott, 1992).

1.2.2 Η συμβολή των Μονοπατιών Μάθησης σε ένα κονστрукτιβιστικό πλαίσιο διδασκαλίας

Σε ένα κονστрукτιβιστικό πλαίσιο διδασκαλίας και μάθησης, ο εντοπισμός πληροφοριών αναφορικά με το πώς εμφανίζονται και πώς εξελίσσονται οι ιδέες των μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας είναι κομβικής σημασίας διαδικασία. Συνεπώς, η συστηματική παρακολούθηση της μαθησιακής πορείας φαίνεται να μπορεί να αξιοποιηθεί σε ένα τέτοιο πλαίσιο, τόσο για την παρακολούθηση της γνωστικής εξέλιξης των μαθητών, αλλά και τον αποτελεσματικότερο σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων.

Από την ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας (Duit, 2009) παρατηρείται ότι οι μαθητές έχουν καλά διαμορφωμένες αντιλήψεις για διάφορα φυσικά φαινόμενα που εξετάζονται στο σχολικό πλαίσιο. Συχνά αυτές οι αντιλήψεις διαφέρουν ριζικά από τις αντίστοιχες επιστημονικά αποδεκτές. Σε αυτό το πλαίσιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον φαίνεται να παρουσιάζει η επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής. Από κονστрукτιβιστική σκοπιά, η εννοιολογική αλλαγή σημαίνει διαβαθμισμένες τροποποιήσεις στις γνωστικές δομές των μαθητών, οι οποίες μπορεί να σηματοδοτούν μετάβαση από διαισθητικές σε επιστημονικά αποδεκτές αντιλήψεις. Ο όρος δεν αφορά σε μία απλή προσθήκη ή ανταλλαγή στις αντιλήψεις των μαθητών, αλλά αναφέρεται σε μία ουσιαστική αναδιοργάνωση των εναλλακτικών ιδεών τους, προς την κατεύθυνση της κατανόησης των επιστημονικών εννοιών. Πρόκειται για μία αργή διαδικασία, η οποία περιέχει πολλές παραμέτρους (Vosniadou & Skopeliti, 2004). Για να επιφέρει μία διδασκαλία εννοιολογική αλλαγή είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών και στη συνέχεια μέσα από το σχεδιασμό κατάλληλων δραστηριοτήτων να επιδιωχθεί οι μαθητές να αντιληφθούν ότι οι ιδέες τους δεν μπορεί να είναι εφικτές. Η διάσταση αυτή από τις αρχικές τους απόψεις είναι πιθανό να προκαλέσει αλλαγή στον συλλογισμό τους (Duit & Treagust, 2003). Ο Taber (2017) επισημαίνει ότι η εννοιολογική αλλαγή δε συνεπάγεται ότι οι αρχικές αντιλήψεις των μαθητών εκλείπουν. Αντίθετα, οι αρχικές αντιλήψεις, ιδιαίτερα όσες κατέχουν μία επεξηγηματική δύναμη σε μη επιστημονικά πλαίσια, μπορεί να συνυπάρχουν μαζί με νέες αντιλήψεις. Σύμφωνα με τους Duit & Treagust (2003) στα μαθησιακά μονοπάτια μπορεί να εντοπίζεται εννοιολογική αλλαγή από τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών προς τις επιστημονικά αποδεκτές, που επιδιώκεται να διδαχθούν μέσω της διδασκαλίας.

Σε ό,τι αφορά στη διαδικασία σχεδιασμού, οι Niedderer et al. (1992) υποστηρίζουν ότι η περιγραφή των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών σε συγκεκριμένους γνωστικούς τομείς, δηλαδή η τεκμηρίωση του πώς αναπτύσσονται οι ιδέες των μαθητών σε ένα δεδομένο πεδίο, κατά τη διάρκεια μίας μαθησιακής ακολουθίας μπορεί να συμβάλλει στον αποτελεσματικό σχεδιασμό εκπαιδευτικού υλικού. Η άποψη αυτή φαίνεται να είναι σε συμφωνία και με την άποψη του Scott (1992), ο οποίος αναφέρει ότι η κατανόηση της εξέλιξης των ιδεών των μαθητών, μέσω της ανάδειξης των μαθησιακών μονοπατιών, μπορεί να βοηθήσει τους ερευνητές στο να αναπτύξουν κατάλληλες διδακτικές προσεγγίσεις, οι οποίες θα υποστηρίζουν αυτή την εξέλιξη. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται με την προσεκτική παρακολούθηση ενός μαθητή ή μίας μικρής ομάδας μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας μπορεί να παρέχει σημαντικές ενδείξεις:

- i) για την κατάσταση των αντιλήψεων των μαθητών*

- ii) για την περιγραφή της αυξανόμενης πολυπλοκότητας και σταθερότητας των εννοιών
- iii) για την περιγραφή του ρόλου της γνωστικής σύγκρουσης
- iv) για την περιγραφή των αλλαγών στις επιστημολογικές πεποιθήσεις των μαθητών

Επιπλέον, οι Niedderer et al. (1992) τονίζουν ότι ο σχεδιασμός της διδασκαλίας που βασίζεται ρητά σε ενδιάμεσες καταστάσεις ή ενδιάμεσες αντιλήψεις μαθητών μπορεί να διευκολύνει την επίτευξη των διδακτικών στόχων.

Συνοψίζοντας, ο αποτελεσματικός σχεδιασμός εκπαιδευτικού υλικού φαίνεται να απαιτεί την κατανόηση της φύσης της εννοιολογικής συλλογιστικής των μαθητών, αλλά και των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν, ενώ η αξιολόγηση των εκπαιδευτικών στρατηγικών μπορεί να πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο μελετών που έχουν σχεδιαστεί, ώστε να τεκμηριώνουν τα μαθησιακά μονοπάτια των μαθητών σε διάφορους γνωστικούς τομείς (Niedderer et al., 1992).

1.2.3 Το Διδακτικό Πείραμα ως μεθοδολογική προσέγγιση για τη μελέτη των Μαθησιακών Μονοπατιών

Σύμφωνα με τους Komorek & Duit (2004) στη βιβλιογραφία εντοπίζεται ένα ευρύ φάσμα μεθόδων για τη μελέτη των μαθησιακών διαδικασιών, υπό το πρίσμα της προοπτικής της εννοιολογικής αλλαγής και του κοινωνικού κονστρουκτιβισμού. Βασικά χαρακτηριστικά αυτών των μεθόδων είναι η εστίαση στη μελέτη των μεμονωμένων αντιλήψεων των μαθητών και των μαθησιακών διαδικασιών και η μοντελοποίηση των διαδικασιών συλλογικής κατασκευής νοήματος, καθώς επιδιώκεται η περιγραφή των αλληλεπιδράσεων που πραγματοποιούνται σε ένα συγκεκριμένο κοινωνικό και υλικό μαθησιακό περιβάλλον. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές η μέθοδος του Διδακτικού Πειράματος (Teaching Experiment) φαίνεται να διαθέτει τα παραπάνω χαρακτηριστικά και να θεωρείται κατάλληλη για τη διερεύνηση των διαδικασιών διδασκαλίας και μάθησης.

Το διδακτικό πείραμα αναπτύχθηκε πρώτη φορά από τον Steffe (1983), στο πλαίσιο της διδακτικής των Μαθηματικών και αργότερα τροποποιήθηκε από τους Katt et al. (1993), ώστε να αξιοποιηθεί στη ΔΦΕ. Ως μέθοδος συνδυάζει στοιχεία από:

- i) τη μέθοδο του Σωκρατικού διαλόγου, αφού ο ερευνητής αξιοποιεί κατάλληλες ερωτήσεις, ώστε να οδηγήσει τους μαθητές στην οικοδόμηση νέων αντιλήψεων
- ii) τη μεθοδολογία των κλινικών συνεντεύξεων του Piaget, καθώς ο ερευνητής χρησιμοποιεί κατάλληλες ερωτήσεις, προκειμένου να διερευνήσει τις γνωστικές δομές των μαθητών σε διάφορα σημεία της μαθησιακής διαδικασίας

Ο Steffe (1983), ωστόσο επισημαίνει ότι το διδακτικό πείραμα διαφέρει από τις κλινικές συνεντεύξεις του Piaget, διότι αποτελείται από περισσότερες από μία συνεντεύξεις και εμπεριέχει και στοιχεία διδασκαλίας. Συνεπώς, σε μία τέτοια διαδικασία ο ερευνητής έχει διττό ρόλο, καθώς είναι ταυτόχρονα: α) συνεντευκτής, που προσπαθεί να διερευνήσει τα εννοιολογικά πλαίσια στα οποία καταλήγουν οι μαθητές και β) εκπαιδευτικός, ο οποίος εφαρμόζει την κατάλληλη διδακτική παρέμβαση.

Οι Komorek & Duit (2004) για τις ανάγκες της έρευνάς τους, αξιοποίησαν τη μέθοδο του διδακτικού πειράματος, ωστόσο διαφοροποιήθηκαν από την αρχική πρόταση του Steffe (1983) (ατομικές συνεντεύξεις), και πρότειναν την πραγματοποίησή του με ομαδικές

συνεντεύξεις (δύο έως τέσσερις μαθητές). Η τροποποίηση αυτή έδωσε τη δυνατότητα στους ερευνητές να μελετήσουν τις διαδικασίες μάθησης σε «κοινότητες μαθητών» (learners communities). Συνεπώς, στα μονοπάτια μάθησης που αναδεικνύονται, με αυτή τη μέθοδο, καταγράφονται οι ιδέες των μαθητών και οι μαθησιακές διαδικασίες μέσα από τις αλληλεπιδράσεις τους σε ένα πλαίσιο κοινωνικής οικοδόμησης της γνώσης.

Η εν λόγω μέθοδος φαίνεται να μπορεί να ενταχθεί στο μοντέλο της Εκπαιδευτικής Επανοικοδόμησης (Model of Educational Reconstruction) (Duit, 2007; Duit et al., 2012), καθώς η αξιοποίησή της επιτρέπει τη διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών πριν τη διδασκαλία και του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές τροποποιούν αυτές τις αντιλήψεις προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη. Παράλληλα, η αξιοποίηση αυτής της μεθόδου προσφέρει ένα πλαίσιο, μέσα από το οποίο διευκολύνεται η στενή σύνδεση εμπειρικών ερευνών για τις διαδικασίες μάθησης με την ανάπτυξη κατάλληλων διδακτικών παρεμβάσεων. Για την υλοποίηση ενός διδακτικού πειράματος που θα αφορά σε ένα συγκεκριμένο γνωστικό περιεχόμενο είναι απαραίτητο να σχεδιαστεί και να αναπτυχθεί μία κατάλληλη μαθησιακή ακολουθία. Σε αυτή τη διαδικασία λαμβάνονται υπόψη διαθέσιμα εμπειρικά δεδομένα σχετικά με τη μάθηση και τις ιδέες μαθητών που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία για αυτό το περιεχόμενο. Η ακολουθία που θα αναπτυχθεί μπορεί αργότερα να αποτελέσει τη βάση για τη διδασκαλία του θέματος σε επίπεδο ολομέλειας τάξης. Συνεπώς, τα εμπειρικά δεδομένα που συλλέγονται από την πραγματοποίηση των διδακτικών πειραμάτων φαίνεται να μπορούν να αξιοποιηθούν για τον σχεδιασμό ΔΜΑ που θα εφαρμόζονται σε συνθήκες πραγματικής τάξης (Komorek & Duit, 2004).

1.2.4 Μελέτες που αναδεικνύουν τα Μαθησιακά Μονοπάτια

Αρκετές εμπειρικές έρευνες στη ΔΦΕ εστιάζουν στην τεκμηρίωση της κατανόησης των μαθητών σε διαφορετικά γνωστικά περιεχόμενα των ΦΕ, αναδεικνύοντας τα μονοπάτια μάθησής τους (Ζουπίδης, 2012; Σταράκης & Χαλκιά, 2015; Arnold & Millar, 1996; Dimitriadi & Halkia, 2012; Fazio et al., 2008; Givry & Tiberghien, 2012; Grimberg & Hand, 2009; Grusche, 2017; Halkia & Starakis, 2014; Johann et al., 2022; Komorek & Duit, 2004; Malandrakis, 2006; Petri & Niedderer, 1992; Psillos & Kariotoglou, 1999; Schwedes & Dudeck, 1996; Scott, 1992; Stavrou et al., 2008; Stavrou & Duit, 2014; Taber, 2017). Η λεπτομερής ανάλυση των μαθησιακών μονοπατιών σε αυτές τις έρευνες χρησιμοποιείται για να:

- i) διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα μίας συγκεκριμένης μαθησιακής κατάστασης*
- ii) αξιολογηθεί συνολικά μία ΔΜΑ*
- iii) να ελεγχθούν υποθέσεις που διέπουν τον σχεδιασμό των μαθησιακών καταστάσεων και να ακολουθήσει η βελτίωσή τους*

Στη συνέχεια αναλύεται η συμβολή της αξιοποίησης των μονοπατιών μάθησης σε κάποιες από τις παραπάνω έρευνες.

Οι Psillos & Kariotoglou (1999) πρότειναν ένα ολοκληρωμένο εννοιολογικό μοντέλο για τη διδασκαλία των ρευστών σε μελλοντικούς εκπαιδευτικούς πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης. Σχεδίασαν μία κατάλληλη ΔΜΑ την οποία εφάρμοσαν σε ένα μικρό αριθμό συμμετεχόντων

(10 φοιτητές), σε επίπεδο ολομέλειας τάξης. Κατόπιν, επιλέχθηκαν 3 φοιτητές, των οποίων η εννοιολογική εξέλιξη ήταν σε κάποιο βαθμό αντιπροσωπευτική των διαφορετικών τάσεων που επικράτησαν στην τάξη, με στόχο να μελετηθεί σε μεγαλύτερο βάθος το μονοπάτι μάθησής τους. Η παραπάνω διαδικασία πρόσφερε στους ερευνητές σημαντικές πληροφορίες, ώστε να εντοπίσουν τους παράγοντες εκείνους που μπορούν να οδηγήσουν τη διαδικασία βελτίωσης της ΔΜΑ, αλλά και να αναδείξουν τα κομβικά σημεία στην εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών. Η διερεύνηση των μαθησιακών διαδικασιών των μαθητών έδειξε την ισχυρή επίδραση των προϋπάρχουσων γνώσεων των μαθητών για τον συγκεκριμένο γνωστικό τομέα. Παράλληλα, με βάση τα ευρήματα της έρευνας οι ερευνητές πρότειναν ένα πιθανό εύρος μονοπατιών που ακολουθούν οι μαθητές, κατά την πορεία τους προς την οικοδόμηση της επιδιωκόμενης γνώσης, μέσα στο πλαίσιο της συγκεκριμένης ΔΜΑ.

Στην έρευνά του ο Ζουπίδης (2012) αξιοποίησε τα μαθησιακά μονοπάτια για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μίας ΔΜΑ σχετικής με τα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης. Η ανάδειξη της πορείας μάθησης των μαθητών συνέβαλε στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΑ, αλλά και στην καταγραφή των όψεων της ακολουθίας που ευνοούσαν την εννοιολογική κατανόηση του φαινομένου από την πλευρά των μαθητών.

Σε ό,τι αφορά στη γνωστική περιοχή της αστρονομίας, οι Σταράκης & Χαλκιά (2015) σχεδίασαν μία κατάλληλη ΔΜΑ με στόχο να διερευνήσουν τα μονοπάτια μάθησης μαθητών 5^{ης} Δημοτικού, κατά την οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής άποψης ότι η Γη περιφέρεται γύρω από τον Ήλιο σε περίοδο ενός έτους. Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές μελέτησαν τα μονοπάτια μάθησης μαθητών της ίδιας βαθμίδας αναφορικά με τη φαινόμενη κίνηση της Σελήνης (Halkia & Starakis, 2014). Και οι δύο προηγούμενες έρευνες εφαρμόστηκαν με τη μέθοδο του διδακτικού πειράματος, σε μικρές ομάδες μαθητών. Τα ευρήματα που προέκυψαν από την ποιοτική ανάλυση των διαλόγων των μαθητών επέτρεψαν στους ερευνητές τη σκιαγράφηση των μαθησιακών μονοπατιών, γεγονός το οποίο συνέβαλε στην τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας της ακολουθίας. Η διαδικασία αυτή φάνηκε να προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για την εξέλιξη των ιδεών των μαθητών, καθώς και για τα κομβικά σημεία και τις δυσκολίες που συνάντησαν, κατά την πορεία τους προς την οικοδόμηση της επιστημονικής άποψης για τα εν λόγω φαινόμενα.

Η λεπτομερής ανάλυση των μαθησιακών διαδρομών των μαθητών επέτρεψε στους Stavrou & Duit (2014) να μελετήσουν τη δυνατότητα διδασκαλίας και μάθησης της αλληλεπίδρασης των ντετερμινιστικών νόμων και της τυχαιότητας σε μη γραμμικά δυναμικά συστήματα, στη σχολική επιστήμη. Μελετήθηκαν οι διαδικασίες μάθησης 30 μαθητών που φοιτούσαν στη Γ' τάξη του Λυκείου, με τη μέθοδο του διδακτικού πειράματος (Komorek & Duit, 2004). Η ανάδειξη των μαθησιακών μονοπατιών επέτρεψε την εις βάθος μελέτη των αντιλήψεων των μαθητών για το συγκεκριμένο φαινόμενο, καθώς και των δυσκολιών που αντιμετωπίζουν κατά τη διδασκαλία του. Παράλληλα, αυτή η διαδικασία συνέβαλε στην περαιτέρω ανάλυση του επιστημονικού περιεχομένου που επιδιώχθηκε να προσεγγιστεί, κάτι το οποίο βοήθησε στη βελτίωση της ΔΜΑ. Συνεπώς, στην εν λόγω έρευνα τα μαθησιακά μονοπάτια φαίνεται να παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της επαναληπτικής εφαρμογής μίας ΔΜΑ. Η ανάδειξη της πορείας των μαθητών πρόσφερε στους ερευνητές μία λεπτομερή μελέτη των διαδικασιών μάθησης των μαθητών και τους επέτρεψε την ασφαλέστερη τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας της ακολουθίας.

Ο Scott (1992) μελέτησε τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονται οι ιδέες μίας μαθήτριας κατά την εφαρμογή μίας διδακτικής ακολουθίας σχετικής με τη δομή της ύλης. Η τεκμηρίωση της ανάπτυξης των ιδεών της πραγματοποιήθηκε μέσα από την ανάδειξη του μονοπατιού μάθησής της. Ο ερευνητής αναφέρει ότι ένα σημαντικό πλεονέκτημα της οργάνωσης της διδασκαλίας με τέτοιο τρόπο, ώστε να αναδεικνύονται τα μαθησιακά μονοπάτια είναι το γεγονός ότι προκύπτουν πολύτιμες πληροφορίες αναφορικά με τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών πριν τη διδασκαλία, αλλά και της εξέλιξής τους κατά τη διάρκειά της.

Οι Petri & Niedderer (1998) μελέτησαν και περιέγραψαν το μονοπάτι μάθησης ενός μαθητή Λυκείου της Γερμανίας, στο πλαίσιο ενός μαθήματος κβαντομηχανικής. Στόχος των ερευνητών ήταν να περιγράψουν και να αναλύσουν το γνωστικό σύστημα που αναπτύσσει ο μαθητής, κατά την εφαρμογή μίας παρέμβασης σχετικής με την ανάπτυξη μίας διαισθητικής χωρικής αντίληψης για τη δομή του ατόμου. Συγκεκριμένα, επιδιώχθηκε η εισαγωγή του μοντέλου που βασίζεται στην εξίσωση του Schrodinger που αντικαθιστά το ατομικό πρότυπο του Bohr. Η μαθησιακή διαδρομή του μαθητή περιγράφεται ως μία ακολουθία πολλών μετα-σταθερών αντιλήψεων (meta-stable conceptions), ξεκινώντας από ένα πλανητικό μοντέλο και καταλήγοντας στην τελική γνωστική του κατάσταση που περιγράφεται ως μία συσχέτιση τριών παράλληλων αντιλήψεων (του αρχικού πλανητικού μοντέλου, του μοντέλου των ηλεκτρονιακών στοιβάδων και του μοντέλου του ηλεκτρονιακού νέφους). Οι τρεις αυτές βασικές αντιλήψεις βρέθηκε ότι επηρεάζουν τη σκέψη του μαθητή σε διαφορετικά κομβικά σημεία της διδασκαλίας. Παράλληλα, οι ερευνητές επεδίωξαν να προβούν σε κάποιες υποθετικές εξηγήσεις για τις μαθησιακές διαδικασίες ως αλληλεπιδράσεις μεταξύ της διδασκαλίας και των γνωστικών δομών του μαθητή που διαθέτει πριν από αυτή. Τέλος, βρέθηκε ότι το γνωστικό σύστημα του μαθητή αποτελείται τόσο από ιδέες για τα φαινόμενα της φυσικής, αλλά και από μετα-γνωστικές πεποιθήσεις για τη φυσική, έτσι η μαθησιακή διαδικασία φάνηκε να καθορίζεται και να επηρεάζεται και από αυτές.

Στη μελέτη τους, οι Fazio et al.(2008) επεδίωξαν να εντοπίσουν διάφορες μαθησιακές πορείες μαθητών αναφορικά με το φαινόμενο της μηχανικής διάδοσης των κυμάτων και του ρόλου των μέσων στα οποία διαδίδονται. Για τον λόγο αυτό ανέπτυξαν μία ΔΜΑ, βασισμένη στις δυσκολίες που παρουσιάζουν συνήθως οι μαθητές κατά τη διδασκαλία του φαινομένου. Η ακολουθία εστίαζε στην ερμηνεία παρατηρήσιμων φαινομένων, όπως οι μακροσκοπική συμπεριφορά των κυμάτων και η εξήγησή τους με σωματιδιακούς όρους και εφαρμόστηκε σε 75 μαθητές Λυκείου. Κατά την ανάλυση των δεδομένων, επιχειρήθηκε η περιγραφή των αναπαραστάσεων των μαθητών για το εν λόγω φαινόμενο, αλλά και οι γνωστικές στρατηγικές που ενεργοποίησαν για να τροποποιήσουν ή να υποστηρίξουν τα ερμηνευτικά τους νοητικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ΔΜΑ. Οι ερευνητές τονίζουν ότι η μελέτη της μαθησιακής πορείας των μαθητών τους επέτρεψε να τεκμηριώσουν εκείνο το περιβάλλον διδασκαλίας και μάθησης, το οποίο μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στις φαινομενολογικές αναπαραστάσεις τους, ώστε να μπορέσει να οικοδομηθεί η επιστημονική άποψη. Επιπλέον, τους βοήθησε να καταγράψουν τα στοιχεία εκείνα που υποδηλώνουν στο τέλος της προτεινόμενης ακολουθίας, ότι οι μαθητές έχουν αναπτύξει κατανόηση για το εν λόγω φαινόμενο. Τέλος, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι αναπαραστάσεις της πλειοψηφίας των μαθητών φάνηκε να είναι προϊόν σταδιακής εννοιολογικής αλλαγής.

1.3 Η έννοια της Θερμότητας και οι μηχανισμοί διάδοσής της

1.3.1 Εισαγωγή

Η έννοια της θερμότητας σχετίζεται με αρκετά φυσικά φαινόμενα, τα οποία εντοπίζονται σε πολλές πτυχές της καθημερινής ζωής του ανθρώπου. Ως εκ τούτου, οι μαθητές από πολύ μικρή ηλικία φαίνεται να έχουν οικοδομήσει αρκετές αισθητηριακές αντιλήψεις για αυτά τα φαινόμενα, οι οποίες τους δημιουργούν μεγάλες δυσκολίες στην κατανόηση τους, όταν επιχειρούν να προσεγγίσουν το αντίστοιχο επιστημονικό περιεχόμενο στο σχολικό πλαίσιο (Driver et al., 2000). Όπως αναφέρουν οι Hewson & Hamlin (1984) η θερμότητα είναι ένα από τα πιο δύσκολα πεδία στη ΔΦΕ, καθώς η διδασκαλία σχετικών φαινομένων προκαλεί συχνά σύγχυση στους μαθητές. Στις επόμενες ενότητες γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή για την έννοια της θερμότητας και παρατίθεται το επιστημονικό περιεχόμενο για την εν λόγω έννοια και τους μηχανισμούς διάδοσής της. Επιπλέον, πραγματοποιείται μία αναφορά σε εναλλακτικές ιδέες μαθητών και σε διδακτικές παρεμβάσεις που αφορούν σε θερμικές έννοιες και φαινόμενα και απαντώνται σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης.

1.3.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή για την έννοια της Θερμότητας

Η μελέτη των απόψεων επιστημόνων παλαιότερων εποχών για τη φύση της έννοιας της θερμότητας φαίνεται να παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τη σκοπιά της ΔΦΕ, καθώς αυτές παρουσιάζουν ομοιότητες σε αρκετές περιπτώσεις με τις σχετικές εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Σημαντικότεροι σταθμοί στη χρονική εξέλιξη της εν λόγω έννοιας είναι οι ακόλουθοι:

- Τον **6^ο αι. π.Χ.** οι Ίωνες φιλόσοφοι διέκριναν τις έννοιες θερμό και ψυχρό, τις οποίες θεωρούσαν αρχέγονες ουσίες (στοιχεία του κόσμου). Πίστευαν ότι το θερμό και το ψυχρό αποτελούν ένα ζεύγος αντίθετων δυνάμεων, όπου το θερμό συνυπάρχει με το φως στη φωτιά και το ψυχρό με το σκοτάδι στον αέρα της Γης (Τσελφές, 1994).
- Τον **5^ο αι. π.Χ.** ο Αριστοτέλης θεωρούσε το θερμό και το ψυχρό ως ιδιότητες (ποιότητες) των σωμάτων (Τσελφές, 1994).
- Τον **13^ο αι. μ.Χ.** ο Grosseteste θεωρούσε τη θερμότητα και το ψύχος ως ακτίνες δύναμης, οι οποίες υποστήριζε ότι συνιστούν ιδιότητες των σωμάτων, πηγάζουν από τα θερμά και τα ψυχρά σώματα - πηγές αντίστοιχα και μπορούν και εξέρχονται από αυτά (Τσελφές, 1994).
- Κατά τον **17^ο αι. μ.Χ.** οι επιστήμονες χρησιμοποιούσαν ένα μηχανικό μοντέλο για την ερμηνεία των θερμικών φαινομένων, σύμφωνα με το οποίο η θερμότητα και το ψύχος θεωρούνταν δυνάμεις, οι οποίες δρούσαν πάνω στα αντικείμενα όταν αυτά έρχονταν σε επαφή. Η εν λόγω άποψη διέφερε από αυτή του Grosseteste που προαναφέρθηκε, καθώς η θερμότητα και το ψύχος, ως δυνάμεις πιστευόταν ότι ασκούσαν από αντίστοιχα θερμές ή ψυχρές πηγές και δρούσαν πάνω σε σώματα – αποδέκτες. Δηλαδή, τα σώματα αυτά όταν έρχονταν σε επαφή με τις πηγές δέχονταν τη δράση των δυνάμεων (Τσελφές, 1994). Αξίζει να αναφερθεί ότι μέχρι και τον 17^ο αι. μ.Χ. οι επιστήμονες θεωρούσαν τις έννοιες της θερμοκρασίας και της θερμότητας ταυτόσημες (Χαλκιά, 2012).

- Κατά τον **18^ο αι. μ.Χ.** ήταν χαρακτηριστική η άποψη μεταξύ των μελών της επιστημονικής κοινότητας, ότι η θερμότητα είναι ένα ρευστό («θερμικό ρευστό» ή «θερμογόνο»), το οποίο καταλαμβάνει τον κενό χώρο μεταξύ των σωματιδίων της ύλης. Το ρευστό αυτό ονομάστηκε *calorique*, από τον Lavoisier. Το *calorique* ήταν ένας θεωρητικός όρος που αναφερόταν σε μία υλική ουσία, ένα άφθαρτο ρευστό που αποτελείται από λεπτά σωματίδια και προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος που το απορροφά (Psillos, 1994). Η θέρμανση ενός σώματος σήμαινε ροή «θερμικού ρευστού» προς αυτό και αντίθετα η ψύξη του απομάκρυνση του ρευστού από αυτό. Μία σημαντική αδυναμία της εν λόγω θεωρίας σχετιζόταν με το βάρος του θερμικού ρευστού, αφού από τα παρατηρησιακά δεδομένα των πειραμάτων δεν προέκυπτε καμία μεταβολή στο βάρος των σωμάτων κατά τη θέρμανση ή ψύξη τους. Άμεσο συμπέρασμα αυτής της παρατήρησης ήταν ότι το ρευστό αυτό θα έπρεπε να αποτελείται από σωματίδια χωρίς μάζα (Psillos, 1994). Τέλος, μία επιπλέον αδυναμία της συγκεκριμένης θεωρίας ήταν η παραδοχή ότι η ποσότητα του «θερμογόνου» διατηρείται σε όλες τις διαδικασίες που αφορούν σε θερμικά φαινόμενα. Η εν λόγω άποψη καταρρίφθηκε μέσα από τα πειράματα του Benjamin Thompson, ο οποίος παρατήρησε ότι η θερμότητα δεν μπορεί να είναι κάτι που διατηρείται, αλλά κάτι που μπορεί να παραχθεί και με τριβή (Χαλκιά, 2012). Σημαντικό σταθμό στην εξέλιξη των εννοιών της θερμοκρασίας και της θερμότητας αποτέλεσαν τα ευρήματα των εργασιών του J. Black, την ίδια χρονική περίοδο. Ο J. Black μελέτησε τις μεταβολές που παρουσίαζαν οι πηγές ψύχους (πάγος, χιόνι), όταν δρούσαν πάνω στους αποδέκτες. Οι παρατηρήσεις των πειραμάτων του τον οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι το ψύχος δεν υπάρχει ως δύναμη που εκπέμπεται από κρύες πηγές. Παράλληλα, ο ίδιος ερευνητής, αφού διαπίστωσε ότι οι έννοιες θερμότητα και θερμοκρασία είναι διακριτές, μελέτησε τους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της θερμικής ισορροπίας (Τσελφές, 1994).

- Τον **19^ο αι. μ.Χ.** οι Mayer και Joule οδηγήθηκαν στην άποψη ότι η θερμότητα δεν μπορεί παρά να είναι μία μορφή ενέργειας, η οποία μπορεί να μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας ή να προκύπτει από αυτές. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτό που διατηρείται είναι η ενέργεια και όχι η θερμότητα, όπως υποστήριζε η θεωρία του θερμικού ρευστού (Χαλκιά, 2012).

Το οριστικό επιστημονικό περιεχόμενο για τις έννοιες θερμότητα και θερμοκρασία, διαμορφώθηκε εν τέλει τον 19^ο αι. μ.Χ., στο πλαίσιο της κλασικής Φυσικής.

1.3.3 Το επιστημονικό περιεχόμενο για την έννοια της Θερμότητας και τους μηχανισμούς διάδοσής της

Στην κλασική Φυσική, η έννοια της θερμότητας και τα φαινόμενα που αφορούν στους μηχανισμούς διάδοσής της ορίζονται ως εξής:

(α) Θερμότητα

Στη Θερμοδυναμική η **θερμότητα** ορίζεται ως **ενέργεια που μεταφέρεται μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντός του, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ τους**. Η μεταφορά ενέργειας που μπορεί να συμβεί μεταξύ δύο σωμάτων

διαφορετικής θερμοκρασίας πραγματοποιείται μέσω των τυχαίων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των μορίων των δύο σωμάτων και σταματά όταν επέλθει θερμική ισορροπία, δηλαδή όταν εξισωθούν οι τιμές των θερμοκρασιών τους. Η θερμότητα διαδίδεται πάντα προς το ψυχρότερο μέσο (Halliday et al., 2014).

Ένα υλικό σώμα δεν περιέχει θερμότητα, αλλά εσωτερική ενέργεια, η οποία είναι το άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας που υπάρχουν σε αυτό. Συγκεκριμένα, εκτός από τη μεταφορική κινητική ενέργεια των συγκρουόμενων μορίων του σώματος υπάρχει και ενέργεια σε άλλες μορφές, όπως περιστροφική κινητική ενέργεια των μορίων του, κινητική ενέργεια λόγω των κινήσεων των ατόμων στο εσωτερικό των μορίων του και δυναμική ενέργεια λόγω των δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ των μορίων του. Όταν ένα σώμα απορροφά ή ελκύει θερμότητα, η εσωτερική του ενέργεια αυξάνεται ή μειώνεται αντίστοιχα.

Η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο εξαρτάται από τη διαφορά της θερμοκρασίας τους, αλλά και από την ποσότητα της ύλης τους. Η θερμότητα είναι εκτατικό μέγεθος, δηλαδή η τιμή της εξαρτάται από το μέγεθος του σώματος στο οποίο αναφέρεται (Hewitt, 2013).

(β) Μηχανισμοί διάδοσης της Θερμότητας

Φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας παρατηρούνται σε μακροσκοπικά συστήματα που δε βρίσκονται σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας. Αν κάποια σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες έρθουν σε επαφή θα τείνουν να αποκτήσουν όλα την ίδια θερμοκρασία. Αυτή η εξίσωση της θερμοκρασίας τους γίνεται με τρεις τρόπους: **με αγωγή, με ρεύματα μεταφοράς (συναγωγή) και με ακτινοβολία** (Halliday et al., 2014).

i) Αγωγή

Αγωγή είναι η μεταφορά ενέργειας από τα πιο ενεργά σωματίδια μίας ουσίας προς τα γειτονικά λιγότερα ενεργά σωματίδια, λόγω των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Μεταφορά με αγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια. Στα υγρά και στα αέρια η αγωγή οφείλεται στις συγκρούσεις και στη διάχυση μεταξύ των μορίων κατά την τυχαία κίνησή τους. Στα στερεά οφείλεται στο συνδυασμό των ταλαντώσεων των μορίων σε μία δομή πλέγματος και της μεταφοράς ενέργειας από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Το φαινόμενο μεταφοράς με αγωγή εκδηλώνεται όταν η θερμοκρασία ενός σώματος δεν είναι ίδια σε όλα του τα σημεία. Σε μικροσκοπικό επίπεδο, σε ένα σώμα η ενέργεια ταλάντωσης των μορίων του γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία μίας περιοχής του σώματος είναι υψηλότερη από κάποια άλλη, τότε εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των μορίων η αυξημένη ενέργεια ταλάντωσής τους θα διαδίδεται στα γειτονικά μόρια, μέχρι να εξισωθεί η θερμοκρασία σε όλη τη μάζα του υλικού. Μακροσκοπικά η διάδοση της ενέργειας ταλάντωσης των μορίων εκδηλώνεται ως ροή θερμότητας από τις θερμότερες στις ψυχρότερες περιοχές του σώματος και τείνει να εξισώσει τη θερμοκρασία, όταν η θερμική ισορροπία έχει διαταραχθεί. Στα μέταλλα, η κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων δίνει έναν πρόσθετο μηχανισμό διάδοσης της

θερμότητας, καθώς λόγω της κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων η θερμότητα μεταφέρεται πολύ πιο αποτελεσματικά σε αυτά (Halliday et al., 2014).

Τα διάφορα υλικά σώματα δεν άγουν τη θερμότητα με την ίδια ευκολία. Ως θερμική αγωγιμότητα ορίζεται η χαρακτηριστική ιδιότητα του σωμάτων που προσδιορίζει την ευκολία ή τη δυσκολία διάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό τους. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (συνήθως συμβολίζεται με k) μετρά τη θερμική αγωγιμότητα και είναι χαρακτηριστικός κάθε υλικού. Ανάλογα με την ευκολία διάδοσης της θερμότητας τα σώματα διακρίνονται σε ευθερμαγωγά ή καλούς αγωγούς της θερμότητας (π.χ. μέταλλα) και σε δυσθερμαγωγά ή κακούς αγωγούς της θερμότητας (π.χ. ξύλο, πλαστικό, υγρά, αέρια) (Halliday et al., 2014). Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας διάφορων υλικών σωμάτων (Κανέλλος, 1966; Halliday et al., 2014).

Πίνακας 1.1. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (k) διάφορων υλικών

Υλικό	k (W/m·K)
Μέταλλα	
Χαλκός	401
Αλουμίνιο	235
Ορείχαλκος	109
Σίδηρος	67
Ξύλο	
Δρυς, οξυά	0,20
Ελάτη, πεύκο, έλατο	0,13
Πολυμερή	
Πολυπροπυλένιο	0,12
Πολυαιθυλένιο	0,46
Άλλα υλικά	
Γυαλί	0,80
Νερό	0,60
Αέρας (ξηρός)	0,026

ii) Ρεύματα μεταφοράς (συναγωγή)

Ρεύματα μεταφοράς μπορούν να δημιουργηθούν μόνο στα ρευστά (υγρά και αέρια), όταν έρθουν σε επαφή με ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας από αυτά. Σε αυτή την περίπτωση μέσω της συνδυασμένης επίδρασης της αγωγής και της κίνησης του ρευστού πραγματοποιείται η διάδοση της θερμότητας. Όσο πιο γρήγορη είναι η κίνηση του ρευστού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διάδοση της θερμότητας με συναγωγή. Όταν δεν υπάρχει μεγάλη κίνηση ρευστού, η διάδοση της θερμότητας μεταξύ του θερμότερου σώματος και του ρευστού γίνεται αποκλειστικά με αγωγή.

Η θερμοκρασία ενός τμήματος ενός ρευστού που έρχεται σε επαφή με ένα θερμότερο από αυτό αντικείμενο αυξάνεται και το ρευστό διαστέλλεται και έτσι μειώνεται η πυκνότητά του. Το τμήμα του ρευστού που έχει διασταλεί είναι πλέον πιο ελαφρύ από τα ψυχρότερα τμήματα που το περιβάλλουν και έτσι ωθείται προς τα επάνω, λόγω άνωσης

και αντικαθίσταται από ψυχρότερα και πυκνότερα τμήματα του ρευστού που κινούνται προς τα κάτω. Η διαδικασία μπορεί να συνεχίζεται κατά αυτόν τον τρόπο (Halliday et al., 2014).

Ρεύματα μεταφοράς αναπτύσσονται και στην ατμόσφαιρα, τα οποία επηρεάζουν τα καιρικά φαινόμενα. Όταν ο αέρας θερμαίνεται, διαστέλλεται, οπότε καθώς η πυκνότητά του γίνεται μικρότερη από αυτή του περιβάλλοντος αέρα, ωθείται προς τα πάνω λόγω άνωσης. Όταν ο ανερχόμενος αέρας φτάσει σε ένα ύψος, ώστε η πυκνότητά του να ισούται με αυτή του περιβάλλοντος αέρα, παύει να ανέρχεται (Hewitt, 2013).

iii) Ακτινοβολία

Ακτινοβολία είναι η ενέργεια που εκπέμπει η ύλη με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ή φωτονίων). Σε αντίθεση με την αγωγή και την συναγωγή, η μεταφορά ενέργειας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη υλικού μέσου. Όλα τα στερεά, τα υγρά και τα αέρια εκπέμπουν, απορροφούν ή μεταδίδουν ακτινοβολία σε διαφορετικό βαθμό (Halliday et al., 2014).

Ένα θερμό σώμα μπορεί να θερμάνει ένα ψυχρότερο από απόσταση, χωρίς να μεσολαβεί μεταξύ τους κάποιο άλλο ενδιάμεσο σώμα ή αν μεσολαβεί χωρίς αυτό να θερμαίνεται. Τότε το θερμότερο σώμα εκπέμπει ακτινοβολία προς το ψυχρότερο και το ψυχρότερο προς το θερμότερο, αλλά μικρότερη από αυτή που δέχεται μέχρι να επέλθει σταδιακά η εξίσωση των θερμοκρασιών τους. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια διαδίδεται ευθύγραμμα στον χώρο με την ταχύτητα του φωτός. Όταν προσπίπτει σε λείες και στιλνές επιφάνειες ανακλάται όπως το φως, χωρίς να θερμαίνει το σώμα. Σε άλλες περιπτώσεις διαθλάται από τα σώματα, χωρίς να μεταβάλλει αισθητά τη θερμοκρασία τους, ενώ όταν προσπίπτει σε σκοτεινές και τραχείες επιφάνειες τότε απορροφάται από αυτές και η θερμοκρασία τους αυξάνεται (Κανέλλος, 1966).

1.3.4 Ιδέες μαθητών για θερμικές έννοιες και φαινόμενα

Όπως προκύπτει από την επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας (Duit, 2009) οι μαθητές διαθέτουν πληθώρα εναλλακτικών ιδεών αναφορικά με θερμικές έννοιες και φαινόμενα. Έχει βρεθεί ότι οι καθημερινές εμπειρίες των μαθητών παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση αυτών των εναλλακτικών τους ιδεών (Clough & Driver, 1985; Erickson, 1979; Erickson & Tiberghien, 1985). Ιδιαίτερα οι έννοιες της θερμότητας και της θερμοκρασίας φαίνεται να δημιουργούν σημαντικές εννοιολογικές δυσκολίες στους μαθητές, καθώς ενώ τις χρησιμοποιούν στην καθημερινότητα τους σε μακροσκοπικό επίπεδο, το ακριβές τους εννοιολογικό περιεχόμενο ορίζεται σε μικροσκοπικό επίπεδο (Χαλκιά, 2012). Αξίζει να αναφερθεί ότι οι ιδέες αυτές παρουσιάζουν ομοιότητες με ιδέες που καταγράφονται στην ιστορία της επιστήμης. Σύμφωνα με αρκετές έρευνες οι ιδέες των μαθητών για τη θερμότητα σχετίζονται κυρίως με τη θεωρία του θερμικού ρευστού (Driver et al., 2000).

Η σύγχυση των μαθητών αναφορικά με την έννοια της θερμότητας φαίνεται να προέρχεται από τη χρήση του όρου στην καθημερινότητα. Συγκεκριμένα, η χρήση του όρου ως ουσιαστικού από επιστημονική σκοπιά και ειδικά από τη σκοπιά της ενέργειας δημιουργεί τη μεγαλύτερη εννοιολογική δυσκολία (Erickson & Tiberghien, 1985; Romer,

2001; Tiberghien, 1980). Συχνά στον καθημερινό λόγο χρησιμοποιούνται εκφράσεις, όπως «κλείσε το παράθυρο, για να μη φύγει η θερμότητα» ή «κράτησε το κρύο έξω», οι οποίες υποδηλώνουν ότι η φύση της θερμότητας είναι υλική (Driver et al., 1993). Επιπλέον, για τους Έλληνες μαθητές η κοινή ετυμολογική προέλευση των όρων θερμοκρασία και θερμότητα («θερμο-») φαίνεται να τους δημιουργεί περαιτέρω δυσκολίες, καθώς τους ωθεί να ταυτίζουν τις δύο έννοιες, αλλά και να τις συνδέουν κατά κύριο λόγο με υψηλές θερμοκρασίες (Χαλκιά, 2012).

Από τη δεκαετία του 1970 έως σήμερα έχει διεξαχθεί **μεγάλος αριθμός ερευνών στις οποίες μελετώνται ιδέες μαθητών όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης για θερμικές έννοιες και φαινόμενα**, κατά κύριο λόγο μέσω συνεντεύξεων κάνοντας παράλληλα χρήση εκπαιδευτικού υλικού ή όχι (Duit, 2009). Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες αφορούν **κυρίως σε ηλικίες μαθητών από 10 ετών και πάνω** (Haglund et al., 2014). Παρακάτω παρουσιάζονται εναλλακτικές ιδέες μαθητών που σχετίζονται με την έννοια της θερμότητας, τη σχέση θερμοκρασίας – θερμότητας, τους καλούς και κακούς αγωγούς της θερμότητας και με τις διαδικασίες μεταφοράς της θερμότητας.

α) Ιδέες μαθητών για τη φύση της έννοιας της θερμότητας

Μία **χαρακτηριστική εναλλακτική ιδέα** που εντοπίζεται σε μαθητές όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης είναι **η άποψη ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση** (Albert, 1978; Chi & Slotta, 1993; Chi et al., 1994; Chiou & Anderson, 2009; Erickson, 1979, 1980; Erickson & Tiberghien, 1985; Haglund et al., 2014; Howe, 1998; Lautetrey & Mazens, 2004; Liu, 2011; Reiner et al., 2000; Yeo & Zadnik, 2001). Το ερώτημα σε ποια ηλικία εμφανίζεται η παραπάνω ιδέα, καθώς και ποια η πιθανή χρησιμότητά της στην εκπαιδευτική διαδικασία έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές.

Οι Piaget & Garcia (1977) υποστηρίζουν ότι η κατανόηση της έννοιας της θερμότητας αναπτύσσεται αργά αναπτυξιακά, συγκριτικά με φαινόμενα που αφορούν στη μηχανική, λόγω του αφηρημένου της χαρακτήρα. Ειδικότερα, σε πειράματα αγωγιμότητας που πραγματοποίησαν με παιδιά διαφορετικών ηλικιών, διαπίστωσαν ότι η ιδέα της θερμότητας ως διάδοση, από ένα θερμότερο αντικείμενο σε ένα πιο ψυχρό μπορεί να αναπτυχθεί σχετικά αργά στους μαθητές. Στα αρχικά στάδια (1: έως 7 ετών και 2: 7-11 ετών) οι μαθητές μπορούν και παρατηρούν τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ αντικειμένων και δε μπορούν να αντιληφθούν τη θερμότητα ως μεταφορά από ένα θερμό αντικείμενο σε ένα ψυχρό, αλλά ως αποτέλεσμα που προκύπτει από την εγγύτητα των αντικειμένων (αναφέρεται από τους ερευνητές ως: *μεταδοτική δράση των αντικειμένων - contagious action*). Η αγωγιμότητα μπορεί να γίνει αντιληπτή συνήθως στο στάδιο 3 (μετά την ηλικία των 11 ετών), όπου οι μαθητές μπορούν να παρέχουν αιτιολογικές εξηγήσεις για το εν λόγω φαινόμενο.

Ο Albert (1978) μελέτησε τις αντιλήψεις για τη θερμότητα, σε παιδιά ηλικίας **4-9 ετών**, μέσω συνεντεύξεων. Διαπίστωσε ότι πριν την ηλικία των 6 ετών τα παιδιά έχουν αναπτύξει την ιδέα ότι τα αντικείμενα μπορούν να είναι ζεστά και ότι μπορούν να ζεσταθούν από τέτοια αντικείμενα. Στην ηλικία των 7 ή 8 ετών τα παιδιά θεωρούν ότι τα ζεστά αντικείμενα είναι ζεστά μόνο υπό ορισμένες συνθήκες και ότι το πόσο θερμό είναι ένα σώμα δεν είναι εγγενές χαρακτηριστικό τους. Σε αυτή την ηλικία παράλληλα τα παιδιά αρχίζουν να αντιλαμβάνονται τη θερμότητα σαν διαδικασία, για παράδειγμα ότι κάτι μπορεί να

θερμανθεί από τον ήλιο. Περίπου στην ηλικία των 8 ετών φαίνεται να διαφοροποιούν τη θερμότητα και το αντικείμενο στο οποίο βρίσκεται. Σε αυτή την ηλικία υποστηρίζει ότι εντοπίζεται η ιδέα περί υλικής υπόστασης της θερμότητας.

Οι Erickson & Tiberghien (1985) σε συνεντεύξεις που πραγματοποίησαν σε παιδιά **5-13 ετών** κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μαθητές αυτών των ηλικιών είναι σε θέση να αναφέρονται στη μεταφορά θερμότητας από ένα αντικείμενο σε ένα άλλο, ωστόσο έχουν ισχυρή τάση απόδοσης υλικής υπόστασης σε αυτή την έννοια σε φαινόμενα αγωγιμότητας. Η πηγή αυτής της εναλλακτικής ιδέας υποστηρίζουν ότι εντοπίζεται σε καθημερινές τους εμπειρίες κατά την επαφή τους με θερμά αντικείμενα, αλλά και στο γεγονός ότι οι διαδικασίες που συντελούνται στα θερμικά φαινόμενα είναι αόρατες για τους μαθητές.

Ο Howe (1998) σε συνεντεύξεις που πραγματοποίησε σε παιδιά **6-15 ετών** κατέληξε στο συμπέρασμα, σε αντίθεση με τους προηγούμενους ερευνητές, ότι πριν την ηλικία των 12 ετών πολύ λίγα παιδιά είναι σε θέση να περιγράψουν τον μηχανισμό μεταφοράς της θερμότητας ως διάδοση. Αντίθετα, τείνουν να περιγράφουν το φαινόμενο με τρόπους που μοιάζουν με αυτό που περιγράφουν οι Piaget & Garcia (1977), σαν μία μεταδοτική δράση των αντικειμένων (contagious action).

Οι Lautetrey & Mazens (2004) μελέτησαν την αντίληψη της θερμότητας σε μαθητές **8 ετών**, μέσω συνεντεύξεων. Συγκεκριμένα, διερεύνησαν τον βαθμό στον οποίο αντιλαμβάνονται τη θερμότητα ως ιδιότητα των αντικειμένων ή ως διεργασία. Βρήκαν ότι μαθητές αυτής της ηλικίας τείνουν να εγκαταλείπουν σταδιακά την αντίληψη για τη θερμότητα σαν δράση των αντικειμένων και αναπτύσσουν την άποψη της θερμότητας σαν διαδικασία.

Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με την απόδοση υλικής υπόστασης στην έννοια της θερμότητας έχει βρεθεί ότι μαθητές όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης τείνουν να θεωρούν ότι **η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού** (Albert, 1978; Erickson, 1979). Επομένως, τείνουν να την ταυτίζουν με τον καπνό, τον αέρα ή τον ατμό και να θεωρούν ότι μπορεί να «κινηθεί» με ευκολία προς τα επάνω ή τείνουν να θεωρούν ότι υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις (Chiou & Anderson, 2009; Erickson, 1979, 1980; Haglund et al., 2014; Lautetrey & Mazens, 2004). Επιπλέον, η θερμότητα ως ρευστό θεωρούν, είτε ότι μπορεί και ρέει προς τα αντικείμενα, όταν αυτά θερμαίνονται και μπορεί και κινείται με ευκολία κατά μήκος τους, είτε ότι μπορεί και απομακρύνεται από αυτά, όταν ψύχονται. Κατά συνέπεια, οι μαθητές τείνουν να αποδίδουν υλική υπόσταση στη θερμότητα, αλλά και κινητήρια δύναμη, καθώς αναφέρουν ότι η θερμότητα «κάνει τα πράγματα να ανεβαίνουν» ή «η θερμότητα ταξιδεύει».

Οι Watts & Gilbert (1985) εντόπισαν **επτά μοντέλα σκέψης σε μαθητές ηλικίας 14-17 ετών** για την έννοια της θερμότητας:

- i) *η εμφανής (conspicuous) θερμότητα, όπου η θερμότητα συνδέεται αποκλειστικά με τα θερμά σώματα*
- ii) *η δυναμική (dynamic) θερμότητα, όπου η θερμότητα συνδέεται με την κίνηση*
- iii) *η ρέουσα (motile) θερμότητα, όπου η θερμότητα θεωρείται ως ένα ρευστό που μπορεί και απλώνεται από το ένα μέρος στο άλλο*
- iv) *η φυσιολογική (normal) θερμότητα, όπου η θερμότητα θεωρείται ως η θερμοκρασία του σώματος και για την οποία ο άνθρωπος αποτελεί το πρότυπο για τη μέτρησή της*

- ν) η παραγόμενη (product) θερμότητα, όπου θεωρείται ότι η θερμότητα κατασκευάζεται σκόπιμα και διαχωρίζεται από τη φυσική θερμότητα
- vi) η πρότυπη (standard) θερμότητα, όπου οποιαδήποτε θερμοκρασία πάνω από τους 0 °C αντιπροσωπεύει το ζεστό, ενώ το κρύο θεωρείται αντίθετο του ζεστού και συνδέεται με θερμοκρασίες κάτω από το 0
- vii) η τοπική (regional) θερμότητα, το οποίο προϋποθέτει ένα στατικό μοντέλο θερμότητας το οποίο αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη περιοχή, στην οποία η ψύξη θεωρείται ως μείωση της έντασης της θερμότητας

Μία επιπλέον εναλλακτική ιδέα, η οποία εντοπίζεται σε **μαθητές όλων των ηλικιών είναι ότι η «θερμότητα» και το «κρύο» (ή «κρυότητα»)** είναι δύο διαφορετικές και **αντίθετες οντότητες**. Έχει βρεθεί ότι οι μαθητές τείνουν να φαντάζονται το κρύο ως μία οντότητα με υλική υπόσταση, όπως και τη θερμότητα. Φαίνεται μάλιστα να μη θεωρούν το θερμό και το ψυχρό ως όψεις τις ίδιας οντότητας. Αντίθετα, τα αντιλαμβάνονται ως δύο διαφορετικά φαινόμενα, όπου το ψυχρό συχνά θεωρείται αντίθετο του θερμού (Clough & Driver, 1985). Ειδικά, σε **μικρές ηλικίες (10-12 ετών)** οι μαθητές αναφέρουν ότι υπάρχουν δύο είδη θερμότητας, η ζεστή θερμότητα και η κρύα θερμότητα (Erickson, 1979, 1980; Jasien & Oberem, 2002).

Αναφορικά με τις παραπάνω ιδέες για τη φύση της έννοιας της θερμότητας και ειδικότερα για την τάση απόδοσης υλικής υπόστασης στην εν λόγω έννοια, στη βιβλιογραφία εντοπίζεται η άποψη ότι πιθανόν να οφείλεται στην ισχυρή τάση των μαθητών να περιγράφουν τα φυσικά φαινόμενα με μεταφορικούς όρους, όπου οι σχέσεις αιτίου – αποτελέσματος αποδίδονται απαραίτητα σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ διάφορων μορφών της ύλης (Driver et al., 1993). Επιπλέον, στη βιβλιογραφία καταγράφεται η άποψη ότι οι μαθητές τείνουν να ερμηνεύουν φαινόμενα που συντελούνται σε μικροσκοπικό επίπεδο, υιοθετώντας μία μακροσκοπική λογική (Krnell et al., 1998). Συνεπώς, οι εννοιολογικές δυσκολίες τους που αφορούν στη φύση της έννοιας της θερμότητας φαίνεται να προκαλούνται και από το γεγονός ότι ενώ το εννοιολογικό της περιεχόμενο της έννοιας ορίζεται σε μικροσκοπικό επίπεδο, οι μαθητές τείνουν να την ερμηνεύουν με όρους του μακρόκοσμου.

β) Ιδέες μαθητών για τη σχέση της θερμότητας με τη θερμοκρασία

Μαθητές όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης (συμπεριλαμβανομένης της Τριτοβάθμιας) **τείνουν να ταυτίζουν τη θερμοκρασία με τη θερμότητα** (Beall, 1994; Harrison et al., 1999; Rozier & Viennot, 1991; Tiberghien, 1985). Η ιδέα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι μαθητές δεν έχουν οικοδομήσει το εννοιολογικό περιεχόμενο των δύο όρων και αδυνατούν έτσι να τις διακρίνουν (Wiser, 1988). Επιπλέον, η κοινή ετυμολογική προέλευση των δύο όρων στην ελληνική γλώσσα τους ωθεί να χρησιμοποιούν τους δύο όρους αδιάκριτα (Χαλκιά, 2012).

Μία επιπλέον ισχυρή εναλλακτική ιδέα που εμφανίζεται σε **μαθητές τουλάχιστον έως 16 ετών** είναι ότι **η θερμοκρασία αποτελεί μέτρο της θερμότητας** (Beall, 1994; Driver et al., 2000; Kesidou & Duit, 1993; Rozier & Viennot, 1991). Η άποψη αυτή φαίνεται να υποδηλώνει ότι η θερμότητα είναι μία ουσία, η οποία εμπεριέχεται στα σώματα, ενώ η θερμοκρασία ένα μέτρο που εκτιμά το ποσό αυτής της ουσίας (Harrison et al., 1999). Η εν λόγω ιδέα πιθανόν να υποβάλει στους μαθητές την άποψη ότι η θερμοκρασία εξαρτάται

από το μέγεθος τους σώματος, δηλαδή ότι σώματα μεγαλύτερης μάζας περιέχουν περισσότερη θερμότητα (ή κρυότητα) και άρα υψηλότερη (ή χαμηλότερη) θερμοκρασία. Συνεπώς, για τους μαθητές αντικείμενα μεγαλύτερου όγκου έχουν περισσότερη θερμότητα (ή κρυότητα) και πιθανόν έχουν υψηλότερη (ή χαμηλότερη) θερμοκρασία (Χαλκιά, 2012).

Η διάκριση των εννοιών της θερμότητας και της θερμοκρασίας φαίνεται ότι είναι ένα από τα πιο δύσκολα έργα στη ΔΦΕ. Μάλιστα, έχει βρεθεί ότι ακόμα και μετά από αρκετά χρόνια από την εφαρμογή μίας σχετικής παρέμβασης, οι μαθητές εξακολουθούν να έχουν εννοιολογικές δυσκολίες στον διαχωρισμό των δύο εννοιών. Η ιδέα ότι η θερμοκρασία είναι το μέτρο της θερμότητας είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στην αλλαγή (Kesidou & Duit, 1993; Jasien & Oberem, 2002).

γ) Ιδέες μαθητών για τους καλούς και κακούς αγωγούς της θερμότητας

Έχει βρεθεί ότι **μαθητές όλων των βαθμίδων συχνά θεωρούν ότι διαφορετικά υλικά μπορεί να έχουν διαφορετική θερμοκρασία ακόμα κι αν βρίσκονται στο ίδιο περιβάλλον για μεγάλο χρονικό διάστημα** (Chu et al., 2012; Wiser, 1988). Έτσι, θεωρούν πως κάποια υλικά είναι από τη φύση τους πιο κρύα από τα άλλα, όταν αυτά βρίσκονται σε ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Πρόκειται για μία διαισθητική αντίληψη, η οποία φαίνεται ότι υποβάλλεται από την αίσθηση που βιώνουν, όταν αγγίζουν κάποια υλικά στην καθημερινή τους ζωή (Clough & Driver, 1985). Η παραπάνω άποψη των μαθητών φαίνεται να συνδέεται αφενός με το ότι δε γνωρίζουν τον μηχανισμό αγωγής της θερμότητας και αφετέρου με το ότι διαθέτουν εναλλακτικές ιδέες για τους καλούς και κακούς αγωγούς της θερμότητας (Χαλκιά, 2012). Έτσι, συχνά πιστεύουν ότι ένα ψυχρό σώμα (χαμηλής θερμοκρασίας) μπορεί να μεταβιβάζει ψύχος σε ένα πιο θερμό (υψηλότερης θερμοκρασίας) (για παράδειγμα, όταν ακουμπούν το χέρι τους σε μία μεταλλική επιφάνεια, θεωρούν ότι από την επιφάνεια μεταφέρεται ψύχος στο χέρι τους) ή ότι ένας κακός αγωγός της θερμότητας μπορεί και μεταβιβάζει θερμότητα σε ένα άλλο σώμα (για παράδειγμα, ότι τα μάλλινα ρούχα μεταβιβάζουν θερμότητα στο σώμα τους).

Αρκετοί μαθητές τείνουν να πιστεύουν ότι **οι κακοί αγωγοί της θερμότητας λειτουργούν ως φραγμοί και ως εκ τούτου δεν επιτρέπουν τη μεταφορά της θερμότητας** (Georgiou & Sharma, 2012; Lewis & Linn, 1994). Επιπλέον, **τα μέταλλα θεωρούν ότι έχουν την εγγενή ιδιότητα «να έλκουν, να συγκρατούν ή να απορροφούν ζέστη ή κρύο»** (Adadan & Yavuzkaya, 2018; Lewis & Linn, 1994). Υλικά όπως **το μαλλί φαίνεται να πιστεύουν ότι έχουν την ικανότητα να «παράγουν» θερμότητα** και ως εκ τούτου να ζεσταίνουν τα σώματα και να κρατούν το κρύο μακριά (Schnittka & Bell, 2011). **Το γυαλί και το τα φύλλα αλουμινίου θεωρούν ότι είναι κακοί αγωγοί για κρύα αντικείμενα** (Georgiou & Sharma, 2012; Schnittka & Bell, 2011).

Οι Lewis & Linn (1994) σε έρευνα που πραγματοποίησαν για τη διερεύνηση αντιλήψεων **μαθητών Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (Γυμνάσιο)** για τους καλούς και τους κακούς αγωγούς της θερμότητας, διαπίστωσαν **αρκετές εναλλακτικές ιδέες οι οποίες οφείλονται σε αισθητηριακές εμπειρίες της καθημερινής ζωής**. Βρέθηκε ότι οι μαθητές τείνουν να θεωρούν ότι τα μέταλλα είναι κρύα, διότι μπορούν και έλκουν, συγκρατούν ή απορροφούν το κρύο, αλλά και διότι άγουν τη θερμότητα πιο αργά από τους μονωτές. Συνεπώς, συχνά προτείνουν τη χρήση αλουμινόχαρτου ως περιτύλιγμα ψυχρών αντικειμένων, προκειμένου αυτά να διατηρηθούν σε χαμηλή θερμοκρασία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι κακοί

αγωγοί, αντίθετα θεωρούν ότι άγουν εύκολα τη θερμότητα, διότι: α) άγουν εύκολα τη θερμότητα και η θερμότητα μπορεί και φεύγει, έτσι ώστε όταν κάποιος αγγίζει έναν κακό αγωγό δεν αισθάνεται ζέστη και β) οι κακοί αγωγοί απορροφούν/ παγιδεύουν τη θερμότητα, διότι αυτή άγεται εύκολα σε όλη τους τη μάζα. Ως εκ τούτου, οι μαθητές υποστηρίζουν για παράδειγμα ότι δεν αισθανόμαστε κρύο το χερούλι μίας μεταλλικής κουτάλας, διότι η θερμότητα έφυγε γρήγορα από αυτή ή ότι οι μονωτές είναι υλικά που δίνουν την αίσθηση της ζεστασιάς όταν τα αγγίζει κάποιος, για παράδειγμα όταν περπατά κάποιος σε ξύλινο πάτωμα αισθάνεται ζέστη, διότι το ξύλινο πάτωμα παγιδεύει τη θερμότητα. Τέλος, βρέθηκε ότι οι μαθητές πιστεύουν ότι τα μάλλινα υφάσματα μπορούν και ζεσταίνουν ενεργητικά τα σώματα.

Οι Clough & Driver (1985) αναφέρουν ότι οι μαθητές δυσκολεύονται πολύ να αντιληφθούν την αγωγιμότητα, σε μία κατάσταση στην οποία όταν αγγίζουν ένα σώμα αισθάνονται κρύο. Επιπλέον, τονίζουν ότι **οι μαθητές στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν τις διαφορές στην αγωγιμότητα εστιάζουν την προσοχή τους σε παρατηρήσιμες ιδιότητες των διαφορετικών υλικών**, όπως το πάχος ή τη σκληρότητα. Για παράδειγμα, αρκετοί μαθητές συχνά αναφέρουν ότι τα μέταλλα είναι πιο κρύα από τα πλαστικά. Επίσης, είναι συχνή η άποψη σε αρκετούς μαθητές ότι η θερμότητα μπορεί και ρέει με διαφορετικές ταχύτητες σε διαφορετικά υλικά και ως εκ τούτου τους επηρεάζει στο να χαρακτηρίσουν κάποιο υλικό καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας (Kesidou & Duit, 1993). Τέλος, μία επιπλέον χαρακτηριστική εναλλακτική αντίληψη των μαθητών είναι **η τάση τους να χαρακτηρίζουν ένα σώμα καλό αγωγό της θερμότητας με κριτήριο την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία μπορεί να θερμανθεί εξωτερικά, σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες**. Για παράδειγμα, συχνά θεωρούν ότι στο γυαλί η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό και συνεπώς είναι καλός αγωγός, διότι έχουν παρατηρήσει στην καθημερινότητά τους γυάλινα αντικείμενα να είναι ζεστά στη συνολική τους εξωτερική επιφάνεια (Driver et al., 1993).

δ) Ιδέες μαθητών για τις διαδικασίες μεταφοράς της θερμότητας

Οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για τις αντιλήψεις μαθητών σχετικά με τη μεταφορά ενέργειας **αφορούν κατά κύριο λόγο στη μεταφορά θερμότητας με αγωγή** (Brook et al., 1984; Chiou & Anderson, 2010; Chu et al., 2012; Clough & Driver, 1985; Howe, 1998; Lautetrey & Mazens, 2004; Reiner et al., 2000; Watts & Gilbert, 1985).

Καθώς οι μαθητές συχνά θεωρούν το «θερμό» και το «ψυχρό» ως δύο διαφορετικές οντότητες, οι οποίες ενεργούν σε θερμικά φαινόμενα, **τείνουν να μην εξηγούν τις διαδικασίες θέρμανσης και ψύξης με όρους μεταφοράς ενέργειας** (Tiberghien, 1983; Tomasini & Balandi, 1987). Κάποιοι μαθητές πιστεύουν ότι το πιο κρύο αντικείμενο δίνει «κρύο» στο θερμότερο, ενώ άλλοι πιστεύουν ότι η «ζέστη» και το «κρύο» ανταλλάσσονται ταυτόχρονα. Ταυτόχρονα, δεν εξηγούν πάντα τα φαινόμενα ανταλλαγής θερμότητας ως αλληλεπιδράσεις. Για παράδειγμα, θεωρούν ότι **τα αντικείμενα ψύχονται ή απελευθερώνουν θερμότητα φυσικά, χωρίς να έρχονται σε επαφή με ένα άλλο πιο ψυχρό αντικείμενο** (Wiser, 1988).

Μαθητές όλων των βαθμίδων θεωρούν ότι η θερμότητα εισέρχεται ή εξέρχεται από διαφορετικά υλικά με διαφορετικό ρυθμό. Παράλληλα, ότι διαφορετικά υλικά έλκουν ή διατηρούν τη θερμότητα με διαφορετικό τρόπο (Clough & Driver, 1985; Kesidou & Duit,

1993; Paik et al., 2007). Οι ιδέες αυτές φαίνεται ότι βασίζονται στην έντονη αντίληψη των μαθητών ότι η θερμότητα έχει ιδιότητες ρευστού, αλλά και υποδηλώνουν τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας (Kesidou & Duit, 1993).

Οι Watts & Gilbert (1985) μελέτησαν τις αντιλήψεις μαθητών ηλικίας **13-17 ετών** για τη διάδοση θερμότητας με αγωγή. Ζήτησαν από τους μαθητές να αναφέρουν τι θεωρούν ότι συμβαίνει όταν θερμαίνεται μία μεταλλική ράβδος στο ένα της άκρο και ψύχεται στο άλλο, μέσω της επαφής της με κρύο νερό. Οι μαθητές αναφέρθηκαν στην ύπαρξη ζεστών μορίων τα οποία μπορούν και κινούνται κατά μήκος της ράβδου προς το κρύο άκρο της. Όταν φτάνουν στο κρύο άκρο, θεώρησαν ότι κρυώνουν και σταματούν να κινούνται. Μαθητές μικρότερων ηλικιών αναφέρθηκαν στην ύπαρξη κρύων μορίων μέσα στο νερό και ορισμένοι μάλιστα θεώρησαν ότι πραγματοποιείται ανταλλαγή μεταξύ των ζεστών μορίων από τη ράβδο και των κρύων μορίων από το νερό.

Οι μαθητές φαίνεται επίσης να επηρεάζονται και από την κατεύθυνση προς την οποία διαδίδεται η θερμότητα σε σχέση με τη θέση στην οποία βρίσκονται. Έτσι, αρκετοί μαθητές τείνουν να αναφέρουν ότι η θερμότητα κατευθύνεται προς το χέρι τους και όχι το αντίθετο, καθώς δυσκολεύονται να αντιληφθούν ότι υπάρχει αγωγή θερμότητας όταν αισθάνονται κρύα μία επιφάνεια (Clough & Driver, 1985). Το εύρημα αυτό φαίνεται να ενισχύεται και από τους Brook et al. (1984), οι οποίοι αναφέρουν ότι οι μαθητές φαίνεται να πιστεύουν ότι η αίσθηση της ζέστης ή του κρύου οφείλεται στο ότι κάτι φεύγει από το κρύο ή το ζεστό αντικείμενο και εισέρχεται στο σώμα τους. Στην έρευνά τους σε μαθητές ηλικίας **15 ετών** ήταν αρκετά συχνή η άποψη ότι το κρύο μεταφέρεται από το ψυχρό αντικείμενο στον άνθρωπο και όχι ότι η θερμότητα μεταφέρεται από τον άνθρωπο προς το αντικείμενο. Παράλληλα, βρέθηκε ότι πολύ λίγοι μαθητές ερμήνευσαν τη μεταφορά θερμότητας με όρους συμπεριφοράς σωματιδίων.

Σε ό,τι αφορά στο φαινόμενο των ρευμάτων μεταφοράς, ο Erickson (1980) αναφέρει ότι είναι δύσκολο να γίνει κατανοητό από μαθητές όλων των βαθμίδων. Οι Pathare & Pradhan (2010) μελέτησαν τις αντιλήψεις **προπτυχιακών φοιτητών τμήματος Φυσικής** αναφορικά με την κατανόηση του εν λόγω φαινομένου. Ζήτησαν από τους φοιτητές να ερμηνεύσουν τη διαδικασία θέρμανσης μίας ποσότητας νερού, από μία πηγή θερμότητας. **Οι περισσότεροι** θεώρησαν ότι τα ψυχρότερα μόρια του νερού θερμαίνονται από τα θερμότερα και ως εκ τούτου **απέδωσαν τη θέρμανση όλης της ποσότητας του νερού σε ένα μόνο μόριο.** Ένας **μικρός αριθμός φοιτητών** θεώρησε το νερό καλό αγωγό της θερμότητας, όπως και τα μέταλλα, και έτσι εξέφρασαν την άποψη ότι **το νερό μπορεί και μεταφέρει ηλεκτρόνια, τα οποία μεταφέρουν τη θερμότητα από το κάτω άκρο στο πάνω άκρο του δοχείου** στο οποίο περιέχεται η ποσότητα του νερού που θερμαίνεται. Παρόμοιες απόψεις φαίνεται να είχαν και για τη μεταφορά θερμότητας στα αέρια, καθώς ανέφεραν ότι σε αυτά τα σώματα η μεταφορά πραγματοποιείται με ένα μηχανισμό ανάλογο με αυτόν της αγωγής στα στερεά. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι υπάρχει δυσκολία στο να αντιληφθούν ότι στα ρευστά υπάρχει κίνηση του ίδιου του μέσου.

Στην ίδια έρευνα οι Pathare & Pradhan (2010) μελέτησαν και τις αντιλήψεις των φοιτητών αναφορικά με τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με ακτινοβολία. Βρέθηκε ότι οι φοιτητές θεώρησαν ότι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον Ήλιο φτάνει στη Γη, **λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που προέρχονται**

από τον Ήλιο και των σωμάτων στην επιφάνεια της Γης. Ακόμα κάποιοι φοιτητές θεώρησαν ότι υπάρχει κάποιο μέσο μεταξύ Ήλιου και Γης και **η θερμότητα προκύπτει από την τριβή των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τα μόρια του μέσου.**

Συνοψίζοντας, διαπιστώνεται ότι μαθητές όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης διαθέτουν μία ποικιλία αντιλήψεων για έννοιες και φαινόμενα που αναφέρονται στη θεματική ενότητα της θερμότητας και εμφανίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στο να αντιληφθούν αυτές τις έννοιες και να οικοδομήσουν έναν ερμηνευτικό μηχανισμό που να εξηγεί τα φαινόμενα στα οποία αυτές εμπλέκονται. Αξίζει να αναφερθεί ότι από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, οι έννοιες της θερμοκρασίας και της θερμότητας δε δημιουργούν δυσκολίες μόνο σε μαθητές και φοιτητές, αλλά ακόμα και σε επιστήμονες, οι οποίοι αν και κάνουν ακριβείς εκτιμήσεις για σχετικά φυσικά καθημερινά φαινόμενα, συχνά δυσκολεύονται να εξηγήσουν αυτά τα φαινόμενα σε συνεντεύξεις (Lewis & Linn, 1994) ή εμφανίζουν αποκλίνουσες αναπαραστάσεις για αυτά στα γραπτά τους (Tarsitani & Vicentini, 1996). Στον Πίνακα 1.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι κυριότερες από τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών που αναφέρθηκαν στην εν λόγω ενότητα.

Πίνακας 1.2. Εναλλακτικές ιδέες μαθητών για θερμικές έννοιες

Θερμότητα	Είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού (μοιάζει με τον καπνό, τον αέρα ή τον ατμό/ υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις) (Albert, 1978; Chi et al., 1994; Erickson & Tiberghien, 1985; Haglund et al., 2014)
	Η θερμότητα και η κρυότητα είναι δύο αντίθετες οντότητες (Erickson, 1979, 1980; Jasien & Oberem, 2002)
Θερμοκρασία	Είναι μέτρο της θερμότητας ή της κρυότητας που περιέχει ένα σώμα (Beall, 1994; Driver et al., 2000; Kesidou & Duit, 1993; Rozier & Viennot, 1991)
	Είναι έννοια ταυτόσημη με τη θερμότητα (Beall, 1994; Harrison et al., 1999; Rozier & Viennot, 1991; Tiberghien, 1985)
Καλοί και κακοί αγωγοί	Χαρακτηρίζονται με κριτήριο παρατηρήσιμες ιδιότητες των σωμάτων (Clough & Driver, 1985; Kesidou & Duit, 1993)
	Χαρακτηρίζονται με κριτήριο την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία μπορεί να θερμανθεί ένα σώμα εξωτερικά (Driver et al., 1993)

1.3.5 Διδακτικές προτάσεις για θερμικές έννοιες και φαινόμενα

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται αρκετές μελέτες, στις οποίες περιγράφονται διδακτικές παρεμβάσεις, μέσω των οποίων επιχειρείται η διδασκαλία θερμικών εννοιών και φαινομένων (Duit, 2009). Οι παρεμβάσεις αυτές αφορούν κατά κύριο λόγο σε επίπεδο **Δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης** (Λεύκος κ.ά., 2011; Arnold & Millar, 1996; Başer & Geban, 2007; Carlton, 2000; Cazzaniga et al., 2011; Chang & Linn, 2013; Harrison et al., 1999; Laburu & Niaz, 2002; Lefkos et al., 2011; Omar et al., 2009; Mathayas et al., 2020; McLure et al., 2020; Psillos et al., 2016; Satchukorn & Srisawasdi, 2017; Schnittka & Bell, 2011; She, 2004; Stylos & Kotsis, 2021; Thomaz et al., 1995; Tiberghien, 1985). Εντοπίζονται, ωστόσο και σχετικές μελέτες σε επίπεδο **Πρωτοβάθμιας** (Åhman & Jeppsson, 2020; Baydere, 2021;

Chen & Linn, 2019; Dexter, 2013; Haglund et al., 2016; Turgut & Gurbuz, 2012; Yeo et al., 2020; Yuenyong & Yuenyong, 2021) και **Τριτοβάθμιας** εκπαίδευσης (Aydin & Balim, 2011; Başer, 2006; Leinonen et al., 2015; Miller et al., 2011; Tanahoung et al., 2009; Vidak et al., 2019; Zacharia et al., 2008).

Αναφορικά με το **φαινόμενο της διάδοσης της θερμότητας με αγωγή**, σε επίπεδο **Δευτεροβάθμιας** εντοπίζεται **σημαντικός αριθμός μελετών**, στις οποίες διερευνάται η διδασκαλία του φαινομένου και επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός ερμηνευτικού μηχανισμού για αυτό. Αντίθετα, σε επίπεδο **Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης** οι σχετικές έρευνες φαίνεται να είναι **περιορισμένες και η εστίαση τους περιορίζεται σε επίπεδο φαινομενολογίας**. Σε αυτές τις έρευνες η έννοια της αγωγής εξετάζεται κατά κύριο λόγο, μέσω της διερεύνησης της αγωγιμότητας διάφορων υλικών σωμάτων σε ένα ανακαλυπτικό πλαίσιο διδασκαλίας και μάθησης, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη βασικές εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και χωρίς να επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός ερμηνευτικού μηχανισμού που θα εξηγεί τα εν λόγω φαινόμενα.

Ειδικότερα, στις έρευνες που εντοπίζονται σε επίπεδο Πρωτοβάθμιας και Δευτεροβάθμιας και αφορούν στη διδασκαλία του φαινομένου της διάδοσης της θερμότητας με αγωγή, αξιοποιούνται διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις και μέσα. Έτσι, σε αυτές τις έρευνες:

- i) υιοθετείται *μία κονστρουκτιβιστική οπτική και επιδιώκεται η επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής* (Chang & Linn, 2013; McLure et al., 2020; Satchukorn & Srisawasdi, 2017; Schnittka & Bell, 2011; She, 2004; Tiberghien, 1985; Turgut & Gurbuz, 2012)
- ii) αξιοποιούνται *εικονικά περιβάλλοντα προσομοιώσεων* (Chang & Linn, 2013; Hatzikraniotis et al., 2010; Lefkos et al., 2011; Psillos et al., 2016; Satchukorn & Srisawasdi, 2017; Yeo, 2020)
- iii) αξιοποιούνται *θερμικές κάμερες για την οπτικοποίηση των θερμικών φαινομένων* (Åhman & Jeppsson, 2020; Dexter, 2013; Haglund et al., 2016)
- iv) υιοθετείται *η διδακτική μέθοδος Predict Observe Explain (POE)* (Baydere, 2021; Yuenyong & Yuenyong, 2021)

Στις παραπάνω έρευνες στις οποίες υιοθετείται **μία κονστρουκτιβιστική οπτική**, κατά το σχεδιασμό των παρεμβάσεων στόχος είναι μέσα από τον κατάλληλο σχεδιασμό, η επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής.

Η She (2004) αξιοποίησε το μοντέλο DSLM (Dual- Situated Learning Model), για να διερευνήσει την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής σε μαθητές 14-15 ετών (9th grade) για τα φαινόμενα της αγωγής και των ρευμάτων μεταφοράς. Η παρέμβαση που πρότεινε αποτελούνταν από έξι στάδια. Στο πρώτο στάδιο επιχειρήθηκε η διερεύνηση των νοητικών μοντέλων που απαιτούνται για την οικοδόμηση της επιστημονικής άποψης για τα εν λόγω φαινόμενα. Στο δεύτερο διερευνήθηκαν οι αντιλήψεις των μαθητών για τις έννοιες της θερμότητας, της μεταφοράς της. Κατόπιν, στο τρίτο στάδιο έγινε σύγκριση των ευρημάτων των δύο προηγούμενων σταδίων, έτσι ώστε να εντοπιστούν ποια νοητικά μοντέλα απαιτούνται να οικοδομηθούν από τους μαθητές, ώστε να προσεγγίσουν την επιστημονική άποψη για τα σχετικά φαινόμενα. Το τέταρτο στάδιο αφορούσε σε μία σειρά μαθησιακών γεγονότων διπλής θέσης (dual- situated learning events), για τον σχεδιασμό της οποίας λήφθηκαν υπόψη οι αντιλήψεις των μαθητών για τα σχετικά φαινόμενα. Αρχικά οι μαθητές παρατήρησαν τι συμβαίνει με τη θερμοκρασία του νερού, όταν σε αυτό βυθιστεί μία καυτή βίδα. Σύμφωνα με τους ερευνητές αυτή η δραστηριότητα έδωσε στους μαθητές τη

δυνατότητα να αντιληφθούν τη διαδικασία μεταφοράς θερμότητας με αγωγή. Στη συνέχεια οι μαθητές κλήθηκαν να τοποθετήσουν ένα κρύο μπουκάλι με νερό πάνω από ένα μπουκάλι με ζεστό νερό και να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα, ενώ στο επόμενο βήμα πραγματοποίησαν την ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Τέλος, οι τελευταίες δραστηριότητες περιλάμβαναν την προσθήκη κρύου νερού σε ζεστό, την προσθήκη αλμυρού νερού σε ζεστό και κατόπιν τη θέρμανσή και παρατήρησή τους. Όλες οι δραστηριότητες αποσκοπούσαν στο να φέρουν τους μαθητές σε σύγκρουση με τις προηγούμενες αντιλήψεις τους και μέσα από την πραγματοποίησή τους να οικοδομηθούν τα νοητικά μοντέλα που οι ερευνητές είχαν εντοπίσει ότι είναι απαραίτητα στα προηγούμενα βήματα, για την κατανόηση των συγκεκριμένων φαινομένων. Το πέμπτο στάδιο αφορούσε σε γεγονότα μάθησης που προκαλούσαν αμφισβήτηση σε επιστημολογικές και οντολογικές πεποιθήσεις των μαθητών για έννοιες της επιστήμης. Στο έκτο στάδιο οι μαθητές κλήθηκαν να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους σε μία νέα κατάσταση προκειμένου να μελετηθεί η επίτευξη της εννοιολογικής αλλαγής. Τα προηγούμενα έξι ασυμβίβαστα γεγονότα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να βοηθήσουν τους μαθητές να οπτικοποιήσουν και να παρατηρήσουν τις αλλαγές που συμβαίνουν και οφείλονται στη μεταφορά θερμότητας με αγωγή και στα ρεύματα μεταφοράς. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η αξιοποίηση του μοντέλου DSLM βοήθησε τους μαθητές να μετακινηθούν από τις αρχικές τους αντιλήψεις σε μία άποψη πιο κοντά προς την επιστημονικά αποδεκτή. Οι μαθητές μετά την παρέμβαση μπορούσαν να περιγράψουν τη διαδικασία μεταφοράς με αγωγή, αλλά και να αναγνωρίσουν τη δημιουργία ρευμάτων μεταφοράς στα ρευστά.

Οι McLure et al. (2020) ανέπτυξαν μία παρέμβαση με στόχο την αντιμετώπιση των εναλλακτικών αντιλήψεων μαθητών 14-15 ετών (9th grade) αναφορικά με την έννοια της θερμότητας και την επίτευξη εννοιολογικής αλλαγής. Οι ερευνητές σχεδίασαν μία σειρά μαθημάτων, τα οποία περιλάμβαναν πειράματα για θερμικά φαινόμενα και γύρω από τα οποία πραγματοποιήθηκε συζήτηση με τους μαθητές πριν και μετά την πραγματοποίησή τους. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σύγκριναν με pre- και post-tests τα αποτελέσματα της εφαρμογής της προσέγγισής τους, με αυτά μίας παραδοσιακής προσέγγισης. Οι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις εφαρμόστηκαν σε δύο τάξεις μαθητών. Η ακολουθία που σχεδίασαν οι ερευνητές, μέσα από την οποία επεδίωξαν την εννοιολογική αλλαγή αποτελούνταν από έξι μαθήματα. Το πρώτο μάθημα αφορούσε στο φαινόμενο της θερμικής ισορροπίας και κεντρικός στόχος ήταν οι μαθητές να ερμηνεύσουν την αλλαγή της θερμοκρασίας όταν ζεστό νερό (77 °C) αναμειγνύεται με κρύο (19 °C). Το δεύτερο μάθημα αφορούσε στο φαινόμενο της αγωγής και κεντρικός στόχος ήταν να συγκρίνουν την αγωγιμότητα μίας μεταλλικής και μίας γυάλινης ράβδου. Συγκεκριμένα τους ζητήθηκε να ερμηνεύσουν γιατί κατά τη θέρμανση αυτών των ράβδων στις οποίες ήταν κολλημένες καρφίτσες, οι καρφίτσες έπεσαν νωρίτερα στη μεταλλική ράβδο. Το τρίτο μάθημα αφορούσε στο λιώσιμο του πάγου σε συνθήκες περιβάλλοντος και κεντρικός στόχος ήταν οι μαθητές να εξηγήσουν γιατί ένα παγάκι λιώνει πιο γρήγορα πάνω σε μία μεταλλική επιφάνεια, από ότι σε μία κεραμική. Το τέταρτο μάθημα αφορούσε στα ρεύματα μεταφοράς στα ρευστά και κεντρικός στόχος ήταν οι μαθητές να ερμηνεύσουν με ποιο τρόπο μπορεί να ζεσταθεί ένα δωμάτιο από ένα σώμα καλοριφέρ που είναι τοποθετημένο σε μία άκρη του, αλλά και πώς τα διπλά τζάμια βοηθούν στο να παραμένει ζεστό ένα δωμάτιο. Το πέμπτο μάθημα αφορούσε στη λανθάνουσα θερμότητα και στόχος ήταν οι μαθητές να εξηγήσουν γιατί κατά τη θέρμανση νερού η θερμοκρασία του αυξάνεται

συνεχώς από 0 – 100 °C, αλλά κατόπιν παραμένει σταθερή. Τέλος, το έκτο και τελευταίο μάθημα αφορούσε στη θέρμανση ενός χάρτινου ποτηριού και συγκεκριμένα τους ζητήθηκε να ερμηνεύσουν γιατί ένα χάρτινο ποτήρι γεμάτο με νερό δεν καίγεται όταν τοποθετηθεί πάνω από ένα λύχνο Bunsen.

Αρκετοί ερευνητές επεδίωξαν να μελετήσουν τη συνεισφορά **προσομοιώσεων**, σχετικών με την κίνηση των μορίων της ύλης, στην κατανόηση των θερμικών εννοιών.

Οι Psillos et al. (2016) στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος Materials Science **ανέπτυξαν, εφάρμοσαν και βελτίωσαν μία ΔΜΑ σχετική με τη θερμική αγωγιμότητα διάφορων υλικών σωμάτων.** Η ακολουθία που σχεδίασαν βασιζόταν στο μοντέλο της διερεύνησης (καθοδηγούμενη διερεύνηση) και αποτελούνταν από ένα εμπλουτισμένο μαθησιακό περιβάλλον, το οποίο περιλάμβανε πραγματικά και προσομοιωμένα πειράματα και μικροσκοπικά μοντέλα του μηχανισμού της θερμικής αγωγιμότητας. Η ακολουθία εφαρμόστηκε σε μαθητές Γυμνασίου και στόχοι των ερευνητών ήταν η βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών σε θέματα αγωγής της θερμότητας, η εισαγωγή των μαθητών στη διαδικασία του πειραματισμού, αλλά και η εξοικείωσή τους με μικροσκοπικά μοντέλα και διαδικασίες μοντελοποίησης. Κατά την εφαρμογή, οι μαθητές κλήθηκαν να κάνουν χρήση μικροσκοπικών μοντέλων για τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας σε διάφορα στερεά σώματα (μέταλλα, κεραμικά κ.ά.) και να τα συσχετίσουν με τα αποτελέσματα των πραγματικών και των εικονικών πειραμάτων και έτσι να καταλήξουν στον προσδιορισμό των επιθυμητών ιδιοτήτων των υλικών για τη θερμική μόνωση ενός σπιτιού. Η ακολουθία τους περιλάμβανε οκτώ ενότητες, όπου η καθεμία ολοκληρωνόταν σε μία διδακτική ώρα. Συγκεκριμένα, στην πρώτη ενότητα, οι μαθητές κλήθηκαν να τοποθετήσουν ποσότητες νερού ίδιας θερμοκρασίας σε δοχεία από διαφορετικά υλικά και κατόπιν να μελετήσουν τη θερμική αλληλεπίδραση τους και να ταξινομήσουν τα υλικά σύμφωνα με τη θερμική τους αγωγιμότητα. Στη δεύτερη ενότητα, διερεύνησαν προσομοιωμένα, μικροσκοπικά μοντέλα για τη θερμοκρασία σε κεραμικά υλικά και μέταλλα και σύγκριναν τις διαφορετικές αναπαραστάσεις των μοντέλων αυτών. Στην τρίτη ενότητα, διερεύνησαν τον ρόλο της ταλάντωσης των σωματιδίων του κρυσταλλικού πλέγματος κατά τη θερμική αγωγή σε κεραμικά υλικά και μέταλλα, καθώς και τον ρόλο της κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά την αγωγή στα μέταλλα, ώστε να ερμηνεύσουν το σχετικό φαινόμενο. Ακολουθώντας στην τέταρτη ενότητα, μελέτησαν τις τεχνικές πειραμάτων, τη χρήση θερμογραφικού χαρτιού για την ανίχνευση αγωγής της θερμότητας, σχεδίασαν πειραματικές διερευνήσεις και ταξινόμησαν μεταλλικές ράβδους σύμφωνα με τη θερμική τους αγωγιμότητα. Παράλληλα, εντόπισαν τη χρήση αγωγών σε καθημερινές καταστάσεις. Στην πέμπτη ενότητα, μελέτησαν την αγωγιμότητα σε κεραμικά υλικά, καθώς και τον βαθμό στον οποίο η πυκνότητα των υλικών επηρεάζει την αγωγή της θερμότητας. Στην έκτη ενότητα, διεξήγαγαν διερεύνηση σε εικονικό εργαστήριο προκειμένου να μελετήσουν τους παράγοντες που επηρεάζουν την αγωγή θερμότητας, τόσο σε καταστάσεις θέρμανσης, όσο και ψύξης. Στην έβδομη ενότητα, συζήτησαν τις εφαρμογές μονωτικών και αγωγικών υλικών στην καθημερινότητα. Και τέλος, στην όγδοη ενότητα, εφάρμοσαν τις γνώσεις τους, ώστε να μελετήσουν τις θερμικές απώλειες σε μία κατοικία με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι Λεύκος κ.ά. (2011) ανέπτυξαν μία ΔΜΑ, στην οποία ενσωμάτωσαν τη χρήση εργαλείων ΤΠΕ, για τη διδασκαλία θερμικών φαινομένων σε μαθητές Β' Γυμνασίου. Οι ερευνητές φαίνεται να θεωρούν ότι για τη διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν

τα θερμικά φαινόμενα είναι καταλληλότερα τα πειράματα προσομοίωσης. Η ακολουθία που ανέπτυξαν συγκροτείται από πέντε θεματικές περιοχές και αποτελείται τόσο από θεωρητικά, όσο και από εργαστηριακά τμήματα. Συγκεκριμένα βασίζεται στη χρήση του εικονικού εργαστηρίου θερμότητας ΣΕΠ. Το εικονικό περιβάλλον θεώρησαν ότι προσφέρει ένα κατάλληλο πλαίσιο για τη διεξαγωγή πειραμάτων σε μη πραγματικές συνθήκες, όπως η θερμική μόνωση των σωμάτων από το περιβάλλον, η επιτάχυνση του χρόνου, η δυνατότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος του εργαστηρίου (από -20 έως 130° C) και η δυνατότητα διακοπής και συνέχισης των πειραμάτων, διότι προσφέρει το πλεονέκτημα οι μαθητές να εστιάσουν σε κρίσιμα σημεία την ώρα διεξαγωγής του πειράματος. Ο σχεδιασμός τους βασίστηκε σε ερευνητικά δεδομένα σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών. Η έννοια της θερμικής ισορροπίας ήταν κομβικής σημασίας στη ΔΜΑ που ανέπτυξαν, καθώς στόχος τους ήταν η ενοποιημένη αντιμετώπιση των εννοιών της θερμοκρασίας και της θερμότητας. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η ανάπτυξη ενός ερμηνευτικού μηχανισμού για φαινόμενα θερμικών αλληλεπιδράσεων θα πρέπει να γίνεται μέσω της εισαγωγής και μελέτης της έννοιας της θερμικής ισορροπίας. Η πρόταση τους εστιάζει στην κατασκευή επεξηγηματικών μοντέλων αξιοποιώντας κυρίως το μοντέλο «ροής θερμότητας». Κεντρικός στόχος τους μέσα από τον σχεδιασμό της ακολουθίας ήταν οι μαθητές να αντιμετωπίσουν καταστάσεις θερμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο σωμάτων. Συγκεκριμένα, η ακολουθία τους αποτελούνταν από επτά έργα τα οποία αφορούσαν: α) στη θερμική αλληλεπίδραση εξ επαφής (διάδοση με αγωγή) δύο σωμάτων ίσων ή διαφορετικών μαζών και δύο σωμάτων διαφορετικού υλικού, β) στη θερμική αλληλεπίδραση από απόσταση (διάδοση με ακτινοβολία) διαφόρων σωμάτων και του περιβάλλοντος, ενός σώματος και του περιβάλλοντος και μεταξύ ενός σώματος και του περιβάλλοντος συναρτήσει του χρώματος του σώματος (απορρόφηση - εκπομπή).

Οι Yeo et al. (2020) μελέτησαν την επίδραση οπτικών αναπαραστάσεων στην κατανόηση της έννοιας της αγωγής της θερμότητας σε μαθητές 9-10 ετών (4th grade) και προσδιόρισαν σχεδιαστικά ζητήματα κατά τη χρήση τους στη διδασκαλία. Στην έρευνά τους οι μαθητές κλήθηκαν αρχικά να δημιουργήσουν εικόνες ως μοντέλα του φαινομένου που διερευνούσαν και κατόπιν να τα αξιοποιήσουν για να εξηγήσουν αυτά τα φαινόμενα. Συγκεκριμένα, αρχικά παρατήρησαν τι συμβαίνει κατά την επαφή δύο αντικειμένων διαφορετικής θερμοκρασίας (ζεστή πατάτα και κρύο νερό), με την αξιοποίηση μίας θερμικής κάμερας. Οι μαθητές παρατήρησαν τις αλλαγές στη θερμοκρασία των σωμάτων, μέσω των διαφορετικών χρωμάτων στην οπτικοποίηση που πρόσφερε η κάμερα. Για τη μελέτη αυτού του φαινομένου, αλλά και για την κατανόηση της οπτικοποίησης της κάμερας, πριν το σχετικό μάθημα στους μαθητές είχε γίνει ρητή αναφορά για την έννοια της ενέργειας και συγκεκριμένα για το γεγονός ότι όταν ένα σώμα έχει υψηλότερη θερμοκρασία, έχει και περισσότερη ενέργεια. Για να αναπαραστήσουν τις σχετικές διαφορές στην ενέργεια που έχει το κάθε σώμα οι μαθητές χρησιμοποίησαν ένα συγκεκριμένο εικονογραφικό σύμβολο (σταυρός). Περισσότεροι σταυροί σήμαιναν περισσότερη θερμική ενέργεια. Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές δημιούργησαν ενεργειακά διαγράμματα για να αναπαραστήσουν τα συμπεράσματά τους για την ποσότητα της ενέργειας που είχαν τα αντικείμενα διαφορετικών θερμοκρασιών στο πείραμα με τη ζεστή πατάτα και το κρύο νερό. Κατόπιν, με τη βοήθεια των ενεργειακών διαγραμμάτων που δημιουργήθηκαν από όλη την τάξη και μέσα από την πραγματοποίηση συζήτησης, οι μαθητές ήταν σε θέση να εξηγήσουν πώς προέκυψαν οι αλλαγές στη θερμοκρασία των δύο

αυτών σωμάτων. Η διαδικασία αυτή σύμφωνα με τους ερευνητές βοήθησε τους μαθητές να αναπτύξουν κατανόηση για την μεταφορά της θερμότητας.

Οι Åhman & Jeppsson (2020) μελέτησαν τον βαθμό στον οποίο η χρήση θερμικών καμερών μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη της κατανόησης της μεταφοράς της θερμότητας με αγωγή σε μαθητές 12-13 ετών (6th grade). Στην παρέμβαση που σχεδίασαν οι μαθητές μέσα από την αξιοποίηση των θερμικών καμερών διερεύνουν τι συμβαίνει όταν ένα παγάκι έρχεται σε επαφή με διάφορα υλικά όπως χαρτί και γυαλί, εξέτασαν την αγωγιμότητα του χαρτιού και του χαλκού και κλήθηκαν μέσα από τη μελέτη των μονωτικών ιδιοτήτων τους, να ερμηνεύσουν τη χρήση των θερμών και των καπιτονέ μπουφάν στην καθημερινότητα. Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η χρήση της θερμικής κάμερας βοήθησε τους μαθητές να παρατηρήσουν και να κατανοήσουν τις έννοιες της θερμότητας και της θερμοκρασίας. Παράλληλα, οι εικόνες που προέκυψαν από τη χρήση της θερμικής κάμερας αποτέλεσαν σημαντική σημειωτική πηγή. Παρείχαν στους μαθητές μία οπτική υποστήριξη και διευκόλυναν τους διαλόγους τους αναφορικά με τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή και τους βοήθησαν να αναπαραστήσουν τη θερμότητα ως διαδικασία.

1.4 Σύνοψη θεωρητικού μέρους

Συνοψίζοντας τα ευρήματα που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία παρατηρείται ότι:

- Μαθητές όλων των βαθμίδων της εκπαίδευσης διαθέτουν πληθώρα εναλλακτικών ιδεών για τη φύση της έννοιας της θερμότητας, οι οποίες τους επηρεάζουν στον τρόπο που αντιλαμβάνονται τους μηχανισμούς διάδοσής της. Συγκεκριμένα, **η εναλλακτική ιδέα των μαθητών ότι η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού** (Albert, 1978; Chi & Slotta, 1993; Chi et al., 1994; Chiou & Anderson, 2009; Erickson, 1979, 1980; Erickson & Tiberghien, 1985; Haglund et al., 2014; Howe, 1998; Lautetrey & Mazens, 2004; Liu, 2011; Reiner et al., 2000; Yeo & Zadnik, 2001) **φαίνεται να είναι κομβικής σημασίας για την εννοιολογική κατανόηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή.** Έχοντας αυτή την ιδέα οι μαθητές τείνουν, είτε να ταυτίζουν τη θερμότητα με τον ζεστό αέρα και να θεωρούν ότι «κινείται» με ευκολία προς τα επάνω, είτε να θεωρούν ότι υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις και συνεπώς μπορεί να «κινείται» με ευκολία προς τα κάτω. Έτσι, κατά τη θέρμανση ενός αντικειμένου θεωρούν ότι η ευνοείται η διάδοση της θερμότητας προς κάποια κατεύθυνση (είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω) και δυσκολεύονται να αντιληφθούν το εν λόγω θερμικό φαινόμενο με όρους μεταφοράς ενέργειας. Επιπλέον, οι μαθητές τείνουν να χαρακτηρίζουν ένα σώμα ως καλό αγωγό της θερμότητας με κριτήριο το εάν αυτό μπορεί να θερμανθεί εξωτερικά σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες (Driver et al., 1993) ή με κριτήριο διάφορες παρατηρήσιμες ιδιότητές του (Clough & Driver, 1985; Kesidou & Duit, 1993). Έτσι, συχνά θεωρούν ότι η θερμότητα διαδίδεται σε σώματα που σύμφωνα με τις αισθητηριακές τους εμπειρίες μπορούν να θερμανθούν με ευκολία (π.χ. γυαλί, νερό) ή τείνουν να εκτιμούν τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας με κριτήριο παρατηρήσιμες ιδιότητες των υλικών (π.χ. το πάχος τους). **Οι ιδέες αυτές φαίνεται επίσης να έχουν ιδιαίτερη σημασία για την εννοιολογική κατανόηση του μηχανισμού της αγωγής, καθώς στην περίπτωση που δε ληφθούν υπόψη ελλοχεύει ο κίνδυνος οι μαθητές να θεωρήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται σε σώματα που θεωρούνται κακοί αγωγοί της θερμότητας, όπως το γυαλί, το νερό κ.ά. ή να**

θεωρήσουν ότι ο ρυθμός διάδοσής της επηρεάζεται από διάφορες παρατηρήσιμες ιδιότητες των σωμάτων, όπως το πάχος τους.

- Σε επίπεδο Πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης φαίνεται να εντοπίζεται περιορισμένος αριθμός μελετών που αφορούν στη διδασκαλία του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή (Åhman & Jeppsson, 2020; Baydere, 2021; Chen & Linn, 2019; Dexter, 2013; Haglund et al., 2016; Turgut & Gurbuz, 2012; Yeo et al., 2020; Yuenyong & Yuenyong, 2021). Σε αυτές τις έρευνες η διερεύνηση του φαινομένου πραγματοποιείται αποκλειστικά στη φαινομενολογική του βάση, καθώς υιοθετείται ένα ανακαλυπτικό πλαίσιο, μέσα από το οποίο δε φαίνεται να επιδιώκεται η ερμηνεία του φαινομένου, ούτε η αντιμετώπιση των σχετικών εναλλακτικών των μαθητών που επηρεάζουν την κατανόησή του. Ιδιαίτερα η εναλλακτική ιδέα των μαθητών περί υλικής υπόστασης της θερμότητας δε φαίνεται να λαμβάνεται υπόψη σε αυτές τις μελέτες.

- Σε επίπεδο σχεδιασμού ΔΜΑ, η μέθοδος του Διδακτικού Πειράματος (Komorek & Duit, 2014) φαίνεται να αποτελεί μία σημαντική μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία μπορεί να παρέχει πληροφορίες αναφορικά με την πορεία της γνωστικής εξέλιξης των μαθητών, κατά την εφαρμογή της ακολουθίας. Με αυτό τον τρόπο η αξιοποίηση της μεθόδου φαίνεται να θεωρείται κατάλληλη για την ανάδειξη των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών (Méheut & Psillos, 2004), τα οποία με τη σειρά τους μπορούν να συμβάλλουν στον αποτελεσματικότερο σχεδιασμό μίας ΔΜΑ (Niedderer et al., 1992).

Στο παραπάνω πλαίσιο θα είχε ερευνητικό ενδιαφέρον η πραγματοποίηση ερευνών σε επίπεδο Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης, ώστε να μελετηθεί ο βαθμός στον οποίο μαθητές αυτής της βαθμίδας είναι σε θέση να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή. Προς αυτή την κατεύθυνση ο σχεδιασμός μίας κατάλληλης ΔΜΑ φαίνεται ότι θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις προαναφερθείσες εναλλακτικές ιδέες των μαθητών (περί υλικής υπόστασης της θερμότητας και περί κριτηρίων κατάταξης των σωμάτων σε καλούς και κακούς αγωγούς της θερμότητας). Επιπλέον, μέσα από την εφαρμογή της ακολουθίας, η τεκμηρίωση των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικά ερευνητικά δεδομένα για τις δυσκολίες που συναντούν οι μαθητές στην πορεία τους προς την επιστημονική άποψη, καθώς και για τους τρόπους με τους οποίους μπορούν αυτές να ξεπεραστούν.

2. Μεθοδολογία της έρευνας

2.1 Σκοπός της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν 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 (10-11 ετών). Απώτερος στόχος ήταν η καταγραφή των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών, κατά την οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής εξήγησης του εν λόγω φαινομένου.

Το κεντρικό ερευνητικό ερώτημα που επιδιώχθηκε να απαντηθεί ήταν το εξής:

«Μπορούν μαθητές Ε΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου να οικοδομήσουν στοιχεία του επιστημονικά αποδεκτού μοντέλου για την εξήγηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή;»

Για να απαντηθεί το παραπάνω ερώτημα αναλύθηκε στα εξής υποερωτήματα:

1α. Μπορούν μαθητές Ε΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη ότι η διάδοση της θερμότητας με αγωγή (στα μέταλλα) λαμβάνει χώρα με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις;

1β. Ποια είναι τα μονοπάτια μάθησης μαθητών Ε΄ τάξης σε αυτή την περίπτωση;

2α. Μπορούν μαθητές Ε΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη ότι η διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα διαφόρων στερεών υλικών οφείλεται στο είδος των υλικών αυτών;

2β. Ποια είναι τα μονοπάτια μάθησης μαθητών Ε΄ τάξης σε αυτή την περίπτωση;

3α. Μπορούν μαθητές Ε΄ τάξης του Δημοτικού Σχολείου να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη ότι το νερό και ο αέρας είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας;

3β. Ποια είναι τα μονοπάτια μάθησης μαθητών Ε΄ τάξης σε αυτή την περίπτωση;

2.2 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 (αστικό περιβάλλον).

Οι μαθητές συμμετείχαν εθελοντικά και κατόπιν έγγραφης συγκατάθεσης των γονέων τους. Συγκεκριμένα, από το σύνολο των μαθητών της Ε΄ τάξης του σχολείου επιλέχθηκαν δώδεκα (12) μαθητές των οποίων οι γονείς εργάζονταν στον εν λόγω σχολικό οργανισμό ή υπήρχε η πληροφόρηση ότι οι γονείς τους ήταν συνεργάσιμοι. Ως εκ τούτου, η επιλογή των συμμετεχόντων ήταν βολική.

Οι εν λόγω μαθητές κατά τη διάρκεια της σχολικής χρονιάς την οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα παρακολουθούσαν το μάθημα των Φυσικών, στο οποίο η διδασκαλία των διάφορων εννοιών γινόταν σε ένα παραδοσιακό πλαίσιο διδασκαλίας και μάθησης, ακολουθώντας ένα διαφορετικό εγχειρίδιο από αυτό του Υπουργείου. Τα μαθήματα που είχαν παρακολουθήσει οι συγκεκριμένοι μαθητές 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, όταν σώματα διαφορετικής θερμοκρασίας έρθουν σε επαφή, γ) στα φαινόμενα τήξης, πήξης, εξάτμισης, συμπύκνωσης και βρασμού και δ) στη διαστολή και συστολή στερεών και ρευστών σωμάτων κατά τη θέρμανσή τους.

Για τις ανάγκες της έρευνας συγκροτήθηκαν **τέσσερις (4) ομάδες των τριών (3) μαθητών**. Αναφορικά με τη σύνθεση των ομάδων, μία ομάδα αποτελούνταν από τρία αγόρια, δύο ομάδες αποτελούνταν από δύο αγόρια και ένα κορίτσι και μία ομάδα

αποτελούνταν από ένα αγόρι και δύο κορίτσια. Ένας από τους μαθητές είχε διάγνωση μαθησιακών δυσκολιών.

2.3 Χρονικό διάστημα υλοποίησης της έρευνας

Η έρευνα έλαβε χώρα εντός του ωρολογίου προγράμματος του εν λόγω σχολείου, κατά το χρονικό διάστημα 16/05/2022 – 08/06/2022.

2.4 Εργαλεία της έρευνας

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη **μέθοδο του Διδακτικού Πειράματος (ΔΠ)**, όπως αυτό προτείνεται από τους Komorek & Duit (2004). Όπως προαναφέρθηκε, κατά την εφαρμογή ενός ΔΠ 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) ΔΠ, με διάρκεια 1 ½ διδακτική ώρα** το καθένα (περίπου 90'), η δομή των οποίων παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα της εργασίας (*Κεφάλαιο 3*). Για κάθε ΔΠ σχεδιάστηκε από ένα φύλλο εργασίας, μέσα από το οποίο οι μαθητές πλοηγήθηκαν στη διδασκαλία. Τα φύλλα εργασίας χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την καταγραφή των πειραματικών δεδομένων από τους μαθητές, ωστόσο οι μαθητές κατέγραψαν και γραπτώς σε αυτά τις αρχικές τους απόψεις, τις παρατηρήσεις τους και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν (*δες Παράρτημα*). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εφαρμογή των ΔΠ ήταν η ακόλουθη: αρχικά εφαρμόστηκε το πρώτο ΔΠ σε όλες τις ομάδες εντός πέντε (5) ημερών, έπειτα ακολούθησε η εφαρμογή του δεύτερου ΔΠ σε όλες τις ομάδες εντός έξι (6) ημερών και τέλος η εφαρμογή του τρίτου ΔΠ σε όλες τις ομάδες εντός οκτώ (8) ημερών. Κατά την εφαρμογή του τρίτου ΔΠ απουσίαζε μία μαθήτρια για λόγους υγείας.

2.5 Συλλογή και ανάλυση των δεδομένων

Τα ΔΠ 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 ΔΠ, όπως αυτά περιγράφονται στη διδακτική πορεία του καθενός ξεχωριστά στην επόμενη ενότητα (*Κεφάλαιο 3*).

Ο χαρακτήρας της έρευνας ήταν διερευνητικός, ως εκ τούτου για την ανάλυση των δεδομένων αξιοποιήθηκαν ποιοτικές μέθοδοι ανάλυσης περιεχομένου (Erickson, 2012). Συγκεκριμένα, για κάθε ένα βήμα του κάθε ΔΠ καταγράφηκαν:

- 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 κατηγοριοποιήθηκαν και συνδυάστηκαν προκειμένου να περιγραφεί η όποια εννοιολογική εξέλιξη των μαθητών και να καταγραφούν τα μονοπάτια μάθησής τους.

Σύμφωνα με τον Erickson (2012) υπάρχουν τρία είδη περιγραφής των αποτελεσμάτων μίας ποιοτικής έρευνας:

- α) η ειδική περιγραφή (*particular description*)
- β) η γενική περιγραφή (*general description*)
- γ) ο προσανατολισμένος σχολιασμός (*orienting commentary*)

Ο εν λόγω ερευνητής αναφέρει ότι ο συνδυασμός μίας γενικής και ειδικής περιγραφής των δεδομένων φαίνεται να είναι ο πιο σαφής και πειστικός τρόπος για τον αναγνώστη, καθώς σε αυτή την περίπτωση εμφανίζονται όχι μόνο οι πιο συχνές απόψεις, αλλά το πλήρες εύρος αυτών και η σχετική συχνότητά εμφάνισής τους. Κατά αυτόν τον τρόπο η αναφορά δεν είναι μονοδιάστατη και επιφανειακή. Ακολουθώντας την προηγούμενη άποψη, για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων υιοθετήθηκε μία αφηγηματική αναφορά των απόψεων που εκφράστηκαν και είχαν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, παραθέτοντας ενδεικτικά αποσπάσματα των διαλόγων, ενώ παράλληλα ενσωματώθηκαν απλοί πίνακες συχνότητων, ώστε να παρέχονται πληροφορίες για το σύνολο των απόψεων που εκφράστηκαν και όχι μόνο όσων επικράτησαν. Έτσι, για κάθε βήμα των ΔΠ αποτυπώθηκε μία συνολική εικόνα με ποσοστά για τις τάσεις που αναδεικνύονταν κάθε φορά. Κατόπιν, μέσα από τη σύνοψη των αποτελεσμάτων έγινε μία προσπάθεια να αναδειχθούν οι διαφορετικές πορείες μάθησης που εντοπίστηκαν. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην αφηγηματική παράθεση των αποσπασμάτων από τους διαλόγους, σε ορισμένες περιπτώσεις αξιοποιήθηκαν συμπληρωματικά αποσπάσματα και από τις απαντήσεις των μαθητών στα φύλλα εργασίας.

3. Περιγραφή της ΔΜΑ

3.1 Εισαγωγή

Κατά τον σχεδιασμό της ΔΜΑ λήφθηκε υπόψη το επιστημονικό περιεχόμενο για τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή και ευρήματα ερευνών που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφία και αφορούν σε ιδέες μαθητών που φαίνεται να επηρεάζουν την οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής εξήγησης του εν λόγω φαινομένου. **Βασική επιδίωξη ήταν η αντιμετώπιση της εναλλακτικής ιδέας των μαθητών ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση** (Albert, 1978; Chi & Slotta, 1993; Chi et al., 1994; Chiou & Anderson, 2009; Erickson, 1979, 1980; Erickson & Tiberghien, 1985; Haglund et al., 2014; Howe, 1998; Lautetrey & Mazens, 2004; Liu, 2011; Reiner et al., 2000; Yeo & Zadnik, 2001), **καθώς και της ιδέας ότι ένα σώμα θεωρείται καλός αγωγός με κριτήριο την ευκολία με την οποία μπορεί να θερμανθεί εξωτερικά** (Clough & Driver, 1985; Kesidou & Duit, 1993). Η πρώτη ιδέα θεωρήθηκε ότι συνιστά εμπόδιο στην οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής άποψης ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα (ερευνητικά υποερωτήματα 1α και 1β), ενώ η δεύτερη ιδέα θεωρήθηκε ότι συνιστά εμπόδιο στην οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής άποψης ότι η διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα των διάφορων υλικών οφείλεται στη διαφορετική σύστασή τους (ερευνητικά υποερωτήματα 2α, 2β) και της επιστημονικά αποδεκτής άποψης ότι το νερό και ο αέρας είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας (ερευνητικά υποερωτήματα 3α, 3β).

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω εναλλακτικών ιδεών των μαθητών υιοθετήθηκε ένα κονστрукτιβιστικό πλαίσιο διδασκαλίας και μάθησης. Σε ένα τέτοιο πλαίσιο η γνώση «οικοδομείται» ενεργά από τους μαθητές, στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν τον κόσμο, ενώ σημαντικό ρόλο έχουν οι προϋπάρχουσες εμπειρίες και γνώσεις τους, καθώς οι νέες πληροφορίες αξιολογούνται με βάση αυτές (Duit & Treagust, 1998).

Όπως προαναφέρθηκε η έρευνα πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του ΔΠ. Κατά τον σχεδιασμό των τριών ΔΠ λήφθηκε υπόψη το ακόλουθο σχήμα διάρθρωσης που προτείνουν οι Komorek & Duit (2004), για τη δομή ενός ΔΠ:

- α) Διατύπωση πρόβλεψης
- β) Παρατήρηση
- γ) Εξήγηση
- δ) Γενίκευση

Αξίζει να αναφερθεί ότι στο πρώτο και στο τρίτο ΔΠ, τα τρία πρώτα βήματα (πρόβλεψη, παρατήρηση, εξήγηση) επαναλήφθηκαν περισσότερες από μία φορές και κατόπιν οι μαθητές οδηγήθηκαν στο τέταρτο βήμα (γενίκευση).

Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η διδακτική πορεία που ακολουθήθηκε σε καθένα από τα τρία ΔΠ.

3.2 Πρώτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στα μέταλλα

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας αναφορικά με ιδέες μαθητών για τη φύση της έννοιας της θερμότητας, προκύπτει ότι μία αρκετά συχνή εναλλακτική ιδέα, που απαντάται σε μαθητές όλων των βαθμίδων, είναι ότι **η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού** (Albert, 1978; Chi & Slotta, 1993; Chi et al., 1994; Chiou & Anderson, 2009; Erickson, 1979, 1980; Erickson & Tiberghien, 1985; Haglund et al., 2014; Howe, 1998;

Lautetrey & Mazens, 2004; Liu, 2011; Reiner et al., 2000; Yeo & Zadnik, 2001). Η συγκεκριμένη ιδέα των μαθητών φαίνεται να υποδηλώνει ότι η θερμότητα:

- i) *έχει κινητήρια δύναμη και μπορεί να εισέρχεται στα αντικείμενα που θερμαίνονται και να «ταξιδεύει» μέσα σε αυτά*
- ii) *έχει υλική υπόσταση και ως εκ τούτου υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις*
- iii) *προσομοιάζει με τον καπνό, τον αέρα ή τον ατμό και ως εκ τούτου «κινείται» με ευκολία προς τα πάνω*

Η εν λόγω ιδέα 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 συγκεκριμένη εναλλακτική ιδέα θα πρέπει να αντιμετωπιστεί πρωταρχικά μέσα από τη διδασκαλία της διάδοσης της θερμότητας στα μέταλλα, πριν οι μαθητές διδαχθούν τη διάδοσή της σε άλλα υλικά σώματα. Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης μετάλλων οι μαθητές έχουν την δυνατότητα να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις και συνεπώς να αντιμετωπίσουν τη συγκεκριμένη εναλλακτική ιδέα. Επιπλέον, θεωρήθηκε ότι η αντιμετώπιση της εν λόγω ιδέας πρέπει να προηγείται της διδασκαλίας των ρευμάτων μεταφοράς της θερμότητας σε ρευστά σώματα, καθώς στην αντίθετη περίπτωση είναι πιθανό να ενισχυθεί.

Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε το πρώτο μέρος της ακολουθίας, κεντρικός διδακτικός στόχος του οποίου είναι ο ακόλουθος:

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

Κομβικά σημεία αυτού του τμήματος της ακολουθίας είναι:

α) *η καταγραφή των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τη φύση της έννοιας της θερμότητας*

β) *η πραγματοποίηση και ερμηνεία πειραμάτων που θα υποστηρίξουν το γεγονός ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα και ως εκ τούτου δεν μπορεί να είναι μία ρευστή ουσία με υλική υπόσταση*

Τα βασικά βήματα της ακολουθίας είναι τα παρακάτω:

1^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- *να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα, σε μία μεταλλική ράβδο, την οποία έχουμε τοποθετήσει με μικρή κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, και τη θερμαίνουμε ακριβώς στο κέντρο της*
- *να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους*

Τα **υλικά** που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής (Εικόνα 3.2):

- i) μία μεταλλική ράβδος, η οποία έχει βαθμονομηθεί ανά 5 εκ. από το κέντρο της και προς τα δύο άκρα της
- ii) κερί
- iii) αναπτήρας
- iv) ξύλινη βάση στήριξης της ράβδου

Αρχικά παρουσιάζεται στους μαθητές μία μεταλλική ράβδος, η οποία έχει βαθμονομηθεί ανά 5 εκ., από το κέντρο της και προς τα δύο της άκρα. Στη ράβδο τοποθετούνται από τρεις σταγόνες πηγμένου κεριού στα 10, 15, 20 και 25 εκ. εκατέρωθεν του κέντρου της (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1. Στη μεταλλική ράβδο έχουν τοποθετηθεί από 3 σταγόνες πηγμένου κεριού στα 10, 15, 20 και 25 εκ. εκατέρωθεν του κέντρου της

Με τη βοήθεια της ξύλινης βάσης η ράβδος τοποθετείται με μία μικρή κλίση 10° ως προς το οριζόντιο επίπεδο (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Η μεταλλική ράβδος τοποθετείται με κλίση 10° ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Στους μαθητές τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: «Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί, εάν θερμάνουμε τη ράβδο, με τη βοήθεια ενός φλόγιστρου, ακριβώς στο κέντρο της;»

Οι μαθητές 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 σταγόνες, διότι θα θεωρήσουν ότι η θερμότητα θα πάει προς τα πάνω, καθώς θα την ταυτίσουν με τον καπνό ή τον αέρα.

Αξίζει να αναφερθεί ότι για τις ανάγκες του συγκεκριμένου πειράματος βαθμονομήθηκε από εμάς μία ράβδος αλουμινίου, ανά πέντε εκατοστά από το κέντρο της και προς τα δύο

της άκρας, με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται ένα σημείο αναφοράς για να προκύπτουν ισομεγέθεις πηγμένες σταγόνες κεριού. Επίσης, κατασκευάστηκε μία ξύλινη βάση, ώστε να είναι εφικτή η ασφαλής τοποθέτηση της ράβδου στην επιθυμητή γωνία κλίσης, κατά την πραγματοποίηση του πειράματος.

2^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να διαπιστώσουν πειραματικά (1^ο Πείραμα) ότι κατά τη θέρμανση της μεταλλικής ράβδου, ακριβώς στο κέντρο της, η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις
- να ερμηνεύσουν τη σχετική πειραματική παρατήρηση

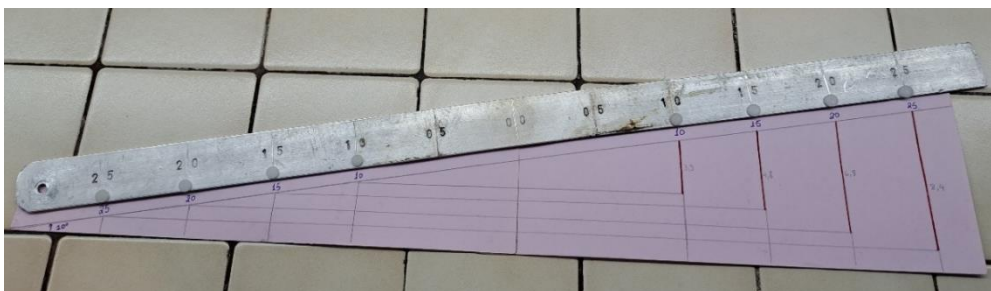
Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής (Εικόνα 3.4):

- i) μία μεταλλική ράβδος, η οποία έχει βαθμονομηθεί ανά 5 εκ. από το κέντρο της και προς τα δύο άκρα της
- ii) κερι
- iii) αναπτήρας
- iv) ξύλινη βάση στήριξης
- v) φλόγιστρο
- vi) χρονόμετρο

Κατά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος 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. Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος, 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. Έτσι, το πείραμα βιντεοσκοπήθηκε από εμάς και επιλέχθηκε μία εκδοχή του, κατά την οποία παρατηρούνται οι ελάχιστες δυνατές αποκλίσεις στα χρονικά διαστήματα στα οποία λιώνουν οι διαδοχικές σταγόνες πηγμένου κεριού. Στην περίπτωση που η πραγματοποίηση του εν λόγω πειράματος γινόταν σε πραγματικό χρόνο εντός της διδασκαλίας, είναι πιθανό οι μαθητές να παρατηρούσαν τις μικρές αποκλίσεις στις χρονικές στιγμές, στις οποίες λιώνουν οι σταγόνες κεριού και αυτό ίσως επηρέαζε τη μελέτη των αντιλήψεων τους και ως εκ τούτου τη διαδικασία ανάδειξης των μονοπατιών μάθησής τους. Ωστόσο, κρίθηκε αναγκαίο οι μαθητές να έρθουν σε επαφή με τα υλικά του πειράματος, αλλά και με τις ακριβείς συνθήκες πραγματοποίησής του, για τον λόγο αυτό όλα τα υλικά παρουσιάστηκαν στους μαθητές κατά την εφαρμογή του εν λόγω διδακτικού πειράματος.

Αξίζει, επιπλέον, να αναφερθεί ότι στην περίπτωση που το πείραμα λάβει χώρα με τοποθέτηση της ράβδου με 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 με κλίση 10° ενισχύει διδακτικά τη διαδικασία σε αυτό το βήμα, αφού σε αυτό το βήμα οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται στη ράβδο με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Ωστόσο, εξαιτίας της μικρής γωνίας κλίσης είναι πιθανό να μη γίνει αντιληπτή από τους μαθητές η υψομετρική διαφορά των διαδοχικών ζευγαριών σταγόνων πηγμένου κεριού, ειδικά αυτών που βρίσκονται πιο κοντά στο κέντρο της ράβδου. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο, πριν την παρακολούθηση του πειράματος, οι μαθητές να διαπιστώσουν την υψομετρική διαφορά των σταγόνων κεριού, με τη βοήθεια ενός χαρτονιού, πάνω στο οποίο είχαν σχεδιαστεί οι υψομετρικές διαφορές όλων των ζευγαριών σταγόνων κεριού (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3. Υψομετρικές διαφορές των διαδοχικών ζευγαριών σταγόνων κεριού

Οι μαθητές παρατηρούν το πείραμα σε ψηφιακή μορφή και παράλληλα με τη βοήθεια του χρονομέτρου καταγράφουν το χρονικό διάστημα στο οποίο λιώνει η κάθε σταγόνα κεριού (Εικόνα 3.4). Κατά την παρατήρηση γίνεται παύση του βίντεο και ζητείται από τους μαθητές να προβλέψουν τι θα γίνει στη συνέχεια του πειράματος και συγκεκριμένα ποια σταγόνα κεριού προβλέπουν ότι θα λιώσει (μεταξύ της πάνω και της κάτω), καθώς αυξάνεται η υψομετρική διαφορά των διαδοχικών ζευγαριών πηγμένου κεριού.



Εικόνα 3.4. Πραγματοποίηση του 1^{ου} 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 στο προηγούμενο βήμα, ότι η θερμότητα διαδίδεται μόνο (ή πιο εύκολα) προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

3^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί σχετικά με τη διάδοση της θερμότητας στη μεταλλική ράβδο, εάν αυξηθεί και άλλο η υψομετρική διαφορά των σταγόνων πηγμένου κεριού
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους

Τα **υλικά** που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής (Εικόνα 3.5):

- i) πειραματική διάταξη, η οποία αποτελείται από δύο ξύλινες βάσεις και μία μεταλλική βελόνα πλεξίματος
- ii) κεριό
- iii) δύο πινέζες
- iv) χάρακας

Για να αντιμετωπιστεί η δυσκολία που αναφέρθηκε στο προηγούμενο βήμα, όταν το 1^ο Πείραμα λαμβάνει χώρα με τοποθέτηση της ράβδου σε γωνία κλίσης μεγαλύτερης των 10°, κατασκευάστηκε από εμάς μία διαφορετική πειραματική διάταξη (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5. Πειραματική διάταξη 2^{ου} Πειράματος

Για την κατασκευή της εν λόγω διάταξης χρησιμοποιήθηκε μία μεταλλική βελόνα πλεξίματος μικρού πάχους, της οποίας τροχίστηκε το μυτερό άκρο, ώστε τα δύο άκρα της

να έχουν ίδια διατομή. Κατόπιν, μετρήθηκε το μήκος της και χαράχθηκε ένα σημάδι ακριβώς στο κέντρο της. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπες ξύλινες βάσεις ως στηρίγματα της βελόνας. Σε αυτές τις βάσεις δημιουργήθηκε από ένα άνοιγμα με τη βοήθεια τρυπανιού, ώστε να μπορέσει να διέλθει από αυτές η μεταλλική βελόνα. Έπειτα, τα δύο άκρα της βελόνας κάμφθηκαν με τέτοιο τρόπο, ώστε να σχηματιστούν δύο κάθετα τμήματα ακριβώς ίδιου μήκους 8,5 εκ. και αντίθετου προσανατολισμού, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 3.5*.

Στους μαθητές τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: *«Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί, εάν αυξήσουμε και άλλο τη διαφορά στο ύψος των σταγόνων;»*

Εξαιτίας της μικρής διαφοράς στο ύψος των σταγόνων κερνού του προηγούμενου πειράματος είναι πιθανό οι μαθητές να εκφράσουν την άποψη ότι εάν αυξηθεί πολύ η υψομετρική διαφορά τότε θα επηρεαστεί ο τρόπος διάδοσης της θερμότητας.

Αφού οι μαθητές εκφράσουν τις απόψεις τους στο παραπάνω ερώτημα, τους παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη της *Εικόνας 3.5* και οι μαθητές 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, στους μαθητές 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;»*

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).

4^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να διαπιστώσουν πειραματικά (2^ο Πείραμα) ότι η αύξηση της υψομετρικής διαφοράς δεν επηρεάζει τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας
- να ερμηνεύσουν τη σχετική πειραματική παρατήρηση
- να διατυπώσουν το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν αναφορικά με τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας στα μέταλλα

Τα **υλικά** που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής (*Εικόνα 3.6*):

- i) πειραματική διάταξη, η οποία αποτελείται από δύο ξύλινες βάσεις και μία μεταλλική βελόνα πλεξίματος
- ii) κερί
- iii) δύο πινέζες
- iv) φλόγιστρο
- v) αναπτήρας
- vi) χρονόμετρο

Κατά την πραγματοποίηση του εν λόγω πειράματος 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 σε αυτή την περίπτωση μικρές αποκλίσεις στον χρόνο στον οποίο ξεκολλούν οι δύο πινέζες. Συνεπώς, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν στο 2^ο βήμα κρίθηκε σκόπιμο και αυτό το πείραμα να βιντεοσκοπηθεί και να προβληθεί στους μαθητές σε ψηφιακή μορφή μία εκδοχή του στην οποία οι αποκλίσεις στους σχετικούς χρόνους να είναι οι ελάχιστες δυνατές.

Οι μαθητές παρατηρούν την πραγματοποίηση του πειράματος μέσα από το βίντεο (Εικόνα 3.6) και με τη βοήθεια του χρονομέτρου καταγράφουν τις χρονικές στιγμές στις οποίες ξεκολλούν οι πινέζες. 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, μέσα από την πραγματοποίηση του πειράματος 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.



Εικόνα 3.6. Πραγματοποίηση του 2^{ου} πειράματος

Αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την κατασκευή της διάταξης του 2^{ου} Πειράματος, συνεκτιμήθηκαν παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό αγωγής της θερμότητας και έγιναν αρκετές δοκιμές με βελόνες διαφορετικής διατομής και με ξύλινες βάσεις διαφορετικού πάχους. Στο πλαίσιο του διδακτικού μετασχηματισμού θεωρήθηκε ότι το εν λόγω πείραμα μπορεί να αξιοποιηθεί, διότι ενισχύει διδακτικά τη διαδικασία σε αυτό το

βήμα της ακολουθίας, αφού οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν ότι η διάδοση της θερμότητας με αγωγή συντελείται με την ίδια ταχύτητα εντός ενός υλικού σώματος, ακόμα και αν αυτό τοποθετηθεί σε κατακόρυφη θέση.

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

5^ο Βήμα

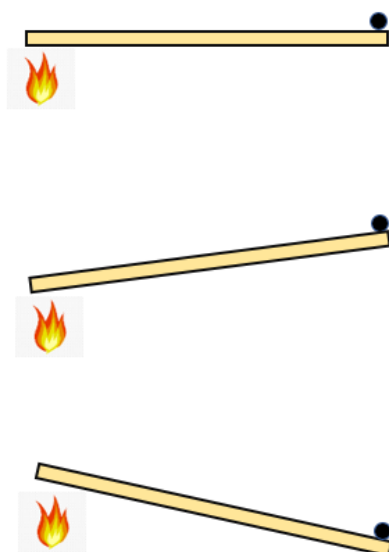
Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

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

Τα **μέσα** που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- ι) ένα σκίτσο (Εικόνα 3.7) στο οποίο απεικονίζονται τρεις μεταλλικές ράβδοι στη μία άκρη των οποίων είναι τοποθετημένη ίδια ποσότητα πηγμένου κεριού, είναι τοποθετημένες σε διαφορετική θέση ως προς το οριζόντιο επίπεδο και θερμαίνονται από παρόμοια πηγή θερμότητας, ίδιας έντασης.

Στους μαθητές παρουσιάζεται το σκίτσο της Εικόνας 3.7, το οποίο είναι τυπωμένο και στο φύλλο εργασίας που τους έχει μοιραστεί.



Εικόνα 3.7. Σκίτσο δραστηριότητας εφαρμογής

Ακολουθώντας 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».

Οι μαθητές αναμένεται να θεωρήσουν ότι και στις τρεις περιπτώσεις οι σταγόνες θα λιώσουν το ίδιο γρήγορα.

3.3 Δεύτερο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας σε διάφορα στερεά υλικά σώματα

Από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει ότι **οι μαθητές τείνουν να χαρακτηρίζουν ένα υλικό σώμα καλό αγωγό της θερμότητας με κριτήριο εάν αυτό μπορεί να θερμανθεί εξωτερικά, με βάση τις καθημερινές αισθητηριακές τους εμπειρίες** (Driver et al., 1993). Για παράδειγμα, σώματα τα οποία έχουν παρατηρήσει στην καθημερινότητά τους ότι μπορούν να θερμανθούν εύκολα, όπως το γυαλί, ξύλο κ.ά. θεωρούν ότι είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας. Επιπλέον, τείνουν να συγκρίνουν τα διάφορα υλικά σώματα ως προς τη θερμική τους αγωγιμότητα, εστιάζοντας στις παρατηρήσιμες ιδιότητές τους. Για παράδειγμα, θεωρούν ότι η θερμότητα μεταφέρεται πιο εύκολα σε υλικά τα οποία έχουν μικρότερο μήκος ή διατομή (Kesidou & Duit, 1993). Ως εκ τούτου, **είναι πιθανό οι μαθητές να γενικεύσουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή σε σώματα που θεωρούν καλούς αγωγούς με βάση τα παραπάνω κριτήρια.**

Στο πλαίσιο αυτό θεωρήθηκε ότι το δεύτερο διδακτικό πείραμα θα πρέπει να αφορά στη διδασκαλία της διάδοσης της θερμότητας σε διάφορα στερεά υλικά σώματα, μέσα από την οποία θα επιδιώκεται η οικοδόμηση των εννοιών των καλών και των κακών αγωγών της θερμότητας. Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης διάφορων στερεών υλικών σωμάτων οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα δε διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα σε όλα τα υλικά σώματα. Παράλληλα, η εισαγωγή των εννοιών των καλών και των κακών αγωγών κρίνεται σκόπιμο να γίνει σε αυτό το μέρος της ακολουθίας, προκειμένου να μπορέσει να αξιοποιηθεί στο επόμενο μέρος της, κατά τη διδασκαλία της διάδοσης της θερμότητας στο νερό και τον αέρα.

Κεντρικός διδακτικός στόχος του δεύτερου μέρους της ακολουθίας είναι ο ακόλουθος: *«Οι μαθητές/ τριες να διαπιστώσουν πειραματικά ότι η διάδοση της θερμότητας δεν πραγματοποιείται με την ίδια ταχύτητα σε όλα τα υλικά σώματα».*

Κομβικά σημεία αυτού του τμήματος της ακολουθίας είναι:

α) η καταγραφή των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τα σώματα στα οποία θεωρούν ότι διαδίδεται με ευκολία η θερμότητα, καθώς και με ποιο κριτήριο

β) η πραγματοποίηση και ερμηνεία πειραμάτων που θα υποστηρίζουν το γεγονός ότι η θερμότητα διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα στα διάφορα υλικά σώματα

Τα βασικά βήματα της ακολουθίας είναι τα παρακάτω:

1^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον ρυθμό με τον οποίο θεωρούν ότι διαδίδεται η θερμότητα στα ακόλουθα υλικά: χαλκός, γυαλί, αλουμίνιο, ξύλο, ορείχαλκος και πλαστικό
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- i) έξι ράβδοι από τα εξής υλικά: αλουμίνιο, γυαλί, χαλκό, ξύλο, ορείχαλκο και πλαστικό
- ii) κερί
- iii) έξι πινέζες
- iv) έξι κούπες

Αρχικά, παρουσιάζονται στους μαθητές οι έξι ράβδοι από τα παραπάνω υλικά στις οποίες σε απόσταση 14 εκ. από το ένα τους άκρο έχει τοποθετηθεί από μία πινέζα με τη βοήθεια μικρής ποσότητας κεριού (Εικόνα 3.8). Κατόπιν, τους τίθεται το παρακάτω ερώτημα, για το κάθε υλικό ξεχωριστά: «Εάν τοποθετήσουμε τη ράβδο μέσα σε μία κούπα με βραστό νερό, θεωρείτε ότι η θερμότητα θα μεταφερθεί γρήγορα και θα ξεκολλήσει η πινέζα και γιατί;»



Εικόνα 3.8. Ράβδοι από αλουμίνιο, γυαλί, χαλκό, ξύλο, ορείχαλκο και πλαστικό στις οποίες έχει τοποθετηθεί μία πινέζα στα 14 εκ. από το ένα τους άκρο

Οι μαθητές αναμένεται να θεωρήσουν ότι η θερμότητα θα μεταφερθεί γρήγορα και θα ξεκολλήσει η πινέζα σε υλικά, όπως το γυαλί, το ξύλο και το πλαστικό, διότι από τις καθημερινές τους αισθητηριακές εμπειρίες θεωρούν ότι είναι υλικά που μπορούν να ζεσταθούν εύκολα. Σχετικά με τα μέταλλα πιθανώς να θεωρήσουν ότι και σε αυτά η θερμότητα θα μεταφερθεί γρήγορα, λόγω των πειραματικών τους παρατηρήσεων στα πειράματα του 1^{ου} ΔΠ. Ωστόσο, πιθανώς να θεωρήσουν ότι η θερμότητα μεταφέρεται το ίδιο γρήγορα και στις τρεις μεταλλικές ράβδους, διότι το υλικό τους ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των μετάλλων. Επιπλέον, οι μαθητές πιθανώς να θεωρήσουν ότι στις ράβδους με μικρότερη διατομή, όπως σε αυτές από γυαλί και ξύλο, η θερμότητα αναμένεται να διαδοθεί πιο εύκολα, λόγω αυτής τους της ιδιότητας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι για την πραγματοποίηση αυτού του πειράματος επιλέχθηκαν τρία είδη μετάλλων με διαφορετικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, έτσι ώστε οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι οι καλοί αγωγοί ανήκουν σε ένα φάσμα αγωγής της θερμότητας. Στο σημείο αυτό, ωστόσο υπάρχει ο περιορισμός ότι μέσα από την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου πειράματος οι μαθητές δεν είναι εφικτό να διαπιστώσουν ότι κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τους κακούς αγωγούς. Ένας επιπλέον περιορισμός αφορά στα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών του πειράματος. Οι μεταλλικές ράβδοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ακριβώς το ίδιο μήκος και την ίδια διατομή, ωστόσο, οι ράβδοι από γυαλί, πλαστικό και ξύλο είχαν μεγαλύτερο μήκος και μικρότερη διατομή συγκριτικά με τις μεταλλικές. Ο παραπάνω περιορισμός θεωρήθηκε ότι πιθανώς δε θα επηρεάσει τους μαθητές στην πορεία τους προς το συμπέρασμα. Αναφορικά με το μήκος οι μαθητές δε θα μπορούσαν να αποδώσουν τη διαφορετική ταχύτητα διάδοσης της θερμότητας σε αυτόν τον παράγοντα, καθώς οι πινέζες ήταν τοποθετημένες σε όλες τις ράβδους στην ίδια απόσταση από το ένα τους άκρο. Σε ό,τι αφορά στη διατομή των υλικών, οι μαθητές δε θα μπορούσαν να αποδώσουν την αργή διάδοση της θερμότητας στις ράβδους από γυαλί, ξύλο και πλαστικό σε αυτό τον παράγοντα, διότι οι μαθητές τείνουν να θεωρούν ότι όσο μικρότερη διατομή έχει ένα υλικό τόσο ευκολότερα διαδίδεται η θερμότητα σε αυτό, κάτι το οποίο δε συμβαίνει στην περίπτωση αυτών των ράβδων, κατά την πραγματοποίηση του πειράματος.

2^ο Βήμα

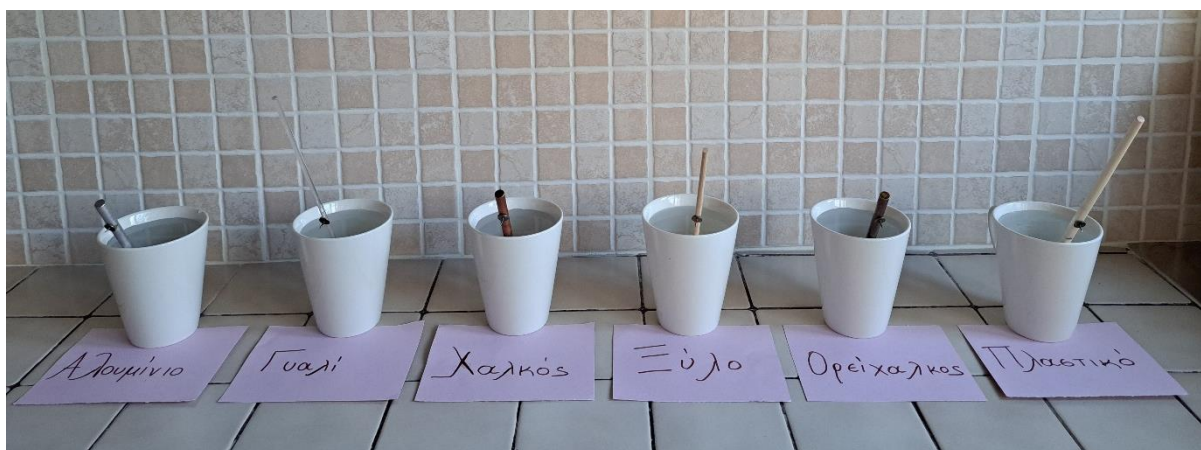
Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να διαπιστώσουν πειραματικά (3^ο Πείραμα) ότι η θερμότητα διαδίδεται με διαφορετικό ρυθμό στα διάφορα υλικά
- να ερμηνεύσουν τη σχετική πειραματική παρατήρηση

Τα **υλικά** που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- i) έξι ράβδοι από τα εξής υλικά: αλουμίνιο, γυαλί, χαλκός, ξύλο, ορείχαλκος και πλαστικό
- ii) κερί
- iii) έξι πινέζες
- iv) έξι κούπες
- v) νερό
- vi) βραστήρας
- vii) χρονόμετρο

Κατά την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος (Εικόνα 3.9) τοποθετείται ίδια ποσότητα βραστόου νερού και στις έξι κούπες. Στη συνέχεια, οι έξι ράβδοι τοποθετούνται ταυτόχρονα μέσα σε διαφορετική κούπα η καθεμία και με τέτοιο τρόπο, ώστε το άκρο της κάθε ράβδου στο οποίο είναι τοποθετημένη η πινέζα να βρίσκεται έξω από την κούπα. Οι μαθητές χρονομετρούν και καταγράφουν τη χρονική στιγμή στην οποία ξεκολλά η πινέζα σε κάθε ράβδο.



Εικόνα 3.9. Πραγματοποίηση 3^{ου} Πειράματος

Κατά την πραγματοποίηση του εν λόγω πειράματος, παρατηρείται οι πινέζες να ξεκολλούν διαδοχικά και με γρήγορο ρυθμό στις ράβδους από χαλκό, αλουμίνιο και ορείχαλκο, σε διαφορετικές ωστόσο χρονικές στιγμές (20-30 δευτερόλεπτα περίπου διαφορά μεταξύ της κάθε ράβδου). Στις ράβδους από γυαλί, ξύλο και πλαστικό οι πινέζες δεν παρατηρείται να ξεκολλούν.

Όσοι από τους μαθητές είχαν εκφράσει την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό σε υλικά, όπως το γυαλί, το ξύλο και το πλαστικό, διότι είναι υλικά που ζεσταίνονται εύκολα, αναμένεται να έρθουν σε σύγκρουση με αυτές τις απόψεις τους, καθώς θα διαπιστώσουν ότι σε αυτά τα υλικά η θερμότητα δε διαδίδεται σχεδόν καθόλου. Επιπλέον, όσοι από τους μαθητές θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί ταυτόχρονα σε όλες τις μεταλλικές ράβδους θα έρθουν σε σύγκρουση με αυτή τους την άποψη, καθώς θα παρατηρήσουν ότι οι πινέζες ξεκολλούν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές από τις ράβδους από χαλκό, αλουμίνιο και ορείχαλκο. Τέλος, όσοι από τους μαθητές είχαν αποδώσει την ευκολότερη διάδοση της θερμότητας σε παρατηρήσιμες ιδιότητες των υλικών, όπως η μικρότερη διατομή θα έρθουν σε σύγκρουση με αυτές τους τις απόψεις καθώς θα παρατηρήσουν ότι στα υλικά με τη μικρότερη διατομή η θερμότητα δε διαδίδεται σχεδόν καθόλου.

3^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να διατυπώσουν το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν αναφορικά με το ποια υλικά θεωρούν καλούς και κακούς αγωγούς της θερμότητας
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους

Οι μαθητές αναμένεται να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι καλοί αγωγοί είναι υλικά στα οποία η θερμότητα μεταφέρεται με γρήγορο ρυθμό, ενώ κακοί αγωγοί υλικά στα οποία η θερμότητα δε μεταφέρεται σχεδόν καθόλου ή μεταφέρεται με πολύ αργό ρυθμό.

4^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

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

Στους μαθητές τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: «Έστω ότι είστε κατασκευαστής κατασαρολών και επιλέγετε τα υλικά με τα οποία θα φτιάξετε τις νέες σας κατασαρόλες. Τι υλικό θα χρησιμοποιούσατε για τα χερούλια των κατασαρολών, έτσι ώστε να μην κινδυνεύσουν τα χέρια σας να πάθουν έγκαυμα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας».

Οι μαθητές αναμένεται να επιλέξουν για τα χερούλια των κατασαρολών υλικά τα οποία θεωρούνται κακοί αγωγοί της θερμότητας, όπως το ξύλο, το πλαστικό ή το γυαλί, διότι είναι υλικά στα οποία η θερμότητα διαδίδεται με αργό ρυθμό. Επίσης, αναμένεται να μην επιλέξουν υλικά που θεωρούνται καλοί αγωγοί της θερμότητας, όπως τα μέταλλα, διότι είναι υλικά στα οποία η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό και συνεπώς η εν λόγω επιλογή μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στον χρήστη.

3.4 Τρίτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στο νερό και τον αέρα

Όπως προαναφέρθηκε οι μαθητές τείνουν να χαρακτηρίζουν ένα σώμα ως καλό αγωγό της θερμότητας με κριτήριο το εάν αυτό μπορεί να θερμανθεί (Driver et al., 1993). Ως εκ τούτου, **με βάση τις καθημερινές τους αισθητηριακές εμπειρίες αναμένεται να θεωρήσουν το νερό και τον αέρα καλούς αγωγούς της θερμότητας, διότι είναι σώματα που μπορούν να θερμανθούν εύκολα.** Επιπλέον, ως απόρροια των προηγούμενων ΔΠ, **αναμένεται να γενικεύσουν τον μηχανισμό της αγωγής και στην περίπτωση του νερού και του αέρα.**

Στο πλαίσιο αυτό, θεωρήθηκε ότι το τρίτο διδακτικό πείραμα θα πρέπει να αφορά στη διδασκαλία της διάδοσης της θερμότητας στο νερό και τον αέρα. Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης του νερού και του αέρα οι μαθητές έχουν τη δυνατότητα να διαπιστώσουν ότι η θερμότητα δε διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στο νερό και τον αέρα και ως εκ τούτου να διαπιστώσουν ότι αυτά τα σώματα δε μπορούν να χαρακτηριστούν ως καλοί αγωγοί, αλλά και ότι η θέρμανση αυτών των σωμάτων δε μπορεί να πραγματοποιείται με αγωγή.

Κεντρικός διδακτικός στόχος του τρίτου μέρους της ακολουθίας είναι ο εξής:

«Οι μαθητές/τριες να διαπιστώσουν πειραματικά ότι η θερμότητα δε διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στο νερό και τον αέρα».

Τα κομβικά σημεία αυτού του μέρους της ακολουθίας είναι τα ακόλουθα:

α) η καταγραφή των ιδεών των μαθητών αναφορικά το αν θεωρούν το νερό και το αέρα καλούς ή κακούς αγωγούς της θερμότητας, καθώς και με ποιο κριτήριο

β) η πραγματοποίηση και ερμηνεία πειραμάτων που θα υποστηρίζουν το γεγονός ότι στο νερό και στον αέρα η θερμότητα δε διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις

Τα βασικά βήματα της ακολουθίας είναι τα παρακάτω:

1^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το εάν θεωρούν το νερό και τον αέρα καλούς ή κακούς αγωγούς της θερμότητας
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους

Στους μαθητές τίθεται το ακόλουθο ερώτημα, αρχικά για το νερό και κατόπιν για τον αέρα: «Θεωρείτε το νερό/ αέρα καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας και γιατί;»

Οι μαθητές αναμένεται να θεωρήσουν το νερό και τον αέρα καλούς αγωγούς της θερμότητας, καθώς με βάση τις καθημερινές αισθητηριακές τους εμπειρίες είναι πιθανό να θεωρήσουν ότι τόσο το νερό, όσο και ο αέρας είναι σώματα που μπορούν και ζεσταίνονται εύκολα.

2^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί, εάν θερμάνουμε το κάτω μέρος δοκιμαστικού σωλήνα, ο οποίος περιέχει μία ποσότητα νερού
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους
- να διαπιστώσουν πειραματικά (4^ο Πείραμα) ότι κατά τη θέρμανση του κάτω μέρους ενός δοκιμαστικού σωλήνα, ο οποίος περιέχει μία ποσότητα νερού, βράζει όλη η ποσότητα του νερού σε σύντομο χρονικό διάστημα
- να ερμηνεύσουν τη σχετική πειραματική παρατήρηση

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- i) δοκιμαστικός σωλήνας
- ii) παγωμένο νερό
- iii) ξύλινο μανταλάκι
- iv) γκαζάκι
- v) αναπτήρας
- vi) χρονόμετρο

Αρχικά, παρουσιάζεται στους μαθητές ένας δοκιμαστικός σωλήνας, στον οποίο έχει τοποθετηθεί μία ποσότητα παγωμένου νερού (1 εκ. περίπου κάτω από το στόμιό του). Κατόπιν, τους τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: «Εάν ζεστάνουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα στο κάτω μέρος του πιστεύετε ότι θα βράσει όλη η ποσότητα του νερού; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας».

Οι μαθητές αναμένεται να θεωρήσουν ότι θα βράσει όλη η ποσότητα του νερού σε σύντομο χρονικό διάστημα, διότι το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας.

Κατά την πραγματοποίηση του 4^{ου} Πειράματος (Εικόνα 3.10) θερμαίνεται το κάτω μέρος του δοκιμαστικού σωλήνα, αφού τοποθετηθεί κατακόρυφα και σε μικρή απόσταση λίγων εκατοστών πάνω από τη φλόγα από το γκαζάκι, με τη βοήθεια από το ξύλινο μανταλάκι. Οι μαθητές χρονομετρούν και καταγράφουν τη χρονική στιγμή, στην οποία βράζει όλη η ποσότητα του νερού. Κατά την πραγματοποίηση του εν λόγω πειράματος παρατηρείται ότι όλη η ποσότητα νερού βράζει σε σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου 40 δευτερολέπτων).



Εικόνα 3.10. Πραγματοποίηση 4^{ου} Πειράματος

Οι μαθητές αναμένεται να αποδώσουν τον γρήγορο βρασμό όλης της ποσότητας του νερού, στο ότι το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας.

3^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον χρόνο στον οποίο αναμένουν να βράσει όλη η ποσότητα του νερού, εάν θερμάνουμε το πάνω μέρος δοκιμαστικού σωλήνα, ο οποίος περιέχει μία ποσότητα νερού
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους
- να διαπιστώσουν πειραματικά (5^ο Πείραμα) ότι κατά τη θέρμανση του πάνω μέρους του δοκιμαστικού σωλήνα, δε βράζει όλη η ποσότητα του νερού στον ίδιο χρόνο, όπως κατά τη θέρμανσή του στο κάτω του μέρος
- να διατυπώσουν το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν αναφορικά με το εάν θεωρούν το νερό καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας

Τα **υλικά** που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια με του προηγούμενου βήματος.

Εφόσον οι μαθητές στο προηγούμενο βήμα εκφράσουν την άποψη ότι όλη η ποσότητα του νερού έβρασε, διότι το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας, τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: «Εάν το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας και επαναλάβουμε τα βήματα

του προηγούμενου πειράματος, αλλά αυτή τη φορά θερμάνουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα στο πάνω μέρος του, σε πόση ώρα θα πρέπει να βράσει όλη η ποσότητα του νερού;»

Οι μαθητές αναμένεται, ως απόρροια των προηγούμενων ΔΠ, να εκφράσουν την άποψη ότι εφόσον το νερό είναι καλός αγωγός η θερμότητα διαδίδεται σε αυτό με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις και συνεπώς αναμένουν να βράσει και σε αυτή την περίπτωση όλη η ποσότητα του νερού στον ίδιο χρόνο που είχαν παρατηρήσει στο προηγούμενο πείραμα.

Κατά την πραγματοποίηση του 5^{ου} Πειράματος (Εικόνα 3.11) θερμαίνεται το πάνω μέρος δοκιμαστικού σωλήνα, ο οποίος περιέχει την ίδια ποσότητα νερού που περιείχε και στο προηγούμενο πείραμα. Συγκεκριμένα, ο δοκιμαστικός σωλήνας τοποθετείται σε μικρή γωνία κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο και σε μικρή απόσταση λίγων εκατοστών πάνω από τη φλόγα από το γκαζάκι, με τη βοήθεια από το ξύλινο μανταλάκι. Οι μαθητές χρονομετρούν και καταγράφουν, εάν βράζει όλη η ποσότητα του νερού στον ίδιο χρόνο που κατέγραψαν ότι έβρασε η ίδια ποσότητα στο προηγούμενο πείραμα. Σε αυτή την εκδοχή του πειράματος, μετά την παρέλευση του χρονικού διαστήματος στο οποίο έβρασε όλη η ποσότητα του νερού στο προηγούμενο πείραμα, παρατηρείται ότι ενώ βράζει το νερό στο πάνω μέρος του σωλήνα, στο κάτω μέρος του παραμένει παγωμένο.



Εικόνα 3.11. Πραγματοποίηση 5^{ου} Πειράματος

Οι μαθητές αναμένεται να έρθουν σε σύγκρουση με τις απόψεις που είχαν εκφράσει στο προηγούμενο βήμα και να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι το νερό είναι κακός αγωγός της θερμότητας, καθώς η θερμότητα δε διαδίδεται σε αυτό με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις.

4^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί, εάν τοποθετήσουμε ένα σπύρτο σε μικρή απόσταση επάνω από τη φλόγα ενός κεριού
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους
- να διαπιστώσουν πειραματικά (6^ο Πείραμα) ότι κατά την τοποθέτηση ενός σπύρτου σε μικρή απόσταση πάνω από τη φλόγα ενός κεριού, τότε το σπύρτο ανάβει σε σύντομο χρονικό διάστημα
- να ερμηνεύσουν τη σχετική πειραματική παρατήρηση

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- i) ένα κεριό
- ii) σπύρτα
- iii) αναπτήρας
- iv) χρονόμετρο

Παρουσιάζονται στους μαθητές τα υλικά του πειράματος και τους τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: «Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί, εάν τοποθετήσουμε ένα σπύρτο σε μικρή απόσταση (3 εκ.) πάνω από τη φλόγα του κεριού; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας».

Οι μαθητές αναμένεται να θεωρήσουν είτε ότι το σπύρτο θα ανάψει, είτε ότι απλά θα ζεσταθεί, διότι ο αέρας είναι καλός αγωγός και η θερμότητα θα μεταφερθεί μέσω αυτού.

Κατά την πραγματοποίηση του 6^{ου} Πειράματος (Εικόνα 3.12) τοποθετείται ένα σπύρτο σε απόσταση 3 εκ. πάνω από τη φλόγα του κεριού και παρατηρείται να ανάβει σε σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου 10-20 δευτερολέπτων).



Εικόνα 3.12. Πραγματοποίηση 6^{ου} Πειράματος

Οι μαθητές αναμένεται να εκφράσουν την άποψη ότι το σπύρτο άναψε, διότι ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας.

5^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον χρόνο στον οποίο αναμένουν να ανάψουν δύο σπάρτα τα οποία πρόκειται να τοποθετηθούν στην ίδια μικρή απόσταση, αλλά εκατέρωθεν της φλόγας αυτή τη φορά
- να αιτιολογήσουν τις απόψεις τους
- να διαπιστώσουν πειραματικά (7^ο Πείραμα) ότι κατά την τοποθέτηση δύο σπάρτων σε μικρή απόσταση, αλλά εκατέρωθεν της φλόγας, τότε τα σπάρτα δεν ανάβουν
- να διατυπώσουν το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν αναφορικά με το εάν θεωρούν τον αέρα καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας

Τα **υλικά** που χρησιμοποιούνται είναι τα ίδια με του προηγούμενου βήματος.

Εφόσον οι μαθητές στο προηγούμενο βήμα εκφράσουν την άποψη ότι το σπάρτο άναψε, διότι ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας, τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: «Εάν ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας και επαναλάβουμε το προηγούμενο πείραμα, αλλά αυτή τη φορά θάλουμε από ένα σπάρτο αριστερά και δεξιά από τη φλόγα, σε πόση ώρα θα πρέπει να ανάψουν αυτά τα σπάρτα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας».

Οι μαθητές αναμένεται, ως απόρροια των προηγούμενων ΔΠ, να εκφράσουν την άποψη, ότι εφόσον ο αέρας είναι καλός αγωγός, η θερμότητα διαδίδεται σε αυτόν με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Συνεπώς αναμένουν να ανάψουν και αυτά τα σπάρτα στον ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο άναψε και το σπάρτο του προηγούμενου πειράματος.

Κατά την πραγματοποίηση του 7^{ου} Πειράματος (Εικόνα 3.13) τοποθετούνται δύο σπάρτα εκατέρωθεν της φλόγας του κεριού σε απόσταση 3 εκ. από αυτή. Οι μαθητές χρονομετρούν και καταγράφουν, εάν τα σπάρτα ανάβουν στο ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο κατέγραψαν ότι άναψε το σπάρτο στο προηγούμενο πείραμα. Σε αυτή την εκδοχή του πειράματος παρατηρείται να μην ανάβουν τα σπάρτα, στο χρονικού διαστήματος στο οποίο άναψε το σπάρτο του προηγούμενου πειράματος.



Εικόνα 3.13. Πραγματοποίηση 7^{ου} Πειράματος

Οι μαθητές αναμένεται να έρθουν σε σύγκρουση με τις απόψεις που είχαν εκφράσει στο προηγούμενο βήμα και να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι ο αέρας είναι κακός αγωγός της θερμότητας, καθώς η θερμότητα δε διαδίδεται σε αυτόν με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις.

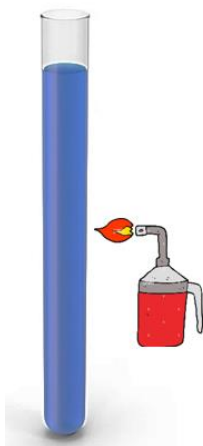
6^ο Βήμα

Στο βήμα αυτό οι μαθητές καλούνται:

- να εφαρμόσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν στο προηγούμενο βήμα σε νέες καταστάσεις

Τα **μέσα** που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- i) ένα σκίτσο (Εικόνα 3.14) στο οποίο απεικονίζεται ένας δοκιμαστικός σωλήνας μεγάλου μήκους, ο οποίος είναι τοποθετημένος κατακόρυφα ως προς το οριζόντιο επίπεδο, περιέχει παγωμένο νερό και με τη βοήθεια ενός φλόγιστρου τον θερμαίνουμε ακριβώς στο κέντρο του.



Εικόνα 3.14. Σκίτσο δραστηριότητας εφαρμογής

- ii) μία φωτογραφία (Εικόνα 3.15) στην οποία παρουσιάζονται δύο ίδια παγάκια, τα οποία είναι τυλιγμένα με αλουμινόχαρτο, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Συγκεκριμένα το πρώτο είναι τυλιγμένο με το αλουμινόχαρτο πολύ σφιχτά, ενώ το δεύτερο έχει τυλιχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει ελεύθερος χώρος με αέρα ανάμεσα στο παγάκι και στο αλουμινόχαρτο.



Εικόνα 3.15. Φωτογραφία δραστηριότητας εφαρμογής

Αρχικά στους μαθητές παρουσιάζεται το πρώτο σκίτσο (Εικόνα 3.14) και τους τίθεται το ακόλουθο ερώτημα: «Πιστεύετε ότι μετά από κάποια ώρα, αν ακουμπήσουμε τον σωλήνα

στο πάνω και στο κάτω μέρος θα είναι το ίδιο ζεστά αυτά τα σημεία; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας».

Αναμένεται να θεωρήσουν ότι μετά από κάποια ώρα το νερό δε θα είναι το ίδιο ζεστό στο πάνω και στο κάτω μέρος τους σωλήνα, διότι η θερμότητα δε διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις στο νερό.

Ακολουθώντας τους παρουσιάζεται η φωτογραφία με τα παγάκια (Εικόνα 3.15) και τίθεται το εξής ερώτημα: «Πιστεύετε ότι κάποιο από τα παγάκια θα λιώσει πιο γρήγορα ή πιο αργά από το άλλο; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας».

Οι μαθητές αναμένεται να θεωρήσουν ότι το παγάκι που είναι τυλιγμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει χώρος αέρα ανάμεσα σε αυτό και το αλουμινόχαρτο, θα λιώσει πιο αργά συγκριτικά με το άλλο, διότι ο αέρας είναι κακός αγωγός και δε θα ευνοηθεί η διάδοση της θερμότητας προς το παγάκι σε αυτή την περίπτωση.

4. Αποτελέσματα

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση των δεδομένων των τριών ΔΠ, καθώς και μία σύνοψη για το καθένα από αυτά. Συγκεκριμένα, για κάθε ΔΠ παρουσιάζονται αρχικά αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν και έπειτα επιχειρείται μία ομαδοποίηση των πορειών μάθησης των μαθητών με στόχο την ανάδειξη των διαφορετικών μονοπατιών μάθησης που προέκυψαν.

4.2 Πρώτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στα μέταλλα

4.2.1 Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του πρώτου διδακτικού πειράματος

1^ο Βήμα: Προς ποια κατεύθυνση θεωρούν οι μαθητές ότι θα διαδοθεί η θερμότητα στη μεταλλική ράβδο; Πού αποδίδουν τις απόψεις τους;

Στους μαθητές αρχικά παρουσιάστηκε μία μεταλλική ράβδος (Εικόνα 4.1), η οποία ήταν τοποθετημένη με κλίση 10° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και σε ίσες αποστάσεις από το κέντρο της είχαν τοποθετηθεί ισομεγέθεις πηγμένες σταγόνες κεριού. Κατόπιν, οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους σχετικά με το τι αναμένουν να συμβεί, εάν θερμάνουμε την εν λόγω ράβδο ακριβώς στο κέντρο της.



Εικόνα 4.1. Μεταλλική ράβδος 1^{ου} Πειράματος

Αναφορικά με τις απαντήσεις που προέκυψαν από αυτό το ερώτημα **οι μαθητές στο σύνολό τους φάνηκε να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας**, καθώς την παρομοίασαν με μία ουσία με ιδιότητες ρευστού, η οποία είτε μπορεί και υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις και ως εκ τούτου κινείται με ευκολία προς τα κάτω, είτε προσομοιάζει με τον ζεστό αέρα και μπορεί και «κινείται» με ευκολία προς τα επάνω.

Ακολουθώντας, παρουσιάζονται αναλυτικά οι απαντήσεις των μαθητών στο αρχικό ερώτημα, καθώς και οι υποκατηγορίες που αναδεικνύονται αναφορικά με τις ερμηνείες τους σε αυτό. Συγκεκριμένα, στο σύνολο των μαθητών εκφράστηκαν οι παρακάτω απόψεις:

α) η πλειοψηφία των μαθητών (9/12) θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί πολύ πιο εύκολα προς την κάτω πλευρά της ράβδου

Οι συγκεκριμένοι μαθητές θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με μεγάλη ευκολία προς την κάτω μεριά της ράβδου, ενώ η διάδοσή της προς την πάνω μεριά θα πραγματοποιηθεί με δυσκολία, καθώς ανέφεραν ότι οι πηγμένες σταγόνες κεριού που βρίσκονται στο κάτω μέρος της ράβδου θα λιώσουν πιο γρήγορα σε σχέση με τις πάνω.

2B: Επειδή είναι στη μέση (δείχνει το κέντρο της ράβδου και εννοεί ότι επειδή θα ζεστάνουμε εκεί) είναι πιο πιθανόν να πάει προς τα κάτω, παρά προς τα πάνω. Δε λέω ότι υπάρχει περίπτωση να μην πάει προς τα πάνω, αλλά μάλλον θα πάει πιο αργά.

0: Εσύ 2Γ τι λες;

2Γ: Συμφωνώ ότι θα πάει πιο αργά.

0: Πιο αργά πάνω;

2Γ: Ναι και όσο πιο ψηλά είναι, τόσο πιο αργά θα πάει, όσο πιο χαμηλά είναι τόσο πιο γρήγορα θα πάει.

1B: Εγώ λέω κάτι άλλο τώρα που το παρατήρησα θα... από εδώ επειδή είναι γυρτό και πάει προς τα κάτω (δείχνει με το χέρι του την κλίση της ράβδου) θα λιώσουν όλες από εδώ (δείχνει τις σταγόνες που είναι προς τα κάτω). Από εδώ θα λιώσουν όλες (σηκώνεται και δείχνει ξανά τις ίδιες σταγόνες).

Σημείωση: Στα αποσπάσματα των διαλόγων που παρατίθενται, κάθε μαθητής χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό 1 έως 4, ο οποίος αντιπροσωπεύει την ομάδα στην οποία ανήκει και ένα γράμμα Α έως Γ, το οποίο αντιπροσωπεύει τη σειρά του στην ομάδα, με κριτήριο την αλφαβητική σειρά του αρχικού γράμματός του ονόματός του σε σχέση με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας. Π.χ. ο μαθητής 4B ανήκει στην 4^η ομάδα και είναι ο δεύτερος μαθητής κατά αλφαβητική σειρά. Με τον αριθμό 0 χαρακτηρίζεται η εκπαιδευτικός.

0: Θα λιώσουν πιο γρήγορα αυτές (δείχνει τις σταγόνες που βρίσκονται προς τα κάτω);

1B: Στο πάνω εγώ δε λέω ότι θα πάει, γιατί θα μπορέσει να ανέβει έτσι (ρωτά με απορία, σαν να του φαίνεται απίθανο να συμβεί και δείχνει με το χέρι του την κλίση της ράβδου προς τα πάνω); Εγώ λέω περισσότερο ότι θα κατέβει. Μπορεί να λιώσει και το 10 προς τα πάνω, αλλά δε θα πάει εύκολα.

Αναφορικά με την εξήγηση που έδωσαν για αυτή τους την άποψη **οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές (5/9) ανέφεραν ότι η διάδοση της θερμότητας θα γίνει πολύ πιο γρήγορα προς την κάτω μεριά της ράβδου, κάνοντας ρητή αναφορά στη βαρύτητα.** Οι εν λόγω μαθητές φάνηκε να παρομοιάζουν τη θερμότητα με κάποιο υλικό σώμα και εξαιτίας βαρυτικών αλληλεπιδράσεων θεώρησαν ότι θα είναι πιο εύκολο να μεταφερθεί προς την κάτω μεριά της ράβδου, ενώ θα συναντήσει μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνησή του προς την πάνω μεριά της.

0: Προς τα πάνω θα πάει;

3A: Ναι.

3Γ: Θα πάει σίγουρα.

3B: Κι εγώ λέω ότι θα πάει, όμως επειδή είναι πιο πολύ αντίσταση να πάει προς τα πάνω, θα πάει πιο εύκολα κάτω.

.....
3B: Τώρα το κατάλαβα, γιατί είναι ίσες οι αποστάσεις και δεν είναι ας πούμε σαν το νερό που στην ανηφόρα δε μπορεί να πάει και στην κατηφόρα πάει γρήγορα.

3A: Ναι.

3B: Είναι φωτιά, θερμότητα.

3A: ... και δεν έχει σημασία η βαρύτητα.

.....
0: Τι πιστεύετε είναι αυτό που κάνει τη θερμότητα να μεταφερθεί πιο γρήγορα προς τα κάτω;

2B: Η βαρύτητα.

(Η 2Γ γελάει)

0: Οκ η βαρύτητα, είναι η γνώμη της. Συμφωνείς;

2Γ: Ναι, η βαρύτητα. Πώς πάμε στην τσουλήθρα; Όταν είναι έτσι (δείχνει το ένα της χέρι σαν να είναι τσουλήθρα και δείχνει την κλίση προς τα κάτω).. πάμε έτσι (δείχνει με το άλλο της χέρι πώς θα γίνει η πτώση από την τσουλήθρα). Όταν είναι έτσι (μειώνει την κλίση στο χέρι της), πάμε έτσι (δείχνει πιο αργή πτώση).

2A: Συμφωνώ.

Κάποιοι άλλοι από αυτούς τους μαθητές **(3/9), φάνηκε να υπονοούν ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση και μπορεί και υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις, χωρίς ωστόσο να κάνουν σαφή αναφορά στη βαρύτητα.** Για να υποστηρίξουν αυτή τους την άποψη επικαλέστηκαν και παραδείγματα από την καθημερινότητα.

0: Γιατί πιστεύετε ότι συμβαίνει αυτό;

1B: Αυτό είναι το πιο λογικό, ότι θα κατέβει προς τα κάτω (ενώνει τα χέρια του και τα κάνει να πέφτουν προς τα κάτω δείχνοντας την κατεύθυνση της θερμότητας).

1A: Εγώ το λέω γιατί όπως λέει και ο 1B είναι πιο εύκολο να κατεβεί προς τα κάτω, αλλά δεν είμαι απολύτως σίγουρος, αλλά μου φαίνεται λίγο πιο λογικό.

0: Εσύ 1Γ;

1Γ: Ναι κι εγώ το ίδιο. Δε θα ήταν τόσο λογικό να πήγαινε πιο γρήγορα από πάνω, αλλά θα ήταν πιο λογικό να πήγαινε από κάτω.

1B: Είναι όπως είναι και στη λαμπάδα δε θα ανεβεί προς τα πάνω, θα στάξει το κερί και θα μείνει, άρα κατεβαίνει η θερμότητα.

.....

0: Και γιατί πιστεύεις ότι θα πάει προς τα κάτω;

1A: Γιατί θα κατεβεί λογικά και όπως είπε και ο 1B και για τη λαμπάδα πιστεύω ότι όντως ισχύει η απάντησή του.

1B: Και αν άρχιζε π.χ. από το 25 (δείχνει το προς τα πάνω)...

0: Εννοείς αν βάζαμε το φλόγιστρο σε αυτό το 25;

1B: Ναι θα κατέβαινε πιο γρήγορα κάτω.

Τέλος, η απάντηση ενός μόνο από αυτούς τους μαθητές φάνηκε να μη χαρακτηρίζεται από λογική συνέπεια, καθώς εάν και απέδωσε υλική υπόσταση στη θερμότητα, διότι την ταύτισε με τον ζεστό αέρα, εξέφρασε την άποψη ότι ο ζεστός αέρας «κινείται» με ευκολία προς τα κάτω. Συγκεκριμένα, θεώρησε ότι θα λιώσουν πιο εύκολα οι σταγόνες κεριού που βρίσκονται στην κάτω μεριά της ράβδου, διότι η θέρμανση της ράβδου θα πραγματοποιηθεί εξωτερικά, εξαιτίας της θέρμανσης του αέρα, ο οποίος «κινείται» με ευκολία προς τα κάτω.

2A: Μπορεί η θερμότητα να μεταφερθεί από την έξω πλευρά και έτσι να λιώσουν τα κεριά.

0: Και αν λιώσουν από τον αέρα θα λιώσουν το ίδιο γρήγορα τα πάνω και τα κάτω;

2A: Τότε όχι θα λιώσουν πιο γρήγορα τα κάτω.

0: Γιατί;

2A: Επειδή ο αέρας θα πάει προς τα κάτω πιστεύω.

0: Ο αέρας είπες ότι θα πάει κάτω, οπότε θα λιώσουν αυτές πρώτα (δείχνει τις κάτω), αλλά το μέταλλο θα ζεσταθεί;

2A: Πιστεύω πως λίγο, όχι πολύ. Άμα το ακουμπούσαμε νομίζω μπορεί να είχε θερμανθεί λίγο πιο πολύ (από ότι τώρα).

β) ένας μικρός αριθμός μαθητών (3/12) θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί **πολύ πιο εύκολα προς την πάνω μεριά της ράβδου**

Οι συγκεκριμένοι μαθητές ανέφεραν ότι οι πηγμένες σταγόνες κεριού που βρίσκονται στην πάνω μεριά της ράβδου θα λιώσουν σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ για να λιώσουν οι σταγόνες στο κάτω μέρος θα χρειαστεί σημαντικά μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (ώρες, ημέρες).

0: Εσύ 4B τι λες; Συμφωνείς με τα παιδιά;

4B: *Ναι, γιατί είναι τοποθετημένος έτσι (δείχνει την κλίση με τα χέρια της) λοξά, οπότε είναι πάνω και πιστεύω θα πάει προς τα εκεί.*

0: *Τι είναι αυτό που θα πάει προς τα εκεί;*

4B: *Πιστεύω γιατί είναι έτσι τοποθετημένος θα είναι πιο εύκολο να πάει από αυτή τη μεριά (δείχνει το πάνω μέρος της ράβδου).*

0: *Να ζεσταθεί προς τα εκεί εννοείς;*

4B: *Ναι η ζέστη.*

Αναφορικά με την εξήγηση αυτής της άποψής τους διευκρίνισαν ότι **οι πηγμένες σταγόνες κεριού θα λιώσουν όχι εξαιτίας της θέρμανσης της μεταλλικής ράβδου, αλλά εξαιτίας της θέρμανσης του αέρα που την περιβάλλει.** Και σε αυτή την περίπτωση οι μαθητές φάνηκε να αποδίδουν υλική υπόσταση στη θερμότητα, με τη διαφοροποίηση **ότι τώρα την ταυτίζουν με τον ζεστό αέρα.** Έτσι, προκειμένου να υποστηρίξουν την άποψή τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί κατά την πραγματοποίηση του πειράματος, στηρίχθηκαν στη φαινομενολογική τους παρατήρηση ότι ο ζεστός αέρας μεταφέρεται προς τα πάνω. Χαρακτηριστικά, ανέφεραν ότι ο ζεστός αέρας «κινείται» προς τα πάνω και για αυτό τον λόγο και σε συνδυασμό με τη θέση που είναι τοποθετημένη η ράβδος, θα λιώσουν εύκολα οι σταγόνες που βρίσκονται στο πάνω μέρος της, ενώ με μεγάλη δυσκολία οι σταγόνες που βρίσκονται στο κάτω μέρος της. Εξαιτίας αυτής της άποψης οι εν λόγω μαθητές φαίνεται να θεωρούν ότι η διάδοση της θερμότητας δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί εντός της ράβδου.

0: *Ναι, γιατί όμως πιστεύεις ότι θα πάει προς τα πάνω που είπες πριν;*

4A: *Γιατί είναι λόγω της θέσης.*

0: *Τι εννοείς; Πριν είπες ότι θα λιώσει και αυτό (δείχνει το κεριό στα 10 εκ. προς τα κάτω).*

4A: *Όχι δεν είπα αυτό, θα λιώσει από πάνω πιο πολύ.*

4Γ: *Ναι.*

0: *Και εσύ συμφωνείς 4Γ;*

4Γ: *Ναι συμφωνώ, επειδή θεωρώ ότι ο ζεστός αέρας θα πάει προς τα πάνω, άρα θα διαλέξει αυτή τη μεριά (δείχνει το πάνω μέρος της ράβδου), γιατί αυτή εδώ πέρα (δείχνει την κάτω μεριά της ράβδου) έχει κλίση και πάει προς τα κάτω. Και γενικά είναι πιο δύσκολο να πάει προς τα κάτω.*

0: *Και προς τα κάτω τι θα γίνει;*

4Γ: *Θα αρχίσει να λιώνει, αλλά σε περισσότερο χρόνο, δηλαδή τύπου μέσα σε 3 μέρες περίπου θα έχει λιώσει.*

0: *Θα θέλει 3 μέρες να πάει προς τα κάτω πιστεύεις;*

4Γ: *Όχι να πάει προς τα κάτω, να λιώσει περίπου μέχρι εδώ (δείχνει το κεριό στα 15 εκ. προς τα κάτω).*

0: *Για το 20;*

4A: *5 μέρες.*

4Γ: *Ναι.*

0: *Για το 25;*

4A: *7-8.*

0: *Εσύ 4B συμφωνείς ότι θέλει τόσο χρόνο να πάει προς τα κάτω;*

4B: *Μπορεί και λίγο λιγότερο.*

4Γ: Θα αρχίσει να ζεσταίνεται προς τα πάνω, επειδή ο ζεστός αέρας πηγαίνει προς τα πάνω. Μετά από δύο με τρεις μέρες θα λιώσει το 15 αριστερό.

(απάντηση μαθητή στο πεδίο Πρόβλεψη του Φύλλου Εργασίας)

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι απαντήσεις των μαθητών και οι υποκατηγορίες που αναδείχθηκαν, αναφορικά με τις ερμηνείες τους στο αρχικό ερώτημα του 1^{ου} Βήματος.

Πίνακας 4.1. Τι θεωρούν οι μαθητές ότι θα συμβεί, εάν θερμάνουμε τη μεταλλική ράβδο; Πού αποδίδουν τις απόψεις τους;

«Τι θα συμβεί εάν θερμάνουμε τη μεταλλική ράβδο ακριβώς στο κέντρο της και γιατί;»	N	%
Ευκολότερη διάδοση της θερμότητας προς τα κάτω – ρητή αναφορά στη βαρύτητα	5	42
Ευκολότερη διάδοση της θερμότητας προς τα κάτω - μη ρητή αναφορά στη βαρύτητα	3	25
Ευκολότερη διάδοση της θερμότητας προς τα πάνω - ταύτιση θερμότητας με τον ζεστό αέρα	3	25
Ευκολότερη διάδοση προς τα κάτω - χωρίς λογική συνέπεια	1	8
ΣΥΝΟΛΟ	12	100

2^ο Βήμα: Παρατήρηση του τρόπου διάδοσης της θερμότητας στη μεταλλική ράβδο

Στη συνέχεια οι μαθητές κλήθηκαν να παρατηρήσουν τη βιντεοσκοπημένη εκδοχή του 1^{ου} Πειράματος και να καταγράψουν δεδομένα, αναφορικά με τα χρονικά διαστήματα στα οποία λιώνουν οι πηγμένες σταγόνες κεριού στη μεταλλική ράβδο. Κατά την παρατήρηση, κάθε φορά που έλιωνε ένα ζευγάρι σταγόνων γινόταν παύση του βίντεο και οι μαθητές καλούνταν να εκτιμήσουν τι θα συμβεί αναφορικά με τη διάδοση της θερμότητας στη συνέχεια του πειράματος, καθώς αυξάνει η υψομετρική διαφορά των πηγμένων σταγόνων κεριού.

Αρχικά, κατά την παρατήρηση της θέρμανσης της ράβδου, γύρω από τη θέση των 10 εκ. από το κέντρο της οι μαθητές **έτειναν να συνεχίζουν να υποστηρίζουν τις αρχικές τους απόψεις**. Παρόλο που η θερμότητα φάνηκε να διαδόθηκε σχεδόν ταυτόχρονα έως τα 10 εκ., στη συνέχεια λόγω αύξησης της υψομετρικής διαφοράς των επόμενων σταγόνων, ανέμεναν να διαδοθεί πιο γρήγορα είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω, σύμφωνα με τις απόψεις που είχαν εκφράσει αρχικά.

Ο: Τι πιστεύετε ότι θα γίνει στις επόμενες σταγόνες;

3Α: Θα λιώσει πάλι για πολύ λίγο αυτή (δείχνει την κάτω) ή όχι... επειδή έλιωσε πιο γρήγορα αυτή (δείχνει το 10 κάτω) και μετά αυτή, η μεγάλη (δείχνει το 10 πάνω), επειδή είχαν μικρή απόσταση και ήταν κοντά..

Ο: Ναι η απόσταση ήταν 3,3 (εκ.).

3Α: Ναι έλιωσε πιο γρήγορα αυτή, η κάτω.. όμως τώρα επειδή θα έχουμε μεγαλύτερη ακόμα απόσταση, θα πέσει ακόμα πιο αργά... εε... θα πέσει ακόμα

πιο γρήγορα αυτή (δείχνει την κάτω) και λίγο περισσότερο αργά η άλλη (δείχνει την πάνω), μπορεί για ένα δευτερόλεπτο.

2B: Άμα έχει φτάσει η θερμότητα μέχρι το 10, μετά θα πάει αναγκαστικά στο επόμενο.

2Γ: Ναι μετά θα πάνε αυτά τα δύο και πάει λέγοντας. (δείχνει τις σταγόνες κεριού στα 15 εκ.)

0: Δηλαδή ποια περιμένετε να λιώσει επόμενη;

2Γ: Το 15 αριστερά (κάτω).

0: Και μετά;

2A: Το 15 πάνω.

0: Και θα έχουν την ίδια διαφορά στα κλάσματα (δευτερολέπτου) πιστεύετε;

2Γ: Πάλι θα έχουν διαφορά.

0: Ίδια; Περισσότερη ή λιγότερη;

2A: Πιστεύω περισσότερη.

0: Γιατί;

2A: Επειδή το κάτω (εννοεί το κεριό στα 15 εκ.) είναι και πιο χαμηλά από το άλλο (εννοεί το κεριό στα 10 εκ.) και το πάνω είναι και πιο ψηλά.

0: Επειδή μεγαλώνει η διαφορά στο ύψος δηλαδή;

2A: Ναι.

Ωστόσο, στη συνέχεια, καθώς οι μαθητές παρατηρούσαν ότι η θερμότητα διαδίδεται με μικρές αποκλίσεις σχεδόν ταυτόχρονα και προς τις δύο μεριές της ράβδου, ήρθαν σε σύγκρουση με τις απόψεις που είχαν εκφράσει αρχικά και έτειναν να προβαίνουν σε εκτιμήσεις για τις επόμενες σταγόνες, με βάση αυτή την παρατήρηση.

0: Μετά τι θα γίνει; Τι περιμένετε να γίνει; Στις τελευταίες σταγόνες το ύψος μεγαλώνει κι άλλο, πάμε στα 8,4 (εκ.). Τι περιμένετε να γίνει τώρα;

4A: Τώρα θα αρχίσει το αριστερό να κουνιέται.

0: Ποιο; Το προς το πάνω;

4A: Το προς τα κάτω (το δείχνει στη ράβδο στο βίντεο).

0: Άλλαξες γνώμη τώρα;

4A: Ναι.

0: Γιατί;

4A: Γιατί φαινόταν περισσότερο και νομίζω είδα το αριστερό να κουνιέται λίγο περισσότερο πριν.

0: Εσύ 4B;

4B: Το αριστερό, γιατί όλες τις φορές άρχισε να κουνιέται λίγο πιο νωρίς από το δεξί, αλλά έπεφταν μαζί.

0: Άρα τι παρατηρήσατε για τις σταγόνες στη θέση 10 (εκ.);

1A: Ότι έλιωσαν την ίδια στιγμή.

1Γ: Ναι.

0: Τι πιστεύετε ότι θα γίνει στη συνέχεια;

1A: Μπορεί να συνεχίσει να το κάνει έτσι.

0: 1Γ;

1Γ: Κι εγώ αυτό νομίζω και θα λιώσουν πάλι και τα δύο 15 (δείχνει τις σταγόνες με το χέρι της στην οθόνη του υπολογιστή) και θα λιώσουν πάλι μαζί.

Ο: Εσύ 1Β;

1Β: Κι εγώ αυτό το λέω, αλλά δε νομίζω ότι θα φτάσει στο 25 πέρα πέρα (δείχνει την αντίστοιχη θέση προς το πάνω μέρος της ράβδου).

Ο: Εσύ πιστεύεις ότι θα πάει πιο εύκολα κάτω ναι και για αυτά τα δύο 15 τι θα γίνει;

1Β: Θα πέσουν και τα δύο μαζί.

Ο: Γιατί;

1Β: Γιατί έτσι όπως έπεσαν κι αυτά (δείχνει στη ράβδο τις σταγόνες στη θέση 10 εκ.), θα πέσουν και τα άλλα, γιατί είναι στην ίδια απόσταση.

Ο: Στη συνέχεια τι περιμένετε να γίνει;

4Α: Τώρα θα πέσει πρώτα αυτό εδώ (δείχνει στη ράβδο το κερί στα 15 εκ. προς τα πάνω), αντί για αυτό (δείχνει το κερί στα 15 εκ. προς τα κάτω).

Ο: Εσύ 4Β;

4Β: Το 15 αριστερά (προς τα κάτω).

Ο: Το προς τα κάτω;

4Β: Ναι.

Ο: Άλλαξες γνώμη τώρα;

4Β: Ναι γιατί και την πρώτη φορά έπεσε πιο νωρίς το αριστερό.

Ο: Εσύ 4Γ;

4Γ: Το ίδιο με την 4Β, το αριστερό πρώτα.

Στο τέλος του 1^{ου} Πειράματος, οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας στη ράβδο.

Οι μισοί μαθητές (6/12) ανέφεραν ότι με βάση την παρατήρησή τους από το πείραμα η θερμότητα **διαδίδεται ταυτόχρονα** και στις δύο πλευρές της μεταλλικής ράβδου.

3Α: Κυρία εγώ τόσο ώρα νόμιζα ποιο θα έπεφτε από αυτό πρώτο (δείχνει τη μεταλλική ράβδο).

Ο: Αφού το εξηγήσαμε αυτό, ποιο λιώνει πρώτο κοιτάμε. Τι παρατηρήσεις τώρα που το ξεκαθάρισες;

3Α: Τώρα νομίζω ότι έφτασε την ίδια στιγμή (η θερμότητα).

Ο: Τι παρατηρήσατε;

2Γ: Όντως είχε πέσει πιο γρήγορα το κάτω, αλλά ξεκολλήσανε μαζί.

2Α: Ναι.

Ο: Το πότε ξεκολλάνε είπαμε κοιτάμε, αυτό δείχνει πότε έφτασε εκεί η θερμότητα. Τελικά τι πιστεύετε;

2Β & 2Γ: Την ίδια στιγμή.

Ένας μικρός αριθμός μαθητών (3/12) ανέφερε ότι η θερμότητα διαδίδεται **ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα** στις δύο πλευρές της ράβδου, καθώς παρατήρησε ότι λιώνουν κλάσματα του δευτερολέπτου πιο γρήγορα οι πάνω ή οι κάτω σταγόνες.

0: Τι παρατηρήσατε στο πείραμα;

4Γ: (κοιτά τι έχει σημειώσει στο φύλλο εργασίας) Ήταν όλα ίσα εκτός από το πρώτο (εννοεί το πρώτο ζευγάρι σταγόνων).

1B: Σε όλα, σε όλα έφτασε πιο γρήγορα ψηλά, όχι κάτω. Πάει μισό με ένα δευτερόλεπτο πιο γρήγορα προς τα πάνω.

1A: Εγώ πιστεύω τώρα που άκουσα και τη γνώμη του 1B ότι έπεσαν ταυτόχρονα και κάτι θυμάμαι... μάλλον είναι για λίγα κλάσματα δευτερολέπτου η διαφορά.

Τέλος, ένας μικρός αριθμός μαθητών (**3/12**) ανέφερε ότι **για ελάχιστα δευτερόλεπτα η θερμότητα διαδίδεται πιο γρήγορα προς τα πάνω**. Οι συγκεκριμένοι μαθητές διευκρίνισαν, μάλιστα, ότι αυτή η χρονική απόκλιση είναι μία σημαντική διαφορά για αυτούς.

0: Με πόση διαφορά;

1A: Δύο δευτερόλεπτα.

1B: Ναι σε δυο δευτερόλεπτα έπεσε και το άλλο.

0: Είναι σημαντική αυτή η διαφορά; Τι λέτε;

1B: Εγώ θα έλεγα ότι έφτασε πιο γρήγορα πάνω, γιατί κανονικά άμα ήταν ίσα (δείχνει με το χέρι του μία ευθεία γραμμή – εννοεί να ήταν η ράβδος χωρίς κλίση) θα είχε πέσει πιο γρήγορα, απλά είχε και το ύψος για να κατέβει... θα έλεγα περίπου στα 4 δευτερόλεπτα άμα ήταν στο ίδιο ύψος.

0: Θεωρείτε σημαντική αυτή τη διαφορά; Δύο δευτερόλεπτα είπατε.

1A: Ναι δύο δευτερόλεπτα.

0: Δηλαδή θα λέγατε σε κάποιον ότι έλιωσε ξεκάθαρα πρώτα η πάνω ή όχι;

1A: Εγώ θα έλεγα ότι η διαφορά ήταν μικρή.

1Γ: Ναι και εγώ.

1A: Αλλά η διαφορά είναι διαφορά.

0: Αυτό για εσένα θεωρείς ότι είναι σημαντικό; Θεωρείς ότι η θερμότητα πάει πιο εύκολα προς τα πάνω με βάση αυτή την παρατήρηση;

1B: Ότι πάει μισό με ένα δευτερόλεπτο πιο γρήγορα προς τα πάνω.

0: Εσείς παιδιά τι λέτε; Πώς σας φαίνεται αυτό που λέει ο 1B; Είναι για εσάς σημαντική αυτή η διαφορά;

1A: Είναι διαφορά και μπορούμε να το πούμε, πάει πιο γρήγορα προς τα πάνω.

Το γεγονός ότι οι μαθητές κατά την πραγματοποίηση του πειράματος παρατηρούσαν μικρές αποκλίσεις στο λιώσιμο των διαδοχικών ζευγαριών σταγόνων πηγμένου κεριού εκατέρωθεν του κέντρου της ράβδου, φάνηκε να αποτελεί για αυτούς σημαντικό παράγοντα για τη διατύπωση ενός συμπεράσματος αναφορικά με την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας στη μεταλλική ράβδο.

Στο τέλος του συγκεκριμένου βήματος της ακολουθίας οι μαθητές **κλήθηκαν να ερμηνεύσουν τις παρατηρήσεις** που προέκυψαν από την παρακολούθηση του 1^{ου} Πειράματος.

Η πλειοψηφία των μαθητών (**9/12**) ανέφερε ότι η θερμότητα διαδίδεται ταυτόχρονα προς τις δύο κατευθύνσεις της ράβδου, διότι **δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση. Κάποιοι**

από αυτούς τους μαθητές (3/9) διευκρίνισαν επιπλέον ότι η θερμότητα μπορεί να απορροφηθεί από το υλικό το οποίο είναι κατασκευασμένη η ράβδος.

Ο: Πριν έλεγες ότι θα λιώσουν τα κάτω πιο εύκολα. Πώς το εξηγείς τώρα ότι έλιωσαν σχεδόν μαζί τα πάνω και τα κάτω;

3Β: Γιατί βάλαμε τη φωτιά σε ένα υλικό που την απορροφάει, γιατί άλλα υλικά δεν την απορροφάνε.

Ο: Ωραία, άρα σε αυτά που την απορροφούν τι συμβαίνει με τη θερμότητα;

3Β: Σε αυτά που την απορροφούν... άμα δεν την απορροφούν φαίνεται ακόμα η φωτιά, δε μπαίνει ποτέ μέσα τους.

Ο: Ναι, αλλά αν την απορροφούν τι γίνεται;

3Β: Αν την απορροφούν, κατευθείαν πάει σε αυτό (κάνει με τα χέρια του τη ράβδο και δείχνει τη μία άκρη) και σε αυτό (δείχνει και την άλλη άκρη) στην ίδια στιγμή.

.....
Δηλαδή άμα βάζαμε τώρα εδώ νερό (δείχνει το μηδέν της ράβδου), θα πήγαινε όλο προς τα κάτω.

Ο: Ναι και με τη θερμότητα τι γίνεται;

3Β: Απορροφάται και πάει παντού το ίδιο.

Οι υπόλοιποι μαθητές **(3/12) στηρίχθηκαν αποκλειστικά στη φαινομενολογία του 1^{ου} Πειράματος, χωρίς να υιοθετούν κάποιο ερμηνευτικό πλαίσιο** για να αιτιολογήσουν την παρατήρησή τους ότι η θερμότητα διαδίδεται με μικρές αποκλίσεις προς τις δύο πλευρές της ράβδου.

1Β: Εγώ λέω ότι πάει λίγο πιο γρήγορα πάνω, γιατί σε όλα, σε όλα (εννοεί τα ζεύγη σταγόνων) έφτασε πιο γρήγορα ψηλά, όχι κάτω.

1Α: Μάλλον είναι για λίγα κλάσματα δευτερολέπτου η διαφορά, πάει πιο γρήγορα πάνω, γιατί θυμάμαι έπεσαν λίγο πιο γρήγορα τα πάνω.

Ένα στοιχείο που είναι άξιο αναφοράς και αναδεικνύεται σε αυτό το σημείο του ΔΠ είναι το γεγονός ότι **η πτώση των σταγόνων πηγμένου κεριού στο θρανίο φάνηκε να δημιουργεί σημαντικές δυσκολίες στην πλειοψηφία των μαθητών (10/12) κατά την παρατήρηση.** Προκειμένου να αποφασίσουν, εάν η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό και προς τις δύο κατευθύνσεις, εστίαζαν στο αν οι σταγόνες κεριού πέφτουν ταυτόχρονα στο θρανίο και όχι εάν λιώνουν ταυτόχρονα πάνω στη μεταλλική επιφάνεια της ράβδου. Σε αυτές τις περιπτώσεις κρίθηκε απαραίτητο να γίνει σχετική παρέμβαση, ώστε οι μαθητές να βοηθηθούν ως προς τον παράγοντα στον οποίο έπρεπε να εστιάσουν κατά την παρατήρηση.

Ο: Για να κάνουμε μία σωστή παρατήρηση για αυτό που θέλουμε, τι πρέπει να παρατηρήσουμε; Αυτό πιστεύετε; Δηλαδή την ώρα που φτάνει, που χτυπά στο θρανίο ή κάτι άλλο;

1Β: Εγώ λέω όταν αρχίζει να πέφτει (κάνει με το χέρι του την κίνηση να ξεκολλάει η σταγόνα) που άρχισαν μαζί να ... (κάνει την κίνηση με το δάχτυλό του να κουνιούνται οι σταγόνες)

1Γ: Ναι... να λιώνει... (κάνει και αυτή την ίδια κίνηση με το χέρι της)

1A: Ναι.

0: Γιατί στο έδαφος λογικό είναι να μη φτάνουν μαζί, γιατί αυτό είναι πιο κοντά (δείχνει την κάτω σταγόνα), ενώ αυτό είναι πιο ψηλά (δείχνει την πάνω).

1B: Πιο ψηλά και θα πέσει πιο αργά.

0: Άρα τώρα που θα συνεχίσουμε θέλω να παρατηρήσετε πότε θα κουνηθούν οι σταγόνες, οπότε σημειώνουμε και στο φύλλο εργασίας για αυτές τις σταγόνες.

0: Ωραία, όταν έχουμε τη ράβδο έτσι (τοποθετεί τη ράβδο με μικρή κλίση όπως στο πείραμα), το 10 είναι εδώ (το κάτω) και για να πέσει από εδώ πόση απόσταση κάνει; Κάνει την ίδια με το αν πέσει από εδώ (δείχνει το 10 πάνω);

4B: Όχι, όχι.

0: Όχι, δηλαδή είναι για παράδειγμα σαν να έχω δύο μολύβια και να θέλω να τα ρίξω στο πάτωμα και να τα κρατάω έτσι (κρατά το κάθε μολύβι σε διαφορετικό χέρι, το ένα πιο κοντά στο έδαφος, το άλλο πιο μακριά) και τα αφήνω. Ποιο έπεσε πρώτο στο πάτωμα;

4A: Αυτό που είναι πιο κάτω.

4B: Το μαύρο (δηλαδή αυτό που ήταν πιο κοντά στο έδαφος).

4B: Ναι.

0: Οπότε για τις σταγόνες τώρα τι λέτε; Τι είναι αυτό που πρέπει να παρατηρήσουμε;

4B: Τότε την ώρα που θα αρχίσει να λιώνει.

Μόνο ένας μικρός αριθμός μαθητών (2/12) διαπίστωσε ότι ο παράγοντας στον οποίο θα πρέπει να εστιάσει κατά την παρατήρηση είναι η χρονική στιγμή που λιώνουν οι σταγόνες πάνω στη ράβδο και όχι η στιγμή που ακουμπούν την επιφάνεια του θρανίου, χωρίς να χρειαστεί σχετική παρέμβαση.

3A: Κυρία να ρωτήσω κάτι; Έχω μία ερώτηση.

0: Ναι.

3A: Εννοείτε ποια θα πέσει πρώτα στο τραπέζι ή ποια θα λιώσει πρώτα και θα πέσει από το μέταλλο;

0: Ωραία ερώτηση 3A.

3A: Γιατί αλλιώς αν πέσουν την ίδια στιγμή και υπάρχει κλίση, λόγω... (δείχνει με τα χέρια του σαν να κρατά τη ράβδο με κλίση) αυτό που είναι πιο κοντά (δείχνει προς τα κάτω) θα πέσει αυτό πρώτο.

0: Είναι πιο κοντά στο θρανίο, άρα είναι πιο λογικό να πέσει... να ακουμπήσει πρώτα στο θρανίο αυτή (δείχνει τη σταγόνα στα 10 εκ. προς τα κάτω) και μετά η άλλη. Είναι για παράδειγμα σαν να έχω δύο μολύβια και το ένα να το αφήνω από εδώ (κρατά και δείχνει ένα μολύβι σε χαμηλότερη θέση) και το άλλο από πιο ψηλά (κρατά και δείχνει ένα μολύβι σε ψηλότερη θέση). Ποιο θα πέσει πρώτο;

3A: Αυτό. (δείχνει το μολύβι που είναι χαμηλότερα)

0: Αυτό, άρα τι πρέπει να παρατηρήσουμε στο βίντεο;

3B: Ποια έλιωσε πρώτη.

3B: Κυρία νομίζω άλλαξα τελείως. Νομίζω ότι όλες έχουν πέσει την ίδια στιγμή.

3A: Ξεκολλήσανε εννοείς;

0: Γιατί το λες αυτό;

3B: Γιατί όπως είδα το βίντεο τώρα, μου φάνηκε ότι όλες κουνήθηκαν την ίδια στιγμή, απλώς η μία πήγε πιο γρήγορα κάτω, γιατί είναι και πιο κοντά στο θρανίο.

0: Ωραία αυτή είναι η παρατήρησή σου. Τι σε έκανε να το σκεφτείς καλύτερα;

3B: Γιατί τώρα που είδα... πριν όταν το έβλεπα νόμιζα ότι αυτή (δείχνει μία σταγόνα προς την κάτω μεριά της ράβδου) θα κουνηθεί πολύ πιο γρήγορα, ενώ τώρα που το είδα ... μπορεί να έπεσε πρώτα αυτή (δείχνει την ίδια σταγόνα ξανά), όμως... (κάνει παύση)

0: Σημασία δηλαδή για εσένα έχει πότε κουνήθηκαν;

3B: Ναι.. ούτε η απόσταση που κουνήθηκαν, αλλά ότι κουνήθηκαν την ίδια στιγμή, απλώς αυτή κουνήθηκε πιο πολύ (εννοεί την κάτω).

3A: Να σε ρωτήσω κάτι; Εσύ πιστεύεις ότι όλες κουνήθηκαν την ίδια στιγμή.

3B: Ναι, απλώς αυτές που είναι πιο κοντά στη βάση έκαναν μεγαλύτερη κίνηση.

3A: Ναι, αλλά άμα κουνιόντουσαν την ίδια στιγμή δε θα μπορούσαν να πέφτανε και την ίδια στιγμή ε; Δηλαδή κατάλαβες τι λέω;

3B: Αφού είναι μεγαλύτερη απόσταση εδώ (δείχνει την πάνω σταγόνα) από το θρανίο.

3A: Όμως αφού κουνήθηκαν την ίδια στιγμή, δε θα έπρεπε αφού αυτά πέσανε πιο γρήγορα τα κοντινά (οι κάτω σταγόνες), δε θα κουνήθηκαν και πιο γρήγορα; Για να πέσανε και πιο γρήγορα; Και αυτά (οι πάνω σταγόνες) θα κουνήθηκαν πιο μετά, για να..

3B: Μπορεί να κουνήθηκαν πιο γρήγορα, δεν έχει σημασία η κίνηση... ότι κουνήθηκαν την ίδια στιγμή μετρά. Αυτό (δείχνει το κάτω) έκανε μεγαλύτερη κίνηση από αυτό (δείχνει το πάνω), ότι κουνήθηκαν μαζί είναι.

3A: Οκ.

0: Απλά σου λέει ο 3B ότι αυτά πέσανε αμέσως γιατί είναι πιο κοντά στο θρανίο, αυτό εννοεί.

3B: Ναι αυτά τα δύο (σηκώνεται και βάζει τα χέρια του στις σταγόνες που είναι κολλημένες στη ράβδο στις θέσεις των 15 εκ. – η ράβδος είναι τοποθετημένη με κλίση 10 μοιρών πάνω στο χαρτόνι με τις αποστάσεις) κουνήθηκαν την ίδια στιγμή, απλώς αυτό από εδώ (δείχνει τη σταγόνα στα 10 εκ. προς την κάτω μεριά της ράβδου) πήγε εκεί και αυτό από εδώ πήγε εκεί ας πούμε (δείχνει όμοια και για την αντίστοιχη σταγόνα στην πάνω μεριά της ράβδου). Δεν έκαναν την ίδια διαδρομή.

3^ο Βήμα: Τι αναμένουν οι μαθητές να συμβεί, εάν αυξηθεί η υψομετρική διαφορά των σταγόνων κεριού, χρησιμοποιώντας μία διαφορετική πειραματική διάταξη; Πού αποδίδουν τις απόψεις τους;

Στο 3^ο Βήμα παρουσιάστηκε στους μαθητές η πειραματική διάταξη του 2^{ου} Πειράματος (Εικόνα 4.2). Αφού οι μαθητές παρατήρησαν ότι η υψομετρική διαφορά των δύο πινεζών είναι σχεδόν διπλάσια από αυτή του τελευταίου ζεύγους σταγόνων στη ράβδο του προηγούμενου πειράματος, τότε κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας στη μεταλλική βελόνα της διάταξης, εάν θερμάνουμε τη βελόνα ακριβώς στο κέντρο της.



Εικόνα 4.2. Πειραματική διάταξη 2^{ου} Πειράματος

Στο σύνολο των μαθητών παρατηρήθηκε να επικράτησαν οι ακόλουθες τάσεις:

α) **Σημαντικός αριθμός μαθητών (5/12)** θεώρησε ότι σε αυτή την πειραματική διάταξη η θερμότητα θα διαδοθεί πολύ πιο γρήγορα είτε προς το κάτω, είτε προς το πάνω τμήμα της βελόνας, λόγω του διαφορετικού σχήματος της εν λόγω διάταξης και της παρουσίας κατακόρυφων τμημάτων σε αυτή. Οι μαθητές αυτοί **φάνηκε ότι μέσα από την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος δεν ήταν δυνατό να οδηγηθούν σε εννοιολογική μετατόπιση από την προηγούμενή τους άποψη**, εξαιτίας της μικρής υψομετρικής διαφοράς των σταγόνων κεριού στη ράβδο. Έτσι, παρέμειναν στην αρχική τους άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται πιο εύκολα προς τα κάτω ή προς τα πάνω.

2B: Η κάτω επειδή πάει προς τα κάτω και θα λιώσει πιο εύκολα το κερί.

0: 2Γ συμφωνείς;

2Γ: Ναι.

0: Γιατί πιστεύεις θα πάει πιο εύκολα κάτω;

2Γ: Γιατί πέφτει ακριβώς (κάνει μία κίνηση με το χέρι της που δείχνει ακριβώς κάθετη πτώση), οπότε θα πάει γρήγορα.

0: Οκ, επειδή είναι κατακόρυφο ε;

2Γ: Ναι.

2B: Ναι.

2A: Συμφωνώ με τη 2Γ, όμως...

0: Πάνω θα πάει;

2B: Ναι..

2A: Ναι, απλώς όχι τόσο γρήγορα.

0: Θα έχουν μεγάλη διαφορά πιστεύετε ή όχι;

2B: Ναι.

2Γ: Αρκετή.

0: Πόσο περίπου;

2B: 5 δευτερόλεπτα;

2Γ: 1 λεπτό.

2B: Μπορεί 10 δευτερόλεπτα.

0: Εσύ 2A γιατί πιστεύεις ότι θα πάει πιο γρήγορα κάτω;

2A: Πιστεύω ότι η θερμότητα μπορεί να δυσκολευτεί πιο πολύ να πάει προς τα πάνω, αντί να πάει κάθετα προς τα κάτω.

0: Εσύ 4B συμφωνείς με αυτό που λέει ο 4A;

4B: Νομίζω πρώτα θα φτάσει εδώ (δείχνει το κάθετο τμήμα της διάταξης που είναι προς τα πάνω) πάνω, γιατί θα είναι πιο εύκολο η φωτιά να πάει προς τα πάνω, έτσι πιστεύω εγώ.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ένας από αυτούς τους μαθητές, παρόλο που στο πρώτο βήμα είχε εκφράσει την άποψη ότι η θερμότητα μεταφέρεται πιο εύκολα προς τα πάνω, διότι φάνηκε να την ταυτίζει με τον ζεστό αέρα, παρατηρώντας τη διάταξη του 2^{ου} πειράματος φάνηκε να μην υιοθετεί το ίδιο ερμηνευτικό πλαίσιο. Ο συγκεκριμένος μαθητής φάνηκε και πάλι να αποδίδει υλική υπόσταση στη θερμότητα, ωστόσο σε αυτή τη διάταξη θεώρησε ότι η θερμότητα θα μεταφερθεί με ευκολία προς το κάτω κατακόρυφο τμήμα, λόγω βαρύτητας, χωρίς να κάνει σαφή αναφορά σε αυτή.

4A: Κάτω, επειδή αν πάει η φλόγα έτσι και σταματήσει εδώ (δείχνει πώς θα κινηθεί η θερμότητα σε ευθεία από το φλόγιστρο και προς τα αριστερά μέχρι το ξύλο), μετά αν πάει εδώ (δείχνει το ίδιο αλλά από την άλλη πλευρά) θα είναι πιο εύκολο να πάει κάτω αντί για πάνω.

0: Εδώ γιατί θα σταματήσει (δείχνει το σημείο που είπε ότι θα σταματήσει εκεί που ξεκινά το ξύλο);

4A: Γιατί έχει τα ξύλα.

0: Η βελόνα περνάει όμως, πιστεύεις ότι το ξύλο θα σταματήσει τη ζέστη;

4A: Όχι, εννοώ θα σταματήσει εδώ (δείχνει το σημείο καμπής της βελόνας) και μετά θα πάει εδώ (δείχνει την άκρη του κάθετου τμήματος). Το ξύλο δε θα σταματήσει τη ζέστη, θα συνεχίσει και θα πέσει και θα γίνει πρώτα αυτό εδώ (δείχνει την πινέζα στο κάθετο τμήμα που είναι προς τα κάτω).

0: Γιατί;

4A: Γιατί είναι εντελώς κάθετο αυτό εδώ (δείχνει το κάτω κατακόρυφο τμήμα) και θα πέσει.

β) **Σημαντικός αριθμός μαθητών (4/12)** εξέφρασε την άποψη ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με τον **ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις**, διότι ο ρυθμός διάδοσής της εξαρτάται μόνο από το εάν οι αποστάσεις στις οποίες διαδίδεται είναι ίδιες. Η πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος φάνηκε να είναι κομβικής σημασίας για τους συγκεκριμένους μαθητές, διότι τους βοήθησε να αντιμετωπίσουν την εναλλακτική τους αντίληψη περί υλικής υπόστασης της θερμότητας και να αντιληφθούν ότι η διάδοσή της είναι ανεξάρτητη από τη μεταβλητή του ύψους. Έτσι, υποστήριξαν την άποψη ότι εφόσον θα θερμάνουμε τη μεταλλική βελόνα ακριβώς στο κέντρο της, τότε η θερμότητα θα μεταφερθεί το ίδιο γρήγορα προς όλες τις κατευθύνσεις, καθώς φαίνεται να μην παίζει ρόλο η υψομετρική διαφορά των σταγόνων.

4Γ: Εγώ πιστεύω ότι θα πέσουν στο ίδιο... στην ίδια στιγμή.

0: Τι σε κάνει να το πιστεύεις αυτό;

4Γ: Όπως έγινε και στο προηγούμενο πείραμα.

3A: Τώρα όμως είναι εντελώς κάθετα αυτά.

0: Ναι τώρα είναι εντελώς κάθετα. Τι θα γίνει εδώ;

3Α: Εγώ πιστεύω ότι θα πάνε πάλι το ίδιο.

3Β: Ναι, γιατί το ένα.. γιατί αυτό (δείχνει το κάτω κάθετο τμήμα) έχει απόσταση 8 εκ. από αυτό (δείχνει το οριζόντιο τμήμα της βελόνας), ενώ αυτό (δείχνει το πάνω κάθετο τμήμα) έχει απόσταση 8 εκ. Είναι ίδια απόσταση.

3Γ: Άρα θα πάνε ίδια.

3Β: Και αφού είδαμε και πριν δεν πάει πιο γρήγορα σε αυτά που πάνε προς τα κάτω.

3Α: Ούτε προς τα πάνω.

γ) **Μικρός αριθμός μαθητών (3/12)** θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί **ελάχιστα πιο γρήγορα προς το πάνω κατακόρυφο τμήμα της βελόνας**. Για την αιτιολόγηση αυτής τους της άποψης στηρίχθηκαν **αποκλειστικά στα παρατηρησιακά δεδομένα του 1^{ου} Πειράματος**. Οι εν λόγω μαθητές αν και αρχικά είχαν εκφράσει την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται πιο εύκολα προς τα κάτω, κατά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος παρατήρησαν ότι οι σταγόνες κεριού προς την πάνω μεριά της ράβδου έλιωναν κλάσματα του δευτερολέπτου πιο γρήγορα, συγκριτικά με αυτές στην κάτω μεριά. Έτσι, στηριζόμενοι σε αυτή την παρατήρηση θεώρησαν ότι το ίδιο θα συμβεί και στην εν λόγω διάταξη. Για τους συγκεκριμένους μαθητές **τα σφάλματα μέτρησης** κατά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος **φάνηκε να αποτελούν σημαντικό παράγοντα** και να τους επηρεάζουν στη διαμόρφωση μίας άποψης για την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας.

1Β: Εγώ θα έλεγα ότι πιο γρήγορα θα πέσει η πινέζα από εδώ κάτω (δείχνει το κάτω μέρος της διάταξης), αλλά θα φτάσει πιο γρήγορα εκεί (δείχνει το πάνω μέρος) και θα πέσουν ταυτόχρονα. Θα φύγει η θερμότητα και επειδή αυτό είναι πιο κοντά στο έδαφος (το κάτω) και αυτό (το πάνω) είναι πιο ψηλά, είναι το διπλάσιο από το προηγούμενο, οπότε θα πέσει πιο γρήγορα αυτό (το κάτω), αλλά στην ουσία θα έχει πάει σχεδόν την ίδια στιγμή η θερμότητα, αλλά λίγο πιο γρήγορα στο από πάνω.

1Β: Ναι μαζί θα πέσουν, αλλά στην ουσία θα έχει πάει λίγο πιο γρήγορα εδώ η θερμότητα (δείχνει το πάνω), γιατί και πριν... έφτανε πιο γρήγορα πάνω.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι απόψεις των μαθητών αναφορικά με το ερώτημα που τους τέθηκε στο 3^ο Βήμα της ακολουθίας.

Πίνακας 4.2. Τι θεωρούν οι μαθητές ότι θα συμβεί, εάν αυξηθεί η υψομετρική διαφορά των σταγόνων κεριού, χρησιμοποιώντας άλλη πειραματική διάταξη; Πού αποδίδουν τις απόψεις τους;

«Τι θα συμβεί κατά τη θέρμανση της μεταλλικής βελόνας και γιατί;»	N	%
Ευκολότερη διάδοση της θερμότητας προς τα κάτω ή προς τα πάνω - λόγω της παρουσίας κατακόρυφων τμημάτων στην πειραματική διάταξη	5	42
Ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας – ανεξάρτητη από τη μεταβλητή του ύψους	4	33
Ευκολότερη διάδοση της θερμότητας προς τα πάνω – εστίαση στη φαινομενολογία του 1^{ου} Πειράματος	3	25
ΣΥΝΟΛΟ	12	100

4^ο Βήμα: Παρατήρηση του τρόπου διάδοσης της θερμότητας στη μεταλλική βελόνα. Σε τι συμπέρασμα καταλήγουν οι μαθητές αναφορικά με τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας στα μέταλλα; Ποια ερμηνεία δίνουν στο εν λόγω φαινόμενο;

Η πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος φάνηκε να αποτέλεσε κομβικό σημείο της ακολουθίας. Οι μαθητές στο σύνολό τους παρατήρησαν τις δύο πινέζες να ξεκολλούν ταυτόχρονα από τη μεταλλική βελόνα. Όσοι από τους μαθητές είχαν θεωρήσει ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με μεγαλύτερη ευκολία είτε στο πάνω, είτε στο κάτω κατακόρυφο τμήμα της διάταξης, ήρθαν σε σύγκρουση με αυτή τους την άποψη. Ενώ όσοι είχαν θεωρήσει ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με τον ίδιο ρυθμό και στις δύο κατευθύνσεις ενίσχυσαν αυτή τους την άποψη. Αξίζει επιπλέον να αναφερθεί ότι οι μαθητές ανέφεραν ότι η πραγματοποίηση αυτού του πειράματος τους βοήθησε να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις, συγκριτικά με το 1^ο Πείραμα.

Ο: Ωραία ας παρατηρήσουμε και μετά θα συζητήσουμε.

(πατά το χρονόμετρο και παρατηρούν το βίντεο)

3Α: Την ίδια ώρα!!!

3Γ: Περίπου την ίδια ώρα, ναι.

3Α: Ακριβώς την ίδια ώρα!

3Β: Για ξαναβάλτε το, επειδή πάταγα και το χρονόμετρο.

(παρατηρούν ξανά στο βίντεο το σημείο που πέφτουν οι πινέζες)

3Α: Ακριβώς την ίδια ώρα!

3Β: Την ίδια ώρα ξεκόλλησαν, όμως αυτή έπεσε προφανώς πιο γρήγορα στο γραφείο (δείχνει την κάτω πινέζα).

3Γ: Την ίδια ώρα ακριβώς.

Ο: Τι παρατηρήσατε;

4Β: Ταυτόχρονα άρχισαν να πέφτουν.

4Γ: Ταυτόχρονα.

4Α: Ναι πήγαινε με τον ίδιο ρυθμό (η θερμότητα).

Ο: Τι σας βοήθησε να φτάσετε σε αυτό το συμπέρασμα;

2Α: Το 2^ο πείραμα με βοήθησε πιο πολύ.

Ο: Γιατί;

2Α: Επειδή, πιστεύω έπεσαν, ε... ξεκόλλησαν την ίδια στιγμή και έτσι κατάλαβα ότι μπορεί να πάει και προς τα πάνω.

Ο: Ενώ στο πρώτο δε σου ήταν τόσο ξεκάθαρο;

2Α: Ναι.

Ο: Γιατί;

2Α: Επειδή στα δύο πιο μεγάλα σε απόσταση στο ύψος ήταν το ίδιο, ενώ στα κοντινά ήταν διαφορετικό.

Ο: Ωραία, εσένα 2Β τι σε βοήθησε να φτάσεις σε αυτό το συμπέρασμα;

2B: Εγώ πιστεύω το 2^ο πείραμα με βοήθησε πιο πολύ, γιατί έδειξε πως μπορεί ακόμα κι αν είναι κάποιο εντελώς πιο κάτω και το άλλο ή εντελώς πιο πάνω (εννοεί τα κατακόρυφα τμήματα), μπορούν να πέσουν μαζί, ενώ στο πρώτο, τα πρώτα πρώτα έπεφταν το ένα κάτω και το άλλο πιο μετά.

0: Σε βοήθησε το σχήμα της διάταξης εννοείς;

2B: Και αυτό ναι.

0: Εσένα 2Γ;

2Γ: Και εγώ με το 2^ο πείραμα.

0: Γιατί εσένα;

2Γ: Πάλι γιατί έδειξε το ότι μπορεί να .. η θερμότητα να... (κάνει παύση δεν μπορεί να το εκφράσει)

2B: (τη βοηθά να εκφραστεί) Να μεταφέρεται.

2Γ: Να διαδίδεται που λέει και εδώ (δείχνει το φύλλο εργασίας) και προς τις δύο πλευρές... και προς τις δύο κατευθύνσεις το ίδιο γρήγορα.

Αξίζει να αναφερθεί ότι και σε αυτό το σημείο της ακολουθίας στο σύνολο των μαθητών **παρατηρήθηκαν δυσκολίες στην παρατήρηση**. Οι μαθητές φάνηκε να εστιάζουν στην πτώση των πινεζών στο γραφείο και όχι στο οπότε αυτές ξεκολλούν από τη βελόνα, προκειμένου να διατυπώσουν τις απόψεις τους αναφορικά με την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας σε αυτή την περίπτωση. Και σε αυτό το σημείο κρίθηκε απαραίτητη η παρέμβαση και η καθοδήγηση των μαθητών, αναφορικά με τον παράγοντα στον οποίο πρέπει να εστιάσουν κατά την παρατήρηση.

1B: Παρατήρησα ότι για ένα δευτερόλεπτο έπεσε η κάτω πιο γρήγορα.

1Γ: Πρώτα έπεσε αυτή (δείχνει με το χέρι της την κάτω) και μετά αυτή (δείχνει την πάνω).

1B: Ναι για ένα δευτερόλεπτο διαφορά.

0: Το ύψος το βλέπετε, αυτό (το κάτω) είναι πολύ κοντά στο θρανίο, άρα έπεσε πρώτα. Αλλά ρωτάω πώς έλιωσε το κερί στις πινέζες.

1B: Ίσα, την ίδια στιγμή.

Στη συνέχεια οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν το **συμπέρασμα** στο οποίο κατέληξαν αναφορικά με την ταχύτητα διάδοσης της θερμότητας στις διάφορες κατευθύνσεις. Στο σύνολο των μαθητών επικράτησαν οι ακόλουθες τάσεις:

α) Η **πλειοψηφία των μαθητών (7/12)** εξέφρασε την άποψη ότι η **θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις**, διευκρινίζοντας ότι **ο ρυθμός αυτός εξαρτάται από την απόσταση που χρειάζεται να διανυθεί και είναι ανεξάρτητος από την κατεύθυνση στην οποία διαδίδεται η θερμότητα**. Στο συγκεκριμένο βήμα της ακολουθίας οι συγκεκριμένοι μαθητές φάνηκε να μην αποδίδουν πλέον υλικές ιδιότητες στη θερμότητα. Σε αρκετές, μάλιστα περιπτώσεις οι μαθητές φάνηκε να **προβαίνουν σε μία μεταγνωστική διαδικασία** και να **αναστοχάζονται αναφορικά με τη φύση της θερμότητας**, διατυπώνοντας ρητώς την άποψη ότι **δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση**.

1A: Εγώ πιστεύω ότι η θερμότητα πάει και από τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα, και ότι δεν έχει καμία σημασία το προς τα πάνω και το προς τα κάτω. Αυτό πιστεύω εγώ.

4B: Επειδή είναι και αυτή 8 εκ. (δείχνει το προς τα κάτω κάθετο τμήμα) και η άλλη, μάλλον δεν έχει σημασία, εάν είναι πάνω ή κάτω. Οπότε πάει ίσα (η θερμότητα).

2B: Η θερμότητα δεν είναι κάτι σαν... δεν είναι αντικείμενο ώστε να μην μπορέσει να πάει προς τα πάνω. Μπορεί να πάει προς τα πάνω, απλά...

0: Δηλαδή νόμιζες ότι είναι κάτι σαν αντικείμενο;

2B: Ναι.

0: 2A;

2A: Το υλικό, το μέταλλο μέσα νομίζω δεν έχει κάτι είναι κούφιο.

0: Και πώς μπορεί και μεταφέρεται η θερμότητα;

2A: Επειδή η θερμότητα είναι μία ενέργεια και μπορεί... εε... να πηγαίνει παντού τελικά.

2Γ: Όντως εκτός από αυτό, όντως δε μπορεί να είναι πράγμα, ούτε πριν ήταν πράγμα. Πριν έπεφτε πιο γρήγορα, δεν ξέρω γιατί. Αλλά τώρα είναι ακριβώς ίσα.

Κάποιοι από αυτούς τους μαθητές (3/7), οι οποίοι είχαν θεωρήσει αρχικά ότι η πτώση των σταγόνων κεριού θα πραγματοποιηθεί από τη θέρμανση του αέρα και όχι της ράβδου, διότι είχαν ταυτίσει τη θερμότητα με τον ζεστό αέρα, η πραγματοποίηση των πειραμάτων φάνηκε να είναι κομβικής σημασίας, καθώς τους βοήθησε να μετατοπιστούν εννοιολογικά και να αντιληφθούν ότι η θερμότητα δεν έχει υλική υπόσταση και μπορεί να διαδοθεί εντός του υλικού.

0: Πώς το εξηγείτε αυτό; Είχατε πει η θερμότητα... η ζέστη πάει εύκολα προς τα πάνω όπως ο ζεστός αέρας. Πώς το εξηγείτε και πήγε και προς τα κάτω;

4A: Επειδή η φωτιά πάει με τον ίδιο ρυθμό ας πούμε προς τα πάνω και προς τα κάτω.

0: Αλλά πριν έλεγες κάτι διαφορετικό, τι πιστεύεις ότι έγινε τελικά; Δεν είναι η φωτιά που πάει προς τα πάνω που είπες; Δεν πάει προς τα πάνω τελικά;

4A: Τελικά ναι μπορεί να πάει και από τις δύο μεριές τον ίδιο χρόνο.

0: Εσύ 4B;

4B: Ναι και εγώ, ότι αφού το καίμε στη μέση τελικά μπορεί να πάει και αριστερά και δεξιά με τον ίδιο ρυθμό.

4Γ: Και εγώ τον ίδιο ρυθμό λέω, απλά αυτό δεν ήταν ζεστός αέρας, αυτό ήταν ουσιαστικά το λιώσιμο του μετάλλου, οπότε στο μέταλλο διαδίδεται η θερμότητα, οπότε πιστεύω ότι η θερμότητα ουσιαστικά όταν είναι σε αέρια μορφή, τύπου αν είναι έτσι (τοποθετεί με τα χέρια του τη ράβδο προς με κλίση προς τα πάνω όπως στο πείραμα), σε αέρια μορφή, τύπου αν υπάρχουν φλόγες από κάτω (δείχνει το κάτω μέρος της ράβδου, την άκρη της που είναι πιο κοντά στο έδαφος).

0: Ναι, αν τη ζεσταίναμε από κάτω δηλαδή;

4Γ: Αλλά πολύ κοντά.

0: Σε ποιο σημείο θα τη ζεσταίναμε;

4Γ: Αν το ζεσταίναμε εδώ από κάτω (δείχνει στο μέρος της ράβδου που βρίσκεται ψηλότερα από την κάτω μεριά) και εδώ από πάνω (δείχνει το μέρος της ράβδου που βρίσκεται χαμηλότερα αλλά από την πάνω μεριά) θα έλιωναν

πρώτα αυτό εδώ πέρα (δείχνει τις πάνω σταγόνες), επειδή ο θερμός αέρας πηγαίνει προς τα πάνω, όχι προς τα κάτω.

0: Αλλά εμείς το ζεσταίναμε εδώ τώρα (δείχνει στη μέση) και ζεσταίναμε το υλικό.

4A: Ναι και πήγαινε με τον ίδιο χρόνο.

4B: Ναι επειδή τελικά είναι το υλικό και όχι ο αέρας που ζεσταινόταν. Στο υλικό πηγαίνει με την ίδια ταχύτητα και στις δύο μεριές.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι κάποιιοι από αυτούς τους μαθητές (3/7) διευκρίνισαν ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις, μόνο όταν η υψομετρική διαφορά είναι μεγάλη, ενώ σε μικρά ύψη παρατηρούνται αποκλίσεις στο ρυθμό διάδοσής της. Για να αιτιολογήσουν αυτή τους την άποψη επικαλέστηκαν τα παρατηρησιακά δεδομένα του 1^{ου} Πειράματος, όπου είχαν καταγράψει μικρές αποκλίσεις ως προς το χρονικό διάστημα στο οποίο έλιωναν τα διαδοχικά ζεύγη σταγόνων κεριού που είχαν μικρή υψομετρική διαφορά. Και σε αυτή την περίπτωση τα σφάλματα μέτρησης φάνηκε να έχουν αυτόνομη αξία στη διαμόρφωση της άποψης των μαθητών.

0: Πιστεύετε ότι διαδίδεται το ίδιο γρήγορα πάνω και κάτω;

2Γ: Εξαρτάται.

2A: Εξαρτάται από το ύψος εγώ πιστεύω.

0: Δηλαδή;

2A: Από την απόσταση ύψους που μπορεί να έχουν.

2Γ: Εξαρτάται, γιατί εδώ (δείχνει τη ράβδο), όταν ήταν κοντά (στο κέντρο της ράβδου εννοεί) είχανε διαφορά.

2A: Ναι επειδή στα δύο πιο μεγάλα σε απόσταση στο ύψος ήταν το ίδιο, ενώ στα κοντινά ήταν διαφορετικό.

β) Σημαντικός αριθμός μαθητών (3/12) εξέφρασε την άποψη ότι η θερμότητα μπορεί και διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις, διότι δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση, διευκρινίζοντας επιπλέον ότι μπορεί και απορροφάται από το υλικό του μετάλλου. Οι εν λόγω μαθητές αν και φάνηκε να έφτασαν στη διαπίστωση ότι η θερμότητα δεν έχει υλική υπόσταση, στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν τα παρατηρησιακά δεδομένα των πειραμάτων φάνηκε να μεταβιβάζουν την αιτία του φαινομένου σε ιδιότητες του υλικού της ράβδου. Για τον λόγο αν και ανέφεραν ότι η θερμότητα δε μπορεί να υπάρξει σε στερεή ή υγρή μορφή, έτειναν να την προσομοιάζουν με μία μορφή αερίου, η οποία μπορεί και απορροφάται από συγκεκριμένα υλικά με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις. Στο σημείο αυτό φάνηκε ότι οι μαθητές αυτοί υιοθετώντας μία μακροσκοπική λογική, να προσπαθούν να συμβιβάσουν το γεγονός ότι η θερμότητα δεν υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις με το γεγονός ότι δε μπορεί να είναι κάτι άυλο για αυτούς.

0: Εσύ 3B πώς το εξηγείς ότι πήγε και πάνω ταυτόχρονα;

3B: Τώρα το κατάλαβα, γιατί είναι ίσες οι αποστάσεις και δεν είναι ας πούμε σαν το νερό που στην ανηφόρα δεν μπορεί να πάει και στην κατηφόρα πάει γρήγορα.

3A: Ναι.

3B: Είναι φωτιά... θερμότητα.

3A: Και δεν έχει σημασία η βαρύτητα.

3B: Ναι, και δε φαίνεται η φωτιά. Πάει εδώ πέρα (σηκώνεται όρθιος και δείχνει όλες τις σταγόνες της ράβδου με σειρά από τη μία άκρη), ζεσταίνει το μέταλλο και από εδώ (δείχνει το μηδέν) αρχίζει και ζεσταίνεται σιγά σιγά (δείχνει πάλι διαδοχικά τις σταγόνες από το μηδέν μέχρι την άκρη της ράβδου). Αυτό! Και δε φαίνεται. Απορροφάται από το μέταλλο, το ζεσταίνει και πάει το ίδιο, αφού είναι ίδια η απόσταση.

.....
3B: Γιατί, δεν πάει εξωτερικά αυτού του υλικού, αλλά απορροφάται μέσα του. Οπότε αφού έχει απορροφηθεί μέσα του, δεν μπορεί να έχει μπει μέσα του και να μην μπορεί να ανεβεί πάνω (κάνει με το χέρι του μία κίνηση προς τα πάνω) και να πάει μόνο προς τα κάτω (κάνει όμοια κίνηση προς τα κάτω).

0: Δηλαδή αν απορροφηθεί μέσα του, γιατί θα πάει το ίδιο γρήγορα;

3B: Θα πάει προς τα πάνω και προς τα κάτω, γιατί είναι υλικό που την απορροφάει, γιατί άλλα υλικά δεν την απορροφάνε.

.....
3B: Δηλαδή άμα βάζαμε τώρα εδώ νερό (δείχνει το μηδέν της ράβδου) θα πήγαινε όλο προς τα κάτω.

0: Ναι το νερό θα έπεφτε. Με τη θερμότητα τι γίνεται;

3B: Απορροφάται.

3A: Επειδή είναι αέριο η θερμότητα δε θα...

0: Πιστεύεις είναι αέριο;

3A: Εννοώ είναι αέριο, γιατί .. (παύση)

3B: Δηλαδή του αυξάνουμε τη θερμοκρασία του μετάλλου και αυξάνεται η θερμοκρασία και αρχίζει αυτό σιγά σιγά να λιώνει (δείχνει τις σταγόνες).

3A: Επειδή δεν είναι ούτε στερεό, ούτε υγρό.

0: Αλλά μοιάζει πιο πολύ με αέριο η θερμότητα;

3A: Είναι πιο πολύ δηλαδή... (παύση)

0: Αν είναι αέριο πώς εξηγείς ότι πήγε το ίδιο γρήγορα και πάνω και κάτω;

3B: Επειδή είναι σε υλικό που απορροφάται.

3A: Ναι για αυτό.

3B: Γιατί άμα βάζαμε γενικά κάτι ζεστό κάπου, μπορεί να έβγαζε ατμούς, άμα δεν απορροφάται, ενώ συνέχεια στα μέταλλα απορροφάται.

3A: Και για να ανάψεις μία φωτιά από τον αναπτήρα.. υπάρχουν δύο μέρη.. αυτό το πράγμα και το κόκκινο που το πατάς και βγαίνει το αέριο (δείχνει ότι κινείται προς τα πάνω) .. που σε βοηθάει. Οπότε κάνεις αυτό για να βγει η σπίθα και πατάς το κόκκινο ώστε να βγαίνει το αέριο οπότε το αέριο σε βοηθά ώστε να μείνει η φωτιά.. αυτό το αέριο που υπάρχει..

0: Μάλιστα, γιατί το εξηγείς με αυτό το παράδειγμα;

3A: Απλά ήθελα να πω ότι δεν είναι ούτε στερεό, ούτε υγρό η θερμότητα.

3B: Μπορεί να υπάρξει και στερεό.

0: Η θερμότητα; Πώς;

3B: Από τη λάβα.

3A: Υγρό είναι. (εννοεί η λάβα)

3B: Όταν στερεώνεται γίνεται πέτρα.

γ) Ένας μικρός μόνο αριθμός μαθητών (2/12) εξέφρασε την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις, για την αιτιολόγηση ωστόσο

αυτής της άποψης **στηρίχθηκε αποκλειστικά στα παρατηρησιακά δεδομένα των πειραμάτων που είχαν πραγματοποιηθεί, χωρίς να αναφέρει κάποιο συγκεκριμένο αιτιακό μηχανισμό.**

1Γ: Εγώ το πιστεύω γιατί όπως είδαμε και στο πείραμα, άρχισαν να κουνιούνται οι σταγόνες.. έπεσαν ακριβώς στην ίδια στιγμή.

1Β: Συμφωνώ με την 1Γ, γιατί το είδαμε και στα δύο. Αλλά, το πρώτο μας είχε μπερδέψει, γιατί σε όλα έπεφταν την ίδια στιγμή και στο τελευταίο (εννοεί ζευγάρι σταγόνων) ξαφνικά έπεσε 2 δευτερόλεπτα πιο μετά, όμως το δεύτερο πείραμα μας βοήθησε να καταλάβουμε ότι πέφτουν ακριβώς την ίδια στιγμή, άρα πάει παντού το ίδιο.

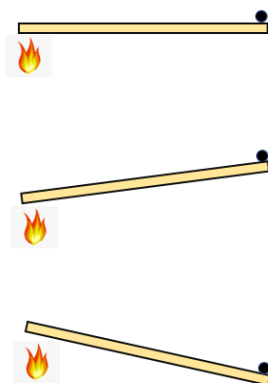
Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι απόψεις και οι ερμηνείες των μαθητών αναφορικά με το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν για την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας στα μέταλλα.

Πίνακας 4.3. Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγουν οι μαθητές αναφορικά με τον τρόπο διάδοσης της Θερμότητας στα μέταλλα; Πού αποδίδουν τις απόψεις τους;

«Πώς διαδίδεται η θερμότητα στα μέταλλα και γιατί;»	N	%
Με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις – απόδοση μη υλικής υπόστασης στη θερμότητα	7	58
Με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις – η θερμότητα απορροφάται από το μέταλλο	3	25
Με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις – ερμηνεία με βάση τη φαινομενολογία των πειραμάτων	2	17
ΣΥΝΟΛΟ	12	100

5^ο Βήμα: Εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση

Στο τελευταίο βήμα του συγκεκριμένου ΔΠ οι μαθητές κλήθηκαν να εφαρμόσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν στο προηγούμενο βήμα σε μία νέα κατάσταση. Συγκεκριμένα, στους μαθητές παρουσιάστηκαν σε μορφή σκίτσου τρεις όμοιες μεταλλικές ράβδοι, στην άκρη των οποίων ήταν τοποθετημένη ίδια ποσότητα πηγμένου κεριού (Εικόνα 4.3). Οι ράβδοι θερμαίνονταν από παρόμοια πηγή θερμότητας ίδιας έντασης, αλλά ήταν τοποθετημένες με διαφορετική κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο (με κλίση προς τα πάνω, οριζόντια και με κλίση προς τα κάτω). Οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το αν αναμένουν να λιώσει το κερί πιο γρήγορα ή πιο αργά σε κάποια από τις τρεις περιπτώσεις.



Εικόνα 4.3. Σκίτσο δραστηριότητας εφαρμογής 1^{ου} ΔΠ

Στο σύνολο των μαθητών επικράτησαν οι ακόλουθες απόψεις:

α) Η πλειοψηφία των μαθητών (9/12) εξέφρασε την άποψη ότι η θερμότητα θα διαδοθεί το ίδιο γρήγορα προς όλες τις κατευθύνσεις, καθώς ο ρυθμός διάδοσής της 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. Έτσι, οι συγκεκριμένοι μαθητές θεώρησαν ότι το πηγμένο κερί θα λιώσει ταυτόχρονα και στις τρεις περιπτώσεις.

1A: Σύμφωνα με τα πειράματα που είδαμε πιστεύω ότι θα πέσει... θα λιώσει το κερί την ίδια στιγμή και στις 3 ράβδους.

0: Γιατί πιστεύεις ότι θα γίνει αυτό;

1A: Γιατί, δεν έχει σημασία η κλίση που έχει πάρει, η θερμότητα θα πάει και στα 3 ταυτόχρονα.

4A: Όχι γιατί όπως είδαμε και στα άλλα πειράματα η ζέστη πάει με τον ίδιο ρυθμό. Παντού.

4B: Ναι και αφού είναι και τα ίδια εκατοστά και ρίχνουμε και 3 σταγόνες κεριού οπότε είναι το ίδιο. Ναι θα πέσουν μαζί.

3A: Γιατί είδαμε και στα προηγούμενα ότι πάνω πάει, κάτω πάει, είναι κάποιο πάνω, είναι κάποιο κάτω ... πάει το ίδιο, δεν έχει σημασία η κλίση.

0: Ναι απλά λέει ότι όταν είναι έτσι σε ευθεία, χωρίς καθόλου κλίση, θα φτάσει πιο γρήγορα εδώ. Τι λες για αυτό;

3A: Αυτό δεν έχει σημασία άμα είναι ευθεία ή άμα έχει κάποια κλίση, σημασία έχει το υλικό, ότι μεταφέρεται η θερμότητα το ίδιο.

1B: Εγώ πιστεύω ότι θα αρχίσει να λιώνει την ίδια στιγμή, γιατί τα ίδια εκατοστά είναι και οι τρεις ράβδοι και όλες οι φωτιές είναι τοποθετημένες στην ίδια πλευρά. Επίσης και τα κεριά είναι στην ίδια θέση.

(απάντηση μαθητή στο αντίστοιχο πεδίο του Φύλλου Εργασίας)

β) **Μικρός αριθμός μαθητών (3/12)**, ωστόσο, θεώρησε ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας θα διαφοροποιηθεί στη ράβδο που είναι τοποθετημένη σε οριζόντια θέση, συγκριτικά και με τις δύο ράβδους που βρίσκονται σε μικρή κλίση.

Έτσι, οι περισσότεροι από αυτούς τους μαθητές (2/3) **εξέφρασαν την άποψη ότι η θερμότητα θα διαδοθεί πιο γρήγορα στη ράβδο σε οριζόντια θέση**, επηρεαζόμενοι από τα παρατηρησιακά δεδομένα του 2^{ου} Πειράματος. Συγκεκριμένα, η παρουσία οριζόντιων τμημάτων στην πειραματική διάταξη αυτού του πειράματος, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι μαθητές παρατήρησαν την ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας κατά την πραγματοποίησή του, φάνηκε να τους ωθεί στο να θεωρήσουν ότι η θερμότητα πιθανώς να διαδίδεται πιο γρήγορα κατά τη θέρμανση αντικειμένων που δεν είναι τοποθετημένα σε κάποια κλίση.

1Γ: Εγώ στην αρχή είχα πει πρώτα το α, μετά το β και μετά το γ. Απλά τώρα και αυτό που είπε τώρα ο 1Β νομίζω ότι και εγώ τώρα ότι θα λιώσουν την ίδια στιγμή, αλλά δεν είμαι ακόμα πολύ σίγουρη.

Ο: Σου φαίνεται πιο λογικό να λιώσει πρώτα το κερί στη ράβδο που είναι οριζόντια;

1Γ: Ναι γιατί στο πείραμα που είχαμε κάνει εδώ (δείχνει τη μεταλλική ράβδο – εννοεί το 1^ο πείραμα), είχε πρώτα λιώσει αυτό εδώ (δείχνει το 25 πάνω).

Ο: Που είναι αντίστοιχη δηλαδή περίπτωση με το β και το γ;

1Γ: Ναι.

Ο: Μάλιστα, παρόλο που σε αυτό (δείχνει τη 2^η διάταξη) είδαμε ότι λιώνουν ταυτόχρονα;

1Γ: Ναι για αυτό έβαλα πρώτα αυτό (εννοεί το α) και μετά τα άλλα (β και γ), γιατί νομίζω ότι έτσι θα πάει πιο γρήγορα (εννοεί οριζόντια).

Ο: Δηλαδή θα συμβεί κάτι διαφορετικό εδώ;

1Γ: Ναι, γιατί όπως είπα και πριν, εδώ σε αυτό το πείραμα που κάναμε (δείχνει τη 2^η διάταξη), οι δύο πινέζες έπεσαν ακριβώς την ίδια στιγμή, ενώ εδώ (δείχνει τη ράβδο και εννοεί στο 1^ο πείραμα), πρώτα έπεσε το 25 που ήταν στα δεξιά (πάνω).

Ο: Και τι ομοιότητα έχει αυτή η διάταξη (2^η) με τη ράβδο όταν είναι οριζόντια (της δείχνει τη ράβδο σε οριζόντια θέση και τη 2^η διάταξη);

1Γ: Δε λέω ότι έχουν ομοιότητα, αλλά έβαλα πρώτα το α γιατί πέσανε μαζί σε αυτό το πείραμα.

Σε **μία μόνο περίπτωση** εκφράστηκε η άποψη ότι στη ράβδο **σε οριζόντια θέση η θερμότητα θα μεταφερθεί πιο αργά**. Η συγκεκριμένη μαθήτρια φάνηκε να θεωρεί ότι η θερμότητα διαδίδεται πιο γρήγορα, όταν ένα αντικείμενο που θερμαίνεται βρίσκεται τοποθετημένο σε κάποια κλίση. Συγκεκριμένα, ανέφερε ότι στην περίπτωση της ράβδου σε οριζόντια θέση η θερμότητα δε θα έχει μία κατεύθυνση να μεταφερθεί και συνεπώς θα μεταφερθεί πιο αργά σε αυτή την περίπτωση.

2Γ: Συμφωνώ, γιατί είναι ίδιες, οπότε μάλλον θα λιώσουν μαζί τα κεριά.

Ε: Οκ και τι θα γίνει δηλαδή με τη θερμότητα;

2Γ: Κανονικά θα έλεγα ότι λιώνει το κάτω κερί, αλλά μετά από το πείραμα με το αυτό (σχηματίζει με τα χέρια της το σχήμα της 2^{ης} διάταξης) νομίζω ότι θα είναι το ίδιο ή αυτό λίγο πιο αργό, το α (το οριζόντιο).

0: Γιατί πιστεύεις θα είναι πιο αργό;

2Γ: Δεν υπάρχει μια κατεύθυνση να πάει. Αφού είναι ίσιο θα είναι πιο αργό.

0: Ενώ αν έχει κλίση πάνω και κάτω θα πάει πιο γρήγορα;

2Γ: Ναι.

Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι απόψεις των μαθητών αναφορικά με το ερώτημα της δραστηριότητας της φάσης εφαρμογής.

Πίνακας 4.4. Εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση

«Θα λιώσει το πηγμένο κερί σε κάποια από τις τρεις ράβδους πιο γρήγορα ή πιο αργά από τις άλλες;»	N	%
Με τον ίδιο ρυθμό σε όλες - διάδοση της θερμότητας ανεξάρτητη από τη μεταβλητή του ύψους	9	75
Διαφοροποίηση ρυθμού διάδοσης της θερμότητας στη ράβδο σε οριζόντια θέση	3	25
ΣΥΝΟΛΟ	12	100

4.2.2 Σύνοψη των αποτελεσμάτων του πρώτου διδακτικού πειράματος

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι κατά την εφαρμογή του πρώτου ΔΠ οι μαθητές ακολούθησαν **τρία διαφορετικά μονοπάτια μάθησης**, κατά την πορεία τους προς το συμπέρασμα. Συγκεκριμένα, προκύπτουν τα εξής:

i) Πρώτο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **πέντε (5) μαθητές**. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Πριν την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος **έτειναν να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας**. Για παράδειγμα:

0: Τι πιστεύετε είναι αυτό που κάνει τη θερμότητα να μεταφερθεί πιο γρήγορα προς τα κάτω;

2Β: Η βαρύτητα.

2Γ: Ναι, η βαρύτητα. Πώς πάμε στην τσουλήθρα; Όταν είναι έτσι (δείχνει το ένα της χέρι σαν να είναι τσουλήθρα και δείχνει την κλίση προς τα κάτω).. πάμε έτσι (δείχνει με το άλλο της χέρι πώς θα γίνει η πτώση από την τσουλήθρα). Όταν είναι έτσι (μειώνει την κλίση στο χέρι της), πάμε έτσι (δείχνει πιο αργή πτώση).

2Α: Συμφωνώ.

β) Μετά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος φάνηκε να διαπιστώνουν ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις και στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν τα παρατηρησιακά δεδομένα που προέκυψαν από αυτό

το πείραμα ανέφεραν ότι η θερμότητα δε μπορεί να έχει υλικές ιδιότητες. Για παράδειγμα:

Ο: Εσύ 3B πώς το εξηγείς ότι πήγε και πάνω ταυτόχρονα;

3B: Τώρα το κατάλαβα, γιατί είναι ίσες οι αποστάσεις και δεν είναι ας πούμε σαν το νερό που στην ανηφόρα δεν μπορεί να πάει και στην κατηφόρα πάει γρήγορα.

3B: Είναι φωτιά, θερμότητα.

3A: Και δεν έχει σημασία η βαρύτητα.

γ) Πριν την πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος θεώρησαν ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας θα διαφοροποιηθεί στις δύο πλευρές της μεταλλικής βελόνας, λόγω της παρουσίας κατακόρυφων τμημάτων σε αυτή. Στο σημείο αυτό φάνηκε ότι για τους συγκεκριμένους μαθητές η πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος δεν ήταν δυνατόν να προκαλέσει την εννοιολογική τους μετατόπιση από την αρχική τους άποψη, εξαιτίας της μικρής υψομετρικής διαφοράς στα ζεύγη σταγόνων κεριού της ράβδου του αρχικού πειράματος. Η παρουσία κατακόρυφων τμημάτων στη μεταλλική βελόνα του 2ου Πειράματος φάνηκε να τους ωθεί στο να επιστρέψουν στις αρχικές τους ιδέες, καθώς θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με διαφορετικό τρόπο σε αυτή την περίπτωση, λόγω του διαφορετικού σχήματος της εν λόγω διάταξης. Για παράδειγμα:

2Γ: Γιατί πέφτει ακριβώς (κάνει μία κίνηση με το χέρι της που δείχνει ακριβώς κάθετη πτώση), οπότε θα πάει γρήγορα.

Ο: Επειδή είναι κατακόρυφο;

2Γ: Ναι.

2Α: Πιστεύω ότι η θερμότητα μπορεί να δυσκολευτεί πιο πολύ να πάει προς τα πάνω, αντί να πάει κάθετα προς τα κάτω.

δ) Μετά την πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος παρατήρησαν την ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας στις δύο κατευθύνσεις. Αναφορικά με την ερμηνεία του φαινομένου ανέφεραν ότι η θερμότητα δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση. Επιπλέον, ανέφεραν ότι η πραγματοποίηση αυτού του πειράματος τους βοήθησε στο να συνειδητοποιήσουν ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις σε όλες τις περιπτώσεις. Η εννοιολογική μετατόπιση για αυτούς τους μαθητές φάνηκε να είναι εφικτή μόνο μετά την πραγματοποίηση και του 2^{ου} Πειράματος. Για παράδειγμα:

2Β: Η θερμότητα δεν είναι κάτι σαν... δεν είναι αντικείμενο ώστε να μην μπορέσει να πάει προς τα πάνω. Μπορεί να πάει προς τα πάνω, απλά..

Ο: Δηλαδή νόμιζες ότι είναι κάτι σαν αντικείμενο;

2Β: Ναι.

2Α: Το υλικό, το μέταλλο μέσα νομίζω δεν έχει κάτι είναι κούφιο.

Ο: Και πώς μπορεί και μεταφέρεται η θερμότητα;

2Α: Επειδή η θερμότητα είναι μία ενέργεια και μπορεί... εε... να πηγαίνει παντού τελικά.

2Γ: Όντως εκτός από αυτό, όντως δε μπορεί να είναι πράγμα, ούτε πριν ήταν πράγμα. Πριν έπεφτε πιο γρήγορα, δεν ξέρω γιατί. Αλλά τώρα είναι ακριβώς ίσα.

ε) Κατά την εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση θεώρησαν ότι **η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις** σε ένα μεταλλικό αντικείμενο και ο **ρυθμός αυτός είναι ανεξάρτητος της μεταβλητής του ύψους**. Για παράδειγμα:

1Α: Γιατί, δεν έχει σημασία η κλίση που έχει πάρει, η θερμότητα θα πάει και στα τρία ταυτόχρονα.

4Α: Γιατί όπως είδαμε και στα άλλα πειράματα η ζέστη πάει με τον ίδιο ρυθμό παντού.

4Β: Ναι και αφού είναι και τα ίδια εκατοστά και ρίχνουμε και τρεις σταγόνες κεριού οπότε είναι το ίδιο. Ναι θα πέσουν μαζί.

ii) Δεύτερο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **τέσσερις (4) μαθητές**. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Πριν την πραγματοποίηση του **1^{ου} Πειράματος έτειναν να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας**. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

β) Μετά την πραγματοποίηση του **1^{ου} Πειράματος** φάνηκε να διαπιστώνουν ότι η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις και **στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν** τα παρατηρησιακά δεδομένα που προέκυψαν από αυτό το πείραμα **ανέφεραν ότι η θερμότητα δε μπορεί να έχει υλικές ιδιότητες**. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

γ) Πριν την πραγματοποίηση του **2^{ου} Πειράματος** θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με τον ίδιο ρυθμό μεταξύ των δύο σημείων της μεταλλικής βελόνας, τα οποία είχαν μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά συγκριτικά με αυτή του τελευταίου ζεύγους σταγόνων κεριού του **1^{ου} Πειράματος**, καθώς η διάδοσή της είναι ανεξάρτητη από τη μεταβλητή του ύψους. Στο σημείο αυτό φάνηκε ότι **η πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος βοήθησε τους συγκεκριμένους μαθητές να μετατοπιστούν εννοιολογικά από την αρχική τους άποψη και να έχουν αποδεσμεύσει την έννοια της θερμότητας από την υλική υπόσταση που της είχαν αποδώσει**. Για παράδειγμα:

3Α: Τώρα όμως είναι εντελώς κάθετα αυτά.

0: Ναι τώρα είναι εντελώς κάθετα. Τι θα γίνει εδώ;

3Α: Εγώ πιστεύω ότι θα πάνε πάλι το ίδιο.

3Β: Ναι, γιατί το ένα.. γιατί αυτό (δείχνει το κάτω κάθετο τμήμα) έχει απόσταση 8 εκ. από αυτό (δείχνει το οριζόντιο τμήμα της βελόνας), ενώ αυτό (δείχνει το πάνω κάθετο τμήμα) έχει απόσταση 8 εκ. Είναι ίδια απόσταση.

3Γ: Άρα θα πάνε ίδια.

3Β: Και αφού είδαμε και πριν δεν πάει πιο γρήγορα σε αυτά που πάνε προς τα κάτω.

3Α: Ούτε προς τα πάνω

δ) Μετά την πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος έτειναν να επιμένουν στην άποψη που είχαν εκφράσει μετά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος, ότι η θερμότητα δε μπορεί να έχει υλική υπόσταση. **Η πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος φάνηκε να ενίσχυσε αυτή τους την άποψη.** Επιπλέον, οι συγκεκριμένοι μαθητές **στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν περαιτέρω** την ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας προς όλες τις κατευθύνσεις σε μεταλλικά αντικείμενα **φάνηκε να μεταβιβάζουν την αιτία αυτού του φαινομένου σε ιδιότητες των μετάλλων**, καθώς διατύπωσαν την άποψη ότι η θερμότητα μπορεί και απορροφάται από τα συγκεκριμένα αντικείμενα. Για παράδειγμα:

3Β: Γιατί βάλαμε τη φωτιά σε ένα υλικό που την απορροφάει, γιατί άλλα υλικά δεν την απορροφάνε.

0: Ωραία, άρα σε αυτά που την απορροφούν τι συμβαίνει με τη θερμότητα;

3Β: Αν την απορροφούν προς την ίδια κα... κατευθείαν πάει σε αυτό (κάνει με τα χέρια του τη ράβδο και δείχνει τη μία άκρη) και σε αυτό (δείχνει και την άλλη άκρη) στην ίδια στιγμή. Απορροφάται και πάει παντού το ίδιο.

ε) Κατά την εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση θεώρησαν ότι **η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις σε ένα μεταλλικό αντικείμενο και ο ρυθμός αυτός είναι ανεξάρτητος της μεταβλητής του ύψους.** Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

iii) Τρίτο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **τρεις (3) μαθητές.** Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Πριν την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος **έτειναν να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας.** Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

β) Μετά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος φάνηκε να παρατηρούν μικρές αποκλίσεις αναφορικά με τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας στις διαφορετικές

κατευθύνσεις. Στην προσπάθεια τους να ερμηνεύσουν τα παρατηρησιακά δεδομένα που προέκυψαν από αυτό το πείραμα **εστιάζαν αποκλειστικά στη φαινομενολογία του πειράματος, χωρίς να αναφέρουν κάποιο συγκεκριμένο αιτιακό μηχανισμό.** Για παράδειγμα:

1B: Εγώ λέω ότι πάει λίγο πιο γρήγορα πάνω, γιατί σε όλα, σε όλα (εννοεί τα ζεύγη σταγόνων) έφτασε πιο γρήγορα ψηλά, όχι κάτω.

1A: Μάλλον είναι για λίγα κλάσματα δευτερολέπτου η διαφορά, πάει πιο γρήγορα πάνω, γιατί θυμάμαι έπεσαν λίγο πιο γρήγορα τα πάνω.

γ) Πριν την πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με ελάχιστα διαφορετικό ρυθμό στις δύο πλευρές της μεταλλικής βελόνας και έτειναν να εκτιμούν τη μικρή απόκλιση στη διάδοση, σύμφωνα με τα παρατηρησιακά δεδομένα του προηγούμενου πειράματος. **Τα σφάλματα μέτρησης που υπεισέρχονται κατά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος φάνηκε να έχουν ιδιαίτερη αξία στη διαμόρφωση μίας άποψης για την ερμηνεία του εν λόγω φαινομένου, για αυτούς τους μαθητές.** Για παράδειγμα:

1B: Ναι μαζί θα πέσουν, αλλά στην ουσία θα έχει πάει λίγο πιο γρήγορα εδώ η θερμότητα (δείχνει το πάνω), γιατί και πριν έφτανε πιο γρήγορα πάνω.

δ) Μετά την πραγματοποίηση του 2^{ου} Πειράματος παρατήρησαν την ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας στις δύο κατευθύνσεις, ωστόσο για την ερμηνεία αυτού του φαινομένου **εξακολούθησαν να εστιάζουν αποκλειστικά στα παρατηρησιακά δεδομένα του πειράματος.** Για παράδειγμα:

1Γ: Εγώ το πιστεύω γιατί όπως είδαμε και στο πείραμα, άρχισαν να κουνιούνται οι σταγόνες και έπεσαν ακριβώς στην ίδια στιγμή.

ε) Κατά την εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση θεώρησαν ότι **ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας είναι ίδιος στις ράβδους που είναι τοποθετημένες σε κλίση, αλλά διαφοροποιείται σε αυτή η οποία βρίσκεται σε οριζόντια θέση.** Για παράδειγμα:

2Γ: Κανονικά θα έλεγα ότι λιώνει το κάτω κερί, αλλά μετά από το πείραμα με το αυτό (σχηματίζει με τα χέρια της το σχήμα της 2^{ης} διάταξης) νομίζω ότι θα είναι το ίδιο ή αυτό λίγο πιο αργό, το α.

Ο: Το οριζόντιο;

2Γ: Ναι.

Ο: Γιατί πιστεύεις θα είναι πιο αργό;

2Γ: Δεν υπάρχει μια κατεύθυνση να πάει. Αφού είναι ίσιο θα είναι πιο αργό.

Ο: Ενώ αν έχει κλίση πάνω και κάτω θα πάει πιο γρήγορα;

2Γ: Ναι.

4.3 Δεύτερο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας σε διάφορα στερεά υλικά σώματα

4.3.1 Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του δεύτερου διδακτικού πειράματος

1^ο Βήμα: Με τι ρυθμό θεωρούν οι μαθητές ότι διαδίδεται η θερμότητα στα διάφορα υλικά σώματα; Πού αποδίδουν τις απόψεις τους;

Αρχικά, οι μαθητές κλήθηκαν να διατυπώσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον ρυθμό με τον οποίο θεωρούν ότι θα διαδοθεί η θερμότητα, ξεχωριστά για καθεμία από τις ράβδους του 3^{ου} Πειράματος (Εικόνα 4.4), εάν τις τοποθετήσουμε μέσα σε βραστό νερό.



Εικόνα 4.4. Ράβδοι από αλουμίνιο, γυαλί, χαλκό, ξύλο, ορείχαλκο και πλαστικό στις οποίες έχει τοποθετηθεί μία πινέζα στα 14 εκ. από το ένα τους άκρο

Παρακάτω παρουσιάζονται οι απαντήσεις των μαθητών, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν, σύμφωνα με τα κριτήρια που χρησιμοποίησαν για να εκτιμήσουν τον ρυθμό με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα στα διαφορετικά υλικά. Στο σύνολο των μαθητών εντοπίστηκαν τα ακόλουθα κριτήρια:

α) Η ευκολία ή η δυσκολία με την οποία μπορεί να θερμανθεί εξωτερικά ένα υλικό σώμα φάνηκε να αποτελείσε το **κριτήριο, στο οποίο στηρίχθηκε η πλειοψηφία των μαθητών (11/12)**, για να διατυπώσει μία άποψη αναφορικά με τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας σε αυτό. Για να υποστηρίξουν αυτές τους τις απόψεις συχνά έκαναν αναφορές σε καταστάσεις της καθημερινότητας, όπου είχαν παρατηρήσει τη χρήση διάφορων αντικειμένων τα οποία ήταν κατασκευασμένα από τα υλικά του πειράματος. Έτσι, ανέφεραν ότι η θερμότητα:

ι) θα διαδοθεί με **γρήγορο ρυθμό** σε κάποιο υλικό των ράβδων, διότι σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες είναι υλικό το οποίο ζεσταίνεται εύκολα.

3A: Γιατί η θερμότητα μπορεί να πάει στο γυαλί, γιατί μία φορά που εγώ είχα βάλει ζεστό νερό σε ένα γυάλινο ποτήρι και το είχα πιάσει εκεί που είχε το νερό ήταν πιο ζεστό. Εκεί που ήταν νερό δεν ήταν τόσο πολύ, αλλά είχε πάει η ζέστη.

2B: Επειδή ξέρουμε από πιο μικρή ηλικία ότι το ξύλο είναι πιο ευαίσθητο στο θέμα της θερμότητας.

0: Δηλαδή;

2B: Είναι πιο εύκολο να μεταφερθεί η ενέργεια μέσα του.

0: Οπότε για αυτό θα πέσει γρήγορα η πινέζα. Εσύ 2A;

2A: Ναι συμφωνώ, επειδή έχω και παραδείγματα. Για παράδειγμα, στο τζάκι όταν βάζουμε ξύλα πιάνουν πολύ γρήγορα φωτιά.

0: Οπότε τι σημαίνει για σένα ότι πιάνουν πολύ γρήγορα φωτιά;

2A: Ότι είναι πολύ εύφλεκτο υλικό.

0: Και τι συμβαίνει με τη θερμότητα για κάποιο υλικό που είναι εύφλεκτο;

2A: Μπορεί να μεταφερθεί πολύ εύκολα..

0: Εσύ 2Γ;

2Γ: Το ίδιο, γιατί αυτό με το τζάκι, ότι καίγεται εύκολα το ξύλο, ζεσταίνεται πολύ γρήγορα.

3B: Η θερμότητα να μεταφέρεται γρήγορα στο ξύλο, απλώς επειδή ξέρω ότι το ξύλο παίρνει φωτιά εύκολα.

0: Αυτό τι μπορεί να σημαίνει ότι παίρνει εύκολα φωτιά;

3B: Αφού δε θα βάλουμε φωτιά.

0: Δε θα βάλουμε, αλλά λέω για να παίρνει εύκολα φωτιά τι συμβαίνει;

3B: Είναι εύφλεκτο υλικό.

0: Και μεταφέρεται εύκολα η θερμότητα, για να παίρνει φωτιά; Γιατί το λες;

3B: Μεταφέρεται εύκολα η φωτιά στο υλικό, οπότε και η θερμότητα λογικά. Αφού η φωτιά πάει σε μία ταχύτητα, όμως πιστεύω ότι η θερμότητα, επειδή δε γίνεται εξωτερικά πιστεύω θα πάει λίγο πιο αργά.

3A: Το πλαστικό πιστεύω ότι θα πάει γρήγορα, ε περίπου στην ταχύτητα του ξύλου.. με το ξύλο σχεδόν το ίδιο η θερμότητα.

0: Γιατί πιστεύεις ότι θα πάει γρήγορα στο πλαστικό;

3A: Μία φορά που είχα πιει από πλαστικό ποτηράκι, αυτά που είχανε και στα πάρτι, που μέσα είχα βάλει ποπ κορν και εκείνη τη στιγμή τα είχανε θγάλει τα ποπ κορν, ε, και το ποτηράκι ήταν ζεστό.

0: Άρα;

3A: Οπότε θεωρώ ότι θα μεταφερθεί γρήγορα.

0: Ο 3B τι λέει; Συμφωνείς με αυτό που λέει ο 3A;

3B: Πιστεύω ότι θα πάει στην ίδια ταχύτητα με το ξύλο περίπου, μπορεί και λίγο πιο αργά.

3A: Εγώ πιστεύω ότι μπορεί και λίγο πιο γρήγορα, για δευτερόλεπτα.

0: Γιατί λες πιο αργά 3B;

3B: Γιατί δεν έχω δει αν το πλαστικό παίρνει γρήγορα φωτιά ή ζεσταίνεται εύκολα. Δεν ξέρω.

2B: Πιστεύω πως θα πέσει πολύ λίγο πιο μετά από το ξύλο, γιατί το πλαστικό και αυτό είναι ένα υλικό που... γενικά τις περισσότερες φορές στο τζάκι μας λένε να αποφεύγουμε να βάζουμε κοντά πλαστικά.

0: Γιατί;

2A: Λιώνουν, άρα μεταφέρεται γρήγορα η θερμότητα.

1A: Εγώ λέω ότι θα πέσει γρήγορα. Πιστεύω γιατί το μέταλλο καίγεται πάρα πολύ γρήγορα, το έχω καταλάβει και από την κατσαρόλα. Καίγεται ολόκληρη.

0: Ζεσταίνεται εννοείς;

1A: Ε ναι.

1B: Βασικά και εγώ λέω ότι... τώρα άλλαξα γνώμη, γιατί στο αλουμίνιο, τώρα σκέφτηκα ότι καίγεται εύκολα το αλουμίνιο.

0: Παίρνει φωτιά εννοείς;

1B: Όχι εννοώ ότι ζεσταίνεται, καίει. Καίει όταν το πιάνεις. Σωστό ήταν και το παράδειγμα του 1A, π.χ. την κατσαρόλα άμα την πιάσεις μετά από κάτι δευτερόλεπτα θα καείς.

ii) Θα διαδοθεί με **αργό ρυθμό** σε κάποιο υλικό των ράβδων, διότι σύμφωνα με τις εμπειρίες τους το εν λόγω υλικό δε μπορεί να θερμανθεί με ευκολία.

2Γ: Τώρα που το σκέφτηκα νομίζω ότι στο αλουμίνιο θα μπορούσε να μην πέσει η πινέζα.

0: Καθόλου;

2Γ: Καθόλου, γιατί στο τζάκι που βάζουμε γύρω γύρω...

2B: Αλουμίνιο;

2Γ: Βάζουμε ένα μέταλλο.

0: Βάζουμε ένα προστατευτικό ναι.

2Γ: Ναι, οπότε μπορεί να... δεν ξέρω. Γιατί όταν το πιάνουμε και είναι αναμμένο το τζάκι δεν καίει. Και το πιάνουμε εύκολα.

2B: Γιατί το υλικό του είναι μέταλλο και το μέταλλο δε θερμαίνεται εύκολα.

(απάντηση μαθήτριας στο πεδίο πρόβλεψη του Φύλλου Εργασίας)

0: Θα πέσει γρήγορα στον χαλκό η πινέζα;

4Γ: Όχι.

0: Γιατί;

4Γ: Γιατί ο χαλκός χρησιμοποιείται στα καλώδια, που υπάρχει πολλή θερμότητα εκεί μέσα, και το ίδιο και στα αλεξικέραυνα.

0: Και τι σημαίνει αυτό, δηλαδή; Πώς το εννοείς;

4Γ: Ότι ζεσταίνεται αργά, δηλαδή ο κεραυνός μπορεί να κάψει... μπορεί να αρχίσει η φωτιά, ενώ αν πέσει πάνω στον χαλκό ο κεραυνός τότε δε θα γίνει τίποτα.

2Γ: Εγώ έχω την εντύπωση ότι θα πέσει, αλλά θα δυσκολευτεί, γιατί στο γυαλί όσο... άμα είναι μέσα... (δυσκολεύεται να το εκφράσει) π.χ. για να το περιγράψω, είχα φτιάξει κάποια στιγμή τσάι και όταν το έπιανα εκεί που ήταν το τσάι έκαιγε, πιο πάνω έκαιγε λιγότερο, οπότε εκεί που δε θα έχει νερό θα πάει, αλλά αργά.

3B: Εγώ πιστεύω ότι μπορεί ας πούμε εδώ πέρα να φτάσει (δείχνει το σημείο που είναι η πινέζα στη ράβδο). Προφανώς θα έχει ζεσταθεί πιο γρήγορα το

σημείο που θα είναι προς τα κάτω, γιατί θα περνάει όλη την ώρα από εκεί η θερμότητα. Πιστεύω θα φτάσει μέχρι πάνω πάνω (δείχνει την άκρη της ράβδου που θα είναι εκτός νερού), όμως εδώ πέρα επειδή θα περνάει όλη την ώρα η θερμότητα από εδώ (δείχνει το τμήμα της ράβδου που θα είναι εντός του νερού), για να φτάσει εδώ πάνω (δείχνει ξανά την άκρη της ράβδου που θα είναι εκτός νερού), θα είναι λιγότερο κρύο εδώ (δείχνει το τμήμα της ράβδου που θα είναι εκτός νερού).

Και όταν πίνω κάτι ας πούμε σε μία κούπα και δεν έχει νερό εδώ πάνω (δείχνει το πάνω μέρος της κούπας) και εδώ έχει νερό (δείχνει το κάτω μέρος της κούπας) καίει, όμως και εδώ καίει (δείχνει το πάνω μέρος) γιατί μεταφέρεται μέσα από το υλικό η θερμότητα.

1Α: Γιατί όταν ανάβουμε φωτιά στο τζάκι και βάζουμε ξύλα δεν καίγονται πολύ γρήγορα, αλλά καίγονται και εδώ σκέφτηκα ότι επειδή θα βάλουμε ζεστό νερό, που δεν είναι φωτιά είναι λίγο λιγότερο από τη φωτιά θα αργήσει αρκετά να πέσει.

1Β: Άλλαξα γνώμη, γιατί με βάση αυτό που είπε, στο ξύλο... δε βάζουμε φωτιά στο ξύλο και ανάβει, βάζουμε σε κάτι ειδικά πράγματα, οπότε και για να καεί όλο το ξύλο θέλει πάρα πολύ ώρα.

1Β: Ε για το πλαστικό πιστεύω ότι θα πέσει εντάξει.

Ο: Ναι, γιατί;

1Β: Μπορεί να ζεσταθεί σαν υλικό. Πιστεύω ότι γενικά το πλαστικό σαν υλικό μπορεί να πάρει θερμότητα... να μεταφέρει τη θερμότητα.

1Α: Εγώ λέω ότι θα αργήσει πιο πολύ από όλα και έχω ένα παράδειγμα για να το δικαιολογήσω.

Ο: Ναι.

1Α: Όταν πίνω πάρα πολύ ζεστό γάλα με καλαμάκι, το καλαμάκι δεν είναι ...δεν έχει πάρει τη θερμοκρασία του γάλατος σύντομα, αργεί αρκετά. Μεταφέρεται, αλλά αργά.

Ο: Για το πλαστικό τι πιστεύετε; Θα πέσει η πινέζα;

4Α: Όχι, το πλαστικό δε θερμαίνεται εύκολα.

4Γ: Γιατί είναι έτσι φτιαγμένο, ώστε να μην... είναι φτιαγμένο από το πετρέλαιο νομίζω για αυτό.

4Α: Ας πούμε αν πέσει αυτό εδώ το μπουκάλι.... (δείχνει το μπουκάλι να πέφτει προς τα κάτω)

4Β: Και είναι μέσα στον Ήλιο δε θα είναι ζεστό.

4Α: Ναι θα γίνει μόνο το νερό ζεστό.

4Β: Το νερό ναι.

4Α: Το έξω (δείχνει το πλαστικό περίβλημα) δε θα γίνει κάτι.

4Γ: Ναι.

Ο: Άρα στο πλαστικό θα πέσει η πινέζα πιο αργά ή δε θα πέσει;

4Γ: Πιο αργά.

4Α: Ναι.

β) Η μεταβλητή της μάζας αποτέλεσε το κριτήριο στο οποίο στηρίχθηκε μία μόνο μαθήτρια, προκειμένου να διατυπώσει την άποψη της αναφορικά με τον ρυθμό διάδοσης

της θερμότητας στα διαφορετικά υλικά. Η εν λόγω μαθήτρια ήταν **συνεπής ως προς αυτό το κριτήριο για το σύνολο των ράβδων**. Κατά την επαφή της με τα υλικά του πειράματος έτεινε να συγκρίνει τις μάζες των ράβδων και εξέφρασε την άποψη ότι σε υλικά μεγαλύτερης μάζας η θερμότητα διαδίδεται με πιο αργό ρυθμό, λόγω της πιο πυκνής τους σύστασης. Και σε αυτή την περίπτωση η μαθήτρια φάνηκε να συγχέει τις έννοιες τους βάρους και της πυκνότητας με αυτή της μάζας.

Ο: Εσύ 1Γ συμφωνείς με αυτά που λένε τα παιδιά καταρχάς;

1Γ: Δεν πολυσυμφωνώ! Νομίζω ότι θα αργήσει πιο πολύ να λιώσει.

Ο: Πού;

1Γ: Στον χαλκό.

Ο: Άρα σε ποιο θα είναι πιο γρήγορα;

1Γ: Στο αλουμίνιο.

Ο: Α εννοείς ότι μεταξύ των μετάλλων ότι θα είναι πιο γρήγορα στο αλουμίνιο;

1Γ: Ναι.

Ο: Γιατί; Τι είναι αυτό που σε κάνει να έχεις αυτή τη γνώμη;

1Γ: Νομίζω επειδή είναι και πιο... (κάνει παύση και σκέφτεται) δεν ξέρω άμα κολλάνε αυτές οι δύο έννοιες.

Ο: Δεν πειράζει πες τες.

1Γ: Αλλά νομίζω επειδή έχει μεγαλύτερη πυκνότητα;

Ο: Οκ, πώς το κατάλαβες αυτό;

1Γ: Να τα πιάσω λίγο πάλι;

Ο: Ναι (της δίνει τις ράβδους).

(πιάνει από μία ράβδο σε κάθε της χέρι)

Δώσε τα και στα παιδιά να μας πουν τη γνώμη τους.

(Ο 1Α και ο 1Β πιάνουν και αυτοί τις ράβδους)

1Β: Ναι ο χαλκός είναι λίγο πιο βαρύς.

1Α: Ναι αυτό προσπάθησα να δω τώρα.

1Γ: Ότι επειδή έχει ας το πούμε πιο πολύ υλικό, θα αργήσει πιο πολύ να λιώσει σε αυτό (δείχνει τη ράβδο από χαλκό).

.....
1Γ: Σε σχέση με τα μέταλλα, εγώ θα παραμείνω στη γνώμη που είπα πριν ότι επειδή ο χαλκός έχει πιο μεγάλη πυκνότητα από το αλουμίνιο και τώρα ο ορείχαλκος έχει πιο μεγάλη και από τα δύο μέταλλα ε νομίζω ότι θα πέσει... θα πέσει μετά.

Ο: Τελευταίο δηλαδή από τα μέταλλα;

1Γ: Ναι.

.....
1Γ: Το γυαλί νομίζω ότι θα πέσει πρώτο, από αυτά τα τρία (εννοεί τους κακούς αγωγούς). Νομίζω ότι επειδή είναι πιο ελαφρύ.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι μαθητές της πρώτης κατηγορίας δεν παρέμειναν συνεπείς ως προς το κριτήριο της ευκολίας ή της δυσκολίας με την οποία θερμαίνεται ένα υλικό, για το σύνολο των ράβδων. Σημαντικός αριθμός από αυτούς τους μαθητές (5/11) χρησιμοποίησε συνδυαστικά κριτήρια για μεμονωμένες ράβδους ή σύνολα ράβδων για

να υποστηρίξει τις απόψεις του αναφορικά με τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας σε αυτές. Συγκεκριμένα:

- Για κάποιους από αυτούς τους μαθητές **(3/5) η μεταβλητή της μάζας φάνηκε να αποτέλεσε ένα επιπλέον κριτήριο**, για να διατυπώσουν μία άποψη σχετικά με το ρυθμό διάδοσης της θερμότητας στις **μεταλλικές ράβδους**. Κατά την επαφή τους με τα υλικά του πειράματος παρατήρησαν τις διαφορές μεταξύ των μαζών των διαφορετικών ράβδων και με βάση αυτή τους την παρατήρηση έτειναν να υποστηρίζουν ότι οι ράβδοι με μεγαλύτερη μάζα είναι υλικά πιο πυκνά στη σύσταση τους, γεγονός που κατά τη γνώμη τους καθιστά τη διάδοση της θερμότητας πιο δύσκολη σε αυτά. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι εν λόγω μαθητές φάνηκε να συγχέουν τις έννοιες του βάρους και της πυκνότητας με αυτή της μάζας.

2Γ: Εμένα μου φαίνεται πιο... όχι ακριβώς πιο βαρύ, πιο... όχι πιο χοντρό.. να έχει μεγαλύτερη μάζα!

0: Και αυτό πιστεύεις ότι θα παίζει ρόλο;

2Γ: Θα δυσκολέψει τη θερμότητα.

0: Τι πιστεύετε ότι θα γίνει με τον ορείχαλκο;

(Ο 2Α σηκώνει με τα δύο του χέρια τις ράβδους από χαλκό και ορείχαλκο και κατόπιν κάνει το ίδιο και η 2Γ)

2Γ: Α αυτό είναι πιο βαρύ.

0: Ποιο;

2Γ: Ο χαλκός.

0: Τι πιστεύετε ότι θα γίνει με τον ορείχαλκο;

2Γ: Θα δυσκολευτεί, αλλά λίγο λιγότερο από τον χαλκό.

2Β: Ναι πιστεύω πως θα δυσκολευτεί λιγότερο από τον χαλκό.

2Α: Ναι.

0: Λόγω βάρους δηλαδή το αποδίδετε εκεί πάλι;

2Β: Εγώ στην αρχή είχα την εντύπωση πως στον χαλκό δε θα πέσει καθόλου.

2Γ: Και εγώ. Και έχω ακόμα μία τέτοια εντύπωση.

0: Έχει κάτι διαφορετικό; Πώς το εξηγείς όμως;

2Β: Είναι... είναι το βάρος που συνήθως αυτό είναι πιο πολύ από μέσα τι γίνεται το βάρος. Και το μέταλλο είναι πιο βαρύ.

2Α: Γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και δε θα μεταφερθεί τόσο γρήγορα η θερμότητα.

2Β: Δεν πιστεύω πως θα πέσει καθόλου, λόγω βάρους και πάχους.

(απαντήσεις μαθητών στο πεδίο Πρόβλεψη του Φύλλου Εργασίας)

- Για κάποιους από αυτούς τους μαθητές **(2/5) συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του υλικού του γυαλιού φάνηκε να αποτέλεσαν επιπλέον κριτήρια προκειμένου να εκφράσουν μία άποψη αναφορικά με τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας σε αυτή τη ράβδο**. Το γεγονός ότι το γυαλί είναι ένα εύθραυστο υλικό ή το ότι έχει κατασκευαστεί με χρήση θερμότητας φάνηκε να αποτελούν για αυτούς τους μαθητές παράγοντες που ευνοούν τη διάδοση της θερμότητας.

0: Στη γυάλινη ράβδο θα πέσει η πινέζα γρήγορα;

2B: Εγώ πιστεύω ναι, λόγω του υλικού.

0: Δηλαδή τι έχει το γυαλί σαν υλικό;

2B: Νομίζω είναι πιο εύκολο να μεταφερθεί, γιατί το γυαλί είναι και ένα υλικό που μπορεί... είναι πολύ εύθραυστο, οπότε νομίζω θα είναι και κάπως πιο εύκολο.

2A: Συμφωνώ και επειδή το γυαλί έχει φτιαχτεί και αυτό από θερμότητα, επειδή είχαμε θερμάνει την άμμο και έτσι δημιουργήθηκε.

0: Και για αυτό το λόγο επειδή φτιάχτηκε από θερμότητα, πιστεύεις ότι και γρήγορα μεταφέρεται σε αυτό;

2A: Ναι.

- Ένας από αυτούς τους μαθητές θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί πιο γρήγορα στη ράβδο από χαλκό, με κριτήριο τη χρήση αυτού του υλικού σε εφαρμογές του ηλεκτρισμού στην καθημερινότητα. Ο εν λόγω μαθητής φάνηκε να συσχετίζει τη θερμότητα με τον ηλεκτρισμό και να θεωρεί ότι υλικά που θεωρούνται ηλεκτρικοί αγωγοί είναι και καλοί αγωγοί της θερμότητας.

0: Τι θα συμβεί στον χαλκό; Εκεί θα μεταφερθεί γρήγορα;

1A: Επίσης θα μεταφερθεί γρήγορα. Και επίσης θέλω να πω και για αυτό ένα παράδειγμα.

0: Ναι.

1A: Πολύ πιο λεπτό από αυτό το βάζουν μέσα στα καλώδια και πλαστικό και μεταφέρει το ρεύμα, πιστεύω είναι παρόμοια κατάσταση.

0: Ναι ο χαλκός χρησιμοποιείται στα καλώδια. Γιατί είπες αυτό το παράδειγμα;

1A: Πιστεύω ότι ο ηλεκτρισμός αυτή τη σχέση την έχει με τη θερμότητα. Νομίζω πάει λίγο πιο γρήγορα από τη θερμότητα, αλλά νομίζω έχει μία σχέση.

- Τέλος, ένας από αυτούς τους μαθητές εξέφρασε την άποψη ότι η θερμότητα θα διαδοθεί γρήγορα στη ράβδο από ορείχαλκο, διότι το υλικό αυτό δε μπορεί να σκουριάσει τόσο εύκολα όσο άλλα μέταλλα. Το γεγονός αυτό θεώρησε ότι καθιστά ευκολότερη τη διάδοση της θερμότητας σε αυτό το υλικό. Ο συγκεκριμένος μαθητής φάνηκε να εστιάζει σε παρατηρήσιμες ιδιότητες του εν λόγω υλικού, προκειμένου να εκφράσει την άποψη του αναφορικά με τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας.

0: Ωραία με τον ορείχαλκο τι θα γίνει; Θα πέσει γρήγορα η πινέζα στον ορείχαλκο;

4A: Ναι.

4Γ: Εεε... (σκύβει μπροστά, έρχεται πολύ κοντά στη ράβδο από ορείχαλκο που είναι τοποθετημένη μέσα στην άδεια κούπα και την παρατηρεί πολύ καλά) μπορώ να την ακουμπήσω λίγο να δω;

0: Ναι.

(ακουμπά τη ράβδο και χτυπά με το νύχι του το υλικό)

Πιάσε το, πάρε το από το ποτήρι, απλά μην κουνήσεις την πινέζα.

4Γ: (πιάνει τη ράβδο στα χέρια του και χτυπά πάλι το υλικό με το νύχι του και απευθύνεται στους συμμαθητές του) Θέλετε να τη δείτε και εσείς;

4B: Όχι εντάξει.

Ο: Την πιάνεις για το βάρος; Τι θέλεις να δεις;

4Γ: Όχι για το βάρος, περισσότερο, για το υλικό.

Ο: Τι έχει το υλικό;

4Γ: Πιστεύω ότι στην οξείδωση είναι διαφορετικό. Ότι ο χαλκός οξειδώνεται πιο γρήγορα από τον ορείχαλκο.

Ο: Τι εννοείς οξειδώνεται;

4Γ: Εννοώ ότι βγάζει σκουριά. Όχι βγάζει σκουριά, πρασινίζει, γιατί η οξείδωση αυτό είναι.

Ο: Ωραία και αυτό παίζει ρόλο στο πόσο θα μεταφερθεί η θερμότητα;

4Γ: Μία παρενέργεια που έχει το να μην έχει οξείδωση είναι ότι θερμαίνεται νομίζω λίγο πιο γρήγορα, αλλά δεν ξέρω.

Ο: Ποιο;

4Γ: Ο ορείχαλκος.

Ο: Επειδή δεν οξειδώνεται; Δε σκουριάζει;

4Γ: Όχι δεν οξειδώνεται, λόγω η αλλαγή στο υλικό που κάνει να είναι πιο αργή η οξείδωση, το κάνει να είναι και πιο γρήγορη η μετάδοση της θερμότητας.

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κριτήρια που χρησιμοποίησαν οι μαθητές για να εκτιμήσουν τον ρυθμό με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα στις διαφορετικές ράβδους του 3^{ου} Πειράματος.

Πίνακας 4.5. Με ποια κριτήρια εκτίμησαν οι μαθητές τον ρυθμό με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα στις διαφορετικές ράβδους;

Κριτήριο	Ράβδος / Αριθμός μαθητών
Ευκολία ή δυσκολία με την οποία θερμαίνεται το υλικό	Για το σύνολο των ράβδων από 11 μαθητές
Μάζα υλικού	Για το σύνολο των ράβδων από 1 μαθήτρια
	Συνδυαστικό κριτήριο για τις μεταλλικές ράβδους από 3 μαθητές
Χαρακτηριστικά ή ιδιότητες του υλικού	Συνδυαστικό κριτήριο για τις ράβδους από γυαλί και ορείχαλκο από 3 μαθητές
Συσχέτιση με τον ηλεκτρισμό	Συνδυαστικό κριτήριο για τη ράβδο από χαλκό από 1 μαθητή

Στη συνέχεια οι μαθητές κλήθηκαν να συγκρίνουν τον ρυθμό με τον οποίο πιστεύουν ότι θα διαδοθεί η θερμότητα μεταξύ όλων των ράβδων που τους παρουσιάστηκαν. **Η πλειοψηφία των μαθητών (8/12) θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί πολύ πιο γρήγορα στα μέταλλα και έπειτα στα υπόλοιπα υλικά (γυαλί, ξύλο, πλαστικό), διότι μπορούν και θερμαίνονται πιο εύκολα.** Οι εν λόγω μαθητές στο αρχικό ερώτημα του 1^{ου} βήματος είχαν εκτιμήσει τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας σε κάθε ράβδο με κριτήριο την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία μπορεί να θερμανθεί ένα υλικό. Αν και είχαν θεωρήσει ότι σε όλα τα υλικά του πειράματος η θερμότητα θα διαδοθεί, διότι είναι υλικά που θερμαίνονται, όταν κλήθηκαν να συγκρίνουν τους ρυθμούς διάδοσής μεταξύ των υλικών θεώρησαν ότι στα μέταλλα ο ρυθμός διάδοσης θα είναι σημαντικά μεγαλύτερος.

1B: Εγώ λέω πρώτα στα μέταλλα.

0: Έπειτα;

1B: Μετά λέω στο... τελευταίο το πλαστικό και είμαι ανάμεσα στο ξύλο με το γυαλί.

1A: Εγώ λέω πρώτα τα τρία μέταλλα που είπε και ο 1B, μετά γυαλί, μετά ξύλο και μετά πλαστικό.

3A: Εγώ πιστεύω ότι αυτά (δείχνει τη ράβδο αλουμινίου και εννοεί τα μέταλλα) το αλουμίνιο, ο χαλκός και ο ορείχαλκος θα πέσουν ακριβώς την ίδια στιγμή.

3Γ: Κι εγώ.

3B: Ναι, μετά πιστεύω θα πέσει το πλαστικό.

3A: Μετά πιστεύω θα πέσει το γυαλί.

3B: Αυτό εννοώ ναι γυαλί, μπερδεύτηκα.

3A: Και μετά ή την ίδια στιγμή θα πέσει το ξύλο με το πλαστικό ή θα πέσει λίγο πιο γρήγορα το πλαστικό.

3B: Εγώ πιστεύω θα πέσουν την ίδια στιγμή αυτά τα τρία (δείχνει τα μέταλλα), γιατί είναι το ίδιο υλικό. Περίπου ταυτόχρονα, μετά θα πέσει το γυαλί, μετά το ξύλο και το πλαστικό περίπου την ίδια στιγμή ή λίγο πιο γρήγορα το ξύλο.

Κάποιοι από αυτούς τους μαθητές (5/8) θεώρησαν ότι η θερμότητα θα διαδοθεί ταυτόχρονα στις μεταλλικές ράβδους, διότι υποστήριξαν την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται το ίδιο γρήγορα σε όλα τα μέταλλα, διότι αποτελούνται από το ίδιο υλικό.

0: Για τον ορείχαλκο τι λέτε;

1B: Εγώ λέω ότι θα πέσει μαζί με το αλουμίνιο και τον χαλκό, γιατί είναι το ίδιο υλικό.

0: Εσύ 1A;

1A: Ίδια γνώμη, γιατί είναι το ίδιο υλικό με πριν.

4A: Ναι. Εγώ νομίζω πως ο ορείχαλκος, ο χαλκός και το αλουμίνιο θα πέσουν περίπου στην ίδια ώρα.

4B: Ναι και εγώ αυτό πιστεύω.

0: Γιατί;

4A: Γιατί είναι σαν το ίδιο υλικό.

4B: Είναι περίπου ίδια υλικά. Δεν έχουν μεγάλη διαφορά.

Οι υπόλοιποι από αυτούς τους μαθητές (3/8) θεώρησαν ότι η διαφορά στην ταχύτητα διάδοσης μεταξύ των μετάλλων θα είναι μικρή (της τάξης των δευτερολέπτων).

4A: Εγώ νομίζω η σειρά που θα πέσει θα είναι αλουμίνιο πρώτα, μετά ορείχαλκος, χαλκός, γυαλί, ξύλο και πλαστικό.

4B: Ναι και εγώ αυτό λέω.

4Γ: Συμφωνώ.

0: Και μεταξύ τους τα μέταλλα τι διαφορά θα έχουν αν κάνατε μία εκτίμηση;

4Γ: Ε ο ορείχαλκος θα πέσει λίγο πιο γρήγορα από τον χαλκό, αλλά λίγο πιο αργά από το αλουμίνιο.

0: Εσύ 4B τι λες;

4B: Ε με διαφορά μισό λεπτό; Ένα;
4A: Όχι νομίζω δέκα δευτερόλεπτα το ένα.
0: Δέκα δευτερόλεπτα το καθένα;
4A: Ναι.

Σημαντικός αριθμός μαθητών (4/12) θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί πιο γρήγορα στο ξύλο, το πλαστικό και το γυαλί και έπειτα στα μέταλλα με πολύ πιο αργό ρυθμό. Οι εν λόγω μαθητές στο αρχικό ερώτημα αυτού του βήματος, είτε είχαν εκτιμήσει τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας στα διάφορα υλικά αποκλειστικά με το κριτήριο της μάζας των υλικών (1 μαθήτρια), είτε είχαν χρησιμοποιήσει το προαναφερθέν κριτήριο για το σύνολο των μεταλλικών ράβδων συγκριτικά με τις ράβδους από ξύλο, πλαστικό και γυαλί συνδυαστικά με το κριτήριο της ευκολίας ή της δυσκολίας με την οποία μπορούν να θερμανθούν οι ράβδοι (3 μαθητές).

0: Σε ποιο πιστεύετε ότι θα μεταφερθεί πιο γρήγορα η θερμότητα;
2B: Στο ξύλο.
0: Μετά;
2B: Στο πλαστικό, στο γυαλί και μετά τα μέταλλα, νομίζω πως θα είναι πρώτα το αλουμίνιο.
0: Ωραία, εσύ 2Γ;
2Γ: Εγώ πρώτα στο ξύλο, μετά στο γυαλί, μετά το πλαστικό, μετά το αλουμίνιο, ορείχαλκος και χαλκός.
2A: Εγώ είμαι ανάμεσα σε δύο, στο ξύλο ή στο πλαστικό και μετά είναι το γυαλί για εμένα.
0: Οκ, και μετά;
2A: Μετά δεν ξέρω. Ανάμεσα στο αλουμίνιο, στον χαλκό και στον ορείχαλκο.

2^ο Βήμα: Παρατήρηση του διαφορετικού ρυθμού διάδοσης της θερμότητας στα διάφορα υλικά σώματα. Πώς εξηγούν οι μαθητές το εν λόγω φαινόμενο;

Η πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος φάνηκε να αποτέλεσε κομβικό σημείο αυτού του βήματος της ακολουθίας, καθώς οι μαθητές μέσα από την πραγματοποίησή του φάνηκε να μπορούν να αντιμετωπίσουν τις εννοιολογικές δυσκολίες που εκφράστηκαν στο προηγούμενο βήμα, οι οποίες αφορούσαν στα κριτήρια με τα οποία εκτίμησαν τη διάδοση της θερμότητας σε κάθε ράβδο.

Όσοι από τους μαθητές είχαν εκφράσει την άποψη ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με γρήγορο ρυθμό στις ράβδους από γυαλί, ξύλο και πλαστικό, διότι είναι υλικά που θερμαίνονται εύκολα, ήρθαν σε σύγκρουση με αυτή τους την άποψη, καθώς παρατήρησαν ότι η θερμότητα δε διαδίδεται με ευκολία σε αυτές τις ράβδους.

2B: Ωχ!
(Η 2Γ παρατηρεί ότι ξεκόλλησε η πινέζα στη ράβδο χαλκού και ξαφνιάζεται και μένει ακίνητη)
2A: Χαλκός!

2Γ: Πωπω αυτό που δεν περιμέναμε (γελάει)! (παρακολουθεί και μονολογεί) Σε φάση τώρα το ξύλο πέφτει τελευταίο;

2Α: Τελικά αυτά που δεν περιμέναμε.. Λογικά το ξύλο θα φτάσει τελευταίο...

2Β: Τα τρία που νομίζαμε πως θα πέσουν πρώτα...

2Γ: Είναι τα τρία τελευταία!

Όσοι από τους μαθητές είχαν θεωρήσει ότι η θερμότητα θα διαδοθεί ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα στις μεταλλικές ράβδους ήρθαν σε σύγκρουση με την προηγούμενή τους άποψη, καθώς παρατήρησαν αποκλίσεις στις χρονικές στιγμές στις οποίες ξεκόλλησε η πινέζα σε κάθε ράβδο.

0: Τι περιμένουμε να γίνει;

1Β: Να πέσει μία πινέζα.

0: Ναι σε ποιο;

1Α: Στα μέταλλα.

(μετά από λίγο)

1Α: Ναι, γύρισε.

1Β: Ναι όντως.

1Γ: Ποιο έπεσε;

1Β: Έπεσε πρώτα ο χαλκός.

(Ο 1Α και ο 1Β κοιτάζουν σχεδόν αποκλειστικά το αλουμίνιο και τον ορείχαλκο)

1Β: Και σε αυτό και σε αυτό (δείχνει το αλουμίνιο). Έπεσε και στο αλουμίνιο.

1Γ: (σημειώνει τη σειρά στο φύλλο εργασίας) Πρώτα ο χαλκός σωστά;

1Α: Ναι ναι και μετά το αλουμίνιο.

1Β: Ναι, μετά το αλουμίνιο και τώρα θα πέσει ο ορείχαλκος.

1Α: Ο ορείχαλκος ναι.

(Ο 1Α και ο 1Β κοιτούν αποκλειστικά τον ορείχαλκο)

1Γ: Νομίζω το γυαλί.

1Β: Εγώ λέω σίγουρα ο ορείχαλκος.

1Α: Σίγουρα ο ορείχαλκος ναι.

1Β: Δε γίνεται αλλιώς.

1Γ: Ναι όντως κάπως ξεκολλά. (έχει σκύψει ακριβώς πάνω από τη ράβδο ορείχαλκου και παρατηρεί το κερί στην πινέζα)

0: Γιατί δε γίνεται αλλιώς;

1Β: Γιατί ο ορείχαλκος είναι το πιο... μεταφέρεται πιο γρήγορα από όλα τα άλλα υλικά.

Μετά την παρατήρηση της πτώσης της πινέζας στη ράβδο από ορείχαλκο, οι μαθητές στο σύνολό τους ανέμεναν ότι οι πινέζες θα ξεκολλήσουν και από τις υπόλοιπες ράβδους μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Ωστόσο, ήρθαν σε σύγκρουση με αυτή τους την άποψη όταν παρατήρησαν ότι μετά από αρκετό χρόνο οι πινέζες δεν ξεκολλούν γρήγορα σε αυτές τις ράβδους.

1Γ: Τώρα νομίζω το πλαστικό.

1Α: Εγώ γυαλί.

1B: Και εγώ αυτό είχα πει.

0: Σε πόση ώρα πιστεύετε; Είμαστε στα 2 λεπτά και 14 δευτερόλεπτα.

1A: 20-30 δευτερόλεπτα.

1B: Σε 10 κάτι λέω εγώ, με 20 (δευτερόλεπτα).

.....
0: Τώρα είμαστε στα 4 λεπτά και 10 δευτερόλεπτα.

1B: (γελάει και έρχεται να δει το χρονόμετρο) Έχουν περάσει 3 λεπτά κιόλας;

1A: Άμα πάει έτσι ένα λεπτό.

0: Να περιμένουμε κι άλλο;

1A: Ναι!

(Η 1Γ έχει πλησιάσει και ελέγχει από πολύ κοντά το κερί στην πλαστική ράβδο)

1B: Σίγουρα θα πέσουν εντάξει!

0: Πόσο να περιμένουμε;

1A: Δεν ξέρω 1-2 λεπτά ακόμα.

3A: Παίζει να μην πέσουνε αυτά!

0: Γιατί;

3A: Μπορεί κάτι με το υλικό, αλλά...

3Γ: Όχι, όχι θα πέσει σίγουρα!

0: Είμαστε στα 5 (λεπτά) και 20 (δευτερόλεπτα).

4B: Ναι, απλώς όσο περνά η ώρα το νερό κρυώνει, οπότε δεν είναι το ίδιο. Μπορεί να συμβεί κάτι, απλώς όσο περνά η ώρα δε ζεσταίνεται πιο πολύ, οπότε μπορεί να μείνει και ίδιο. Εγώ αυτό πιστεύω.

Αξίζει να αναφερθεί ότι σε αυτό το βήμα της ακολουθίας, **στο σύνολο των μαθητών, διαπιστώθηκαν δυσκολίες στην παρατήρηση πιθανής μετακίνησης της πινέζας στη γυάλινη ράβδο.** Το γεγονός ότι η εν λόγω ράβδος είναι πολύ λεπτή και διάφανη, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι μαθητές ακουμπούσαν το θρανίο πάνω στο οποίο ήταν τοποθετημένα τα υλικά του πειράματος και συνεπώς τα κουνούσαν ελαφρά, φάνηκε να τους δημιουργεί την εντύπωση ότι η πινέζα έχει μετακινηθεί σε αυτή τη ράβδο.

4A: Το γυαλί νομίζω πως θα πέσει.

4Γ: Ναι το γυαλί θα πέσει.

4A: Ναι νόμιζα ότι είχε κουνηθεί λίγο, αλλά δεν είχε.

0: Στα πόσα λεπτά είμαστε συνολικά;

4A: Εεε... 3 και 5.

0: Σε πόση ώρα πιστεύετε ότι θα πέσει στο γυαλί;

4A: Στα 4 λεπτά.

4B: Α! Κουνήθηκε, το γυαλί κουνήθηκε.

(δείχνει τη γυάλινη ράβδο και εστιάζουν και παρατηρούν όλοι την εν λόγω ράβδο)

0: Η πινέζα;

4B: Ναι. Μπορεί και να κουνήθηκε και το τραπέζι όμως.

4Γ: Το τραπέζι δεν κουνήθηκε.

4B: Την είδα που πήγε λίγο πιο κάτω.

0: Οι υπόλοιποι τι λέτε για αυτό;

4Γ: Το γυαλί είναι πιο κάτω από το πλαστικό.

0: Πιο κάτω; Πιστεύεις ότι έχει κουνηθεί η πινέζα;

4Γ: Ναι.

0: Το ξύλο;

4Α: Δεν έχει κουνηθεί. (σκύβει ακριβώς μπροστά από την ξύλινη ράβδο και παρατηρεί την πινέζα)

4Γ: Ούτε το πλαστικό.

1Γ: (δείχνει τη ράβδο από γυαλί) Α αυτό κουνιέται (πλησιάζει και παρατηρεί καλύτερα και ακουμπά με το χέρι της το θρανίο). Όχι.

1Α: Όχι καθόλου.

1Β: Κουνιέται, κουνιέται! Το είδα! Έκανε ένα... κουνήθηκε λίγο έτσι (δείχνει με το χέρι του δεξιά αριστερά) και ξανάμεινε έτσι.

0: Η πινέζα;

1Β: Ναι!

(έχουν σκύψει και οι 3 πάνω από τη γυάλινη ράβδο και την εξετάζουν με προσοχή)

1Α: Δεν πιστεύω. Δεν κουνήθηκε καθόλου.

0: Μήπως κουνήθηκε η ράβδος από το θρανίο;

1Β: Να να κουνήθηκε ξανά. Οπότε ναι από το θρανίο.

1Α: Ναι από το θρανίο ήταν και κουνιέται όλο το γυαλί.

1Β: Τα άλλα τα βλέπω στάσιμα (δείχνει τις ράβδους από ξύλο και πλαστικό).

0: Στο γυαλί δηλαδή πιστεύεις ότι μπορεί να έχει κουνηθεί λίγο;

1Β: Λίγο, όχι πολύ.

1Α: Εγώ δεν το πιστεύω (πλησιάζει και ελέγχει τη ράβδο από γυαλί).

2Β: Κουνιέται το γυαλί.

2Α: Ναι το γυαλί θα είναι και μετά το πλαστικό.

0: Πού κουνιέται; Είδατε να κουνήθηκε;

2Β: Ναι ναι πριν.

2Γ: Όντως φαίνεται στο γυαλί να πέφτει, δεν είμαι σίγουρη. Ωχ!

2Β: Ναι.

2Γ: Να το πατήσω;

2Α: Ας πέσει λίγο ακόμα πρώτα.

(μετά από λίγο και ενώ συνεχίζουν την παρατήρηση)

2Β: Αλλά το γυαλί φαίνεται να κουνιέται.

Για να αντιμετωπιστεί αυτό το εμπόδιο κρίθηκε απαραίτητη σχετική παρέμβαση, κατά την οποία οι μαθητές κλήθηκαν να προτείνουν τρόπους με τους οποίους μπορούν να ελέγξουν το κατά πόσο έχουν μετακινηθεί οι πινέζες στις ράβδους από γυαλί, ξύλο και πλαστικό. Στο σύνολό τους οι μαθητές πρότειναν τη μέτρηση της απόστασης της πινέζας από το άκρο της ράβδου, προκειμένου να διαπιστωθεί πιθανή μετακίνησή της.

2Γ: Μπορούμε να δούμε άμα πέσανε καθόλου. Μπορούμε πάλι ναβάλουμε τον χάρακα και να τα μετρήσουμε.

0: Ναι να το κάνουμε. Πολύ ωραία ιδέα! Λέει η Βασιλική για να δούμε αν κουνήθηκε καθόλου η πινέζα στο γυαλί να πάρουμε τον χάρακα και να μετρήσουμε αν όντως έχει κουνηθεί από τα 14 εκ.

(βγάζει τη ράβδο από γυαλί και με τη βοήθεια του χάρακα μετρά και τους δείχνει την απόσταση της πινέζας από το ίδιο άκρο που είχαν μετρήσει και πριν)

2Γ: Δεν κουνήθηκε!

2Α & 2Β: Όχι.

0: Υπάρχει κάποιος τρόπος να δούμε εάν έχει κουνηθεί η πινέζα;

3Α: Ναι.

0: Τι να κάνουμε;

3Α: Να βγάλουμε έξω τις ράβδους και να δούμε στον χάρακα, άμα είναι στα 14 εκ. η πινέζα.

1Β: Θα μπορούσαμε και για να δούμε αν έχει κουνηθεί έστω και πάρα πολύ λίγο, να τα βγάλουμε και να μετρήσουμε με τον χάρακα, αν έχει κουνηθεί λίγα εκατοστά πιο κάτω.

0: Μπράβο, γιατί στα πόσα εκατοστά έχουμε βάλει τις πινέζες;

1Β: 14. Άμα δηλαδή είναι στο 13 – 13 μισό, θα έχει κουνηθεί. Ή θα μπορούσαμε να κάνουμε και κάτι άλλο...

0: Τι;

1Β: Να τα βάλουμε αυτά (δείχνει τις ράβδους από γυαλί, ξύλο και πλαστικό) ακριβώς δίπλα δίπλα, για να δούμε αν έχει κουνηθεί σε λίγο πιο γρήγορα σε κάποιο.

Στη συνέχεια, **οι μαθητές κλήθηκαν να σειροθετήσουν τα υλικά ως προς τον ρυθμό με τον οποίο παρατήρησαν να διαδίδεται η θερμότητα σε αυτά, κατά φθίνουσα σειρά.** Στο σύνολό τους οι μαθητές τοποθέτησαν πρώτα τον χαλκό, μετά το αλουμίνιο και έπειτα τον ορείχαλκο, ενώ τα υπόλοιπα υλικά (γυαλί, ξύλο, πλαστικό) θεώρησαν ότι μπορούν να τοποθετηθούν με οποιαδήποτε σειρά. Η μη δυνατότητα σειροθέτησης των κακών αγωγών είναι αναμενόμενη σε αυτό το βήμα της ακολουθίας, λόγω του σχετικού χρονικού περιορισμού του συγκεκριμένου πειράματος.

0: Όχι από όλα σε ποια μεταφέρεται γρήγορα η θερμότητα από αυτά υλικά; Να τα βάλουμε σε μία σειρά.

(απαντούν όλοι στον χαλκό)

0: Στον χαλκό, άρα βάζω εδώ πρώτα τον χαλκό (τοποθετεί πρώτη την εν λόγω ράβδο).

Αμέσως μετά;

(απαντούν όλοι στο αλουμίνιο)

Αλουμίνιο.. (τοποθετεί δίπλα από τον χαλκό και τη ράβδου αλουμινίου)

Μετά;

2Α: Ορείχαλκος.

2Γ: Και μετά αυτά τα τρία με όποια να 'ναι σειρά (δείχνει τις ράβδους από γυαλί, ξύλο και πλαστικό).

Αναφορικά με την εξήγηση του διαφορετικού ρυθμού διάδοσης της θερμότητας στα διάφορα υλικά, οι μαθητές στο σύνολό τους την απέδωσαν στη σύσταση του κάθε υλικού. Συγκεκριμένα, εξέφρασαν την άποψη ότι κάποια υλικά είναι φτιαγμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να μεταφέρεται σε αυτά η θερμότητα με μεγαλύτερη ευκολία.

0: Τι πιστεύετε για ποιο λόγο στα μέταλλα μεταφέρθηκε πολύ πιο γρήγορα η θερμότητα; Πώς θα το εξηγούσατε;

1B: Είναι ανάλογα το υλικό που έχουν φτιαχτεί.

0: Τι διαφορετικό δηλαδή έχουν τα μέταλλα που πιστεύεις ότι κάνουν τη θερμότητα να μεταφερθεί πιο γρήγορα;

1B: Θα έλεγα ότι αυτά τα υλικά αντέχουν περισσότερο τη θερμοκρασία... τη θερμότητα (δείχνει τις ράβδους από ξύλο, πλαστικό και γυαλί), δηλαδή δε λιώνουν όσο... όχι δε λιώνουν... εννοώ ότι πιο γρήγορα θα μεταφερθεί η θερμότητα σε αυτά (δείχνει τα μέταλλα), γιατί πιο... (δεν μπορεί να το εκφράσει) Και στα άλλα τελικά (δείχνει ξύλο, πλαστικό, γυαλί) μεταφέρεται ανάλογα με... το υλικό τους είναι φτιαγμένο για να μεταφέρεται πιο αργά και σε αυτά πιο γρήγορα.

.....
1A: Τα μέταλλα πιστεύω ότι... Α! μου ήρθε μία ιδέα τώρα μπορεί γιατί είναι πιο κοντά στον πυρήνα, δηλαδή θαμμένα, στον πυρήνα της Γης. Δεν είμαι καθόλου σίγουρος για αυτό όμως. Μπορεί ανάλογα με το πόσο βαθιά είναι τα μέταλλα σχετικά, γιατί αυτά τα παίρνουν από ορυχεία, δεν πιστεύω ότι τα φτιάχνει ο άνθρωπος, αλλά τα παίρνει από τη Γη, μπορεί αυτό να έχει μία σχέση.

1B: Ναι γιατί αυτά τα φτιάχνει ο άνθρωπος (δείχνει το ξύλο, γυαλί, πλαστικό) με δικά του υλικά, ενώ αυτά (δείχνει τα μέταλλα) τα έχει φτιάξει η Γη, οπότε μπορεί.

0: Πώς το εξηγείτε ότι η θερμότητα μεταφέρθηκε πιο γρήγορα στα μέταλλα;

2A: Λόγω αυτό που έχει μέσα τους.

0: Δηλαδή;

2A: Πάει πιο γρήγορα σε αυτά, γιατί έχει κάτι το υλικό.

2Γ: Είναι λόγω του υλικού, είναι μέταλλα, απλά! Αυτά δεν παθαίνουν κάτι (εννοεί στους κακούς αγωγούς)

0: Και τι συμβαίνει στα μέταλλα δηλαδή;

2Γ: Αα μεταφέρεται η θερμότητα μέσα τους, στα υπόλοιπα δε μεταφέρεται.

2A: Μπορεί και επειδή είναι ορυκτά.

4B: Είναι στο υλικό, δεν είναι και τόσο δυνατά υλικά (εννοεί το γυαλί, το ξύλο και το πλαστικό), οπότε η θερμότητα δεν περνάει το ίδιο εύκολα.

3B: Γιατί μπορεί απλά στα άλλα (εννοεί γυαλί, ξύλο και πλαστικό) να μην περνούσε πολύ εύκολα η θερμότητα και να μπορούσε μέχρι εκεί που ήταν το νερό και μετά να μη μπορούσε.

Αξίζει να αναφερθεί ότι **αν και στον αρχικό σχεδιασμό του εν λόγω ΔΠ, δεν είχε ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι οι μαθητές πιθανά να διαφοροποιούσαν τον ρυθμό διάδοσης της θερμότητας στις διαφορετικές ράβδους, με κριτήριο τη μάζα των υλικών, τα υλικά του πειράματος φάνηκε να μπορούν να αξιοποιηθούν σε αυτό το βήμα, ώστε οι μαθητές να διαπιστώσουν ότι η διάδοση της θερμότητας δεν επηρεάζεται από τη μεταβλητή της**

μάζας. Στο σημείο αυτό αξιοποιήθηκε το γεγονός ότι οι μεταλλικές ράβδοι έχουν μεγαλύτερη μάζα συγκριτικά με αυτές από ξύλο, πλαστικό και γυαλί, αλλά και το γεγονός ότι μεταξύ των μεταλλικών ράβδων παρατηρούνται διαφορές στη μάζα. Έτσι, μετά από σχετική παρέμβαση οι μαθητές κλήθηκαν να διαπιστώσουν εάν η θερμότητα διαδόθηκε με μεγαλύτερη ευκολία ή όχι στα υλικά μικρότερης μάζας, όπως είχαν εκτιμήσει αρχικά.

0: Η 1Γ είχε ειπεί πριν ότι στη ράβδο από χαλκό που είναι πιο βαρύ υλικό, ότι θα μεταφερθεί πολύ αργά, ενώ τι είδαμε για αυτό;

1Α: Το αντίθετο έγινε.

1Β: Μεταφέρθηκε πρώτο.

0: Και αυτό που είναι ελαφρύ (τους δείχνει το αλουμίνιο) ήταν μετά. Και αυτό (τους δείχνει τον ορείχαλκο);

1Β: Ποιο είναι πιο βαρύ; Αυτό ή αυτό; (δείχνει τις ράβδους από αλουμίνιο και ορείχαλκο)

0: Πιο βαρύ και από όλα είναι ο χαλκός, μετά ο ορείχαλκος και μετά το αλουμίνιο. Παίζει ρόλο το βάρος τι λέτε;

1Α: Μάλλον πιστεύω όχι δε θα παίζει ρόλο.

1Β: Και εγώ πιστεύω όχι, γιατί άμα ήταν σε σχέση με την πυκνότητα, όσο πιο.. όσο περισσότερη πυκνότητα έχει τότε κανονικά θα έπρεπε να πέσει ο ορείχαλκος δεύτερος και μετά το αλουμίνιο. Και σε αυτά που ήταν πιο ελαφριά (δείχνει τις ράβδους από ξύλο, πλαστικό, γυαλί) θα έπρεπε να πέσει πρώτα.

3^ο Βήμα: Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγουν οι μαθητές αναφορικά με τον τρόπο διάδοσης της θερμότητας στα διάφορα υλικά σώματα; Ποια σώματα θεωρούν καλούς και κακούς αγωγούς της θερμότητας;

Σε αυτό το βήμα της ακολουθίας οι μαθητές κλήθηκαν να διατυπώσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν αναφορικά με το ποια σώματα θεωρούν καλούς και κακούς αγωγούς της θερμότητας.

Στο σύνολό τους εξέφρασαν την άποψη ότι **καλοί αγωγοί είναι υλικά στα οποία η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί με γρήγορο ρυθμό.** Οι μαθητές φάνηκε να αντιλαμβάνονται ότι κριτήριο για να χαρακτηριστεί ένα υλικό σώμα ως καλός αγωγός είναι το αν μπορεί να διαδοθεί σε αυτό το υλικό η θερμότητα ή όχι.

0: Ποια υλικά θα λέγατε καλούς αγωγούς της θερμότητας;

1Β: Τον χαλκό, το αλουμίνιο και τον ορείχαλκο.

0: Δηλαδή, τι συμβαίνει με αυτά τα υλικά που είναι καλοί αγωγοί;

1Γ: Μεταφέρουν πιο γρήγορα τη θερμότητα

1Β: Γρήγορα.

1Γ: Πολύ πιο γρήγορα.

1Α: Ναι πάει πολύ πιο γρήγορα, πιστεύω τα μέταλλα είναι τέτοια υλικά.

1Β: Εγώ θα έλεγα σε αυτά π.χ. όπως τα μέταλλα κρατάνε και μέσα τη θερμότητα, γιατί αυτά (δείχνει γυαλί, ξύλο, πλαστικό) τα βγάλαμε έξω, τα πιάσαμε και ούτε καν που έκαιγαν, τα ακουμπάγαμε για πολλή ώρα και δεν έκαιγαν καθόλου. Εδώ (δείχνει τα μέταλλα και το τονίζει) έκαιγαν! Έβραζαν! Αυτά κρατάνε τη θερμότητα.

0: Την κρατάνε σε ένα σημείο;

1Γ: Όχι τη μεταφέρουν.

1Β: Όχι γενικά και μεταφέρεται, την παίρνει και τη μεταφέρει μέσα στο υλικό, ενώ στα άλλα όχι.

0: Ποια υλικά είναι καλοί αγωγοί τι θα λέγατε;

3Β: Ο χαλκός, το αλουμίνιο και ο ορείχαλκος.

3Α: Αυτά που πηγαίνει η θερμότητα πιο γρήγορα από κάποια άλλα.

0: Ποια υλικά θα χαρακτηρίζατε καλούς αγωγούς;

2Γ: Μα γίνεται το ίδιο με τον ηλεκτρισμό.

0: Δηλαδή;

2Γ: Στα μέταλλα είναι αγωγοί στον ηλεκτρισμό και μπορεί να μεταφερθεί μέσα η θερμότητα γρήγορα.

Αναφορικά με τους κακούς αγωγούς οι μαθητές στο σύνολό τους θεώρησαν ότι είναι υλικά στα οποία η θερμότητα διαδίδεται με δυσκολία. Στο σημείο αυτό ζητήθηκε από τους μαθητές να διευκρινίσουν σε ποιο βαθμό θεωρούν ότι η θερμότητα διαδίδεται σε αυτά τα υλικά. Στο σύνολό τους υποστήριξαν την άποψη ότι η θερμότητα διαδίδεται και σε αυτά τα υλικά, όμως σε πολύ μικρό έως ελάχιστο βαθμό. Για τη διατύπωση αυτής της άποψής τους φάνηκε να βασίστηκαν στο γεγονός ότι μετά την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος ήρθαν σε επαφή εκ νέου με τις ράβδους από γυαλί, ξύλο και πλαστικό, μετά από τη σχετική παρέμβαση για να ελέγξουν εάν είχε μετατοπιστεί η πινέζα σε αυτές.

0: Κακούς αγωγούς ποια υλικά θα λέγατε, γενικά;

1Α: Κακούς αγωγούς θα έλεγα τα υλικά που δε μεταφέρεται γρήγορα η θερμότητα.

1Γ: Ναι και εγώ.

1Β: Εγώ θα έλεγα και αυτό που είπε ότι δε μεταφέρεται... μεταφέρεται λίγο και δε μεταφέρεται γρήγορα, αλλά και δεν απορροφούν πολύ, όπως ήταν τα προηγούμενα (εννοεί τους καλούς αγωγούς).

1Α: Ναι ναι είναι και αυτό.

0: Και κακούς αγωγούς ποια υλικά θα λέγατε;

3Α: Αυτά που δεν περνάει η θερμότητα.

3Γ: Πλαστικό, ξύλο και γυαλί.

0: Στους κακούς αγωγούς τι πιστεύετε ότι γίνεται με αυτά τα υλικά; Σε τι συμπέρασμα καταλήγετε;

3Β: Ότι δε μεταφέρεται τόσο γρήγορα, όσο τα υλικά που μεταφέρεται. Δε μεταφέρεται τόσο γρήγορα η θερμότητα.

3Α: Ότι δεν περνάει καθόλου η θερμότητα, όμως στο πάνω πάνω μέρος. Στο μαυράκι πέρασε λίγο (εννοεί το σημάδι στην πλαστική ράβδο που ήταν εκτός του νερού).

0: Δηλαδή, μεταφέρεται πιο πάνω από το νερό η θερμότητα; Τι πιστεύεις;

3Α: Μπορεί ένα χιλιοστό πιο πάνω. Αλλά πιο πάνω δεν πηγαίνει.

0: Κακούς αγωγούς ποια υλικά θα χαρακτηρίζατε;

2Γ: Αυτά που δεν αφήνουν τη θερμότητα να μεταφερθεί.

2Α: Ναι που εμποδίζουν.

0: Και πιστεύετε ότι εμποδίζουν εντελώς τη θερμότητα;

2Β: Όχι.

2Α: Όχι εντελώς, επειδή ήταν ζεστά (εννοεί τα τμήματα μέσα στο νερό).

0: Άρα σε αυτά τα υλικά τους κακούς αγωγούς, πιστεύετε ότι μεταφέρεται έστω και λίγο η θερμότητα ή όχι;

2Γ: Πιστεύω λίγο.

2Α: Ελάχιστα.

2Β: Ναι.

0: Τι είναι αυτό που σας κάνει να το πιστεύετε αυτό;

2Γ: Ήταν ζεστά.

2Α: Επειδή ήταν ζεστά, απλώς δεν ήταν τόσο ώστε να ρίξουν τις πινέζες.

2Β: Επειδή κάτω κάτω είχαν όντως θερμανθεί αρκετά, δηλαδή ήταν καυτά, αλλά δε μπόρεσε η θερμότητα... πήγε μόνο μέχρι το σημείο που το άγγιζε το νερό, πιο πάνω δε μπορούσε να πάει πολύ.

4ο Βήμα: Εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση

Στο τελευταίο βήμα αυτού του μέρους της ακολουθίας οι μαθητές κλήθηκαν να εφαρμόσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν σε μία νέα κατάσταση. Συγκεκριμένα, οι μαθητές ερωτήθηκαν, στην υποθετική περίπτωση που κατασκεύαζαν κατσαρόλες, ποιο υλικό θα διάλεγαν για τα χερούλια μίας κατσαρόλας, ώστε να μην πάθουν έγκαυμα κατά τη χρήση της.

Στο σύνολό τους οι μαθητές θεώρησαν ότι θα πρέπει να επιλέξουν κάποιο υλικό στο οποίο η αγωγή συντελείται με αργό ρυθμό, δηλαδή θεωρείται κακός αγωγός της θερμότητας, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα εγκαύματος. Έτσι, κατά κύριο λόγο οι μαθητές έτειναν να επιλέγουν το πλαστικό, συνεκτιμώντας ωστόσο και λόγους χρηστικότητας. Επιπλέον, στο σύνολό τους ανέφεραν ότι δε θα επέλεγαν υλικά όπως τα μέταλλα, στα οποία η αγωγή λαμβάνει χώρα με πολύ γρήγορο ρυθμό.

0: Τι υλικό θα διαλέγατε και γιατί;

1Α: Το υλικό που έχουν διαλέξει όλοι οι κατασκευαστές, το πλαστικό!

0: Το έχεις παρατηρήσει αυτό ε;

1Α: Ναι και επίσης συμφωνώ με αυτό.

0: Εσύ όμως, γιατί θα το διάλεγες αυτό το υλικό; Για ποιο λόγο;

1Α: Θα το διάλεγα, γιατί δε μεταφέρεται η θερμότητα γρήγορα και την κόβει από το να περάσει από αυτό, δεν καίει πολύ, άρα μπορείς να το αγγίξεις.

0: Από πού θα περνούσε;

1Α: Από το σίδερο, τον χαλκό, από τα μέταλλα γενικά.

1Γ: Και εγώ πλαστικό θα έβαζα για τον ίδιο λόγο που είπε ο 1Α.

1Β: Και εγώ πλαστικό θα έβαζα, γιατί δεν είναι αγωγός το πλαστικό, δεν είναι καλός αγωγός το πλαστικό, οπότε π.χ. άμα ο άνθρωπος πάει και πιάσει την κατσαρόλα για να τη σηκώσει, να μην καεί. Αφού δεν περνάει τόσο εύκολα η θερμότητα, δε θα καεί.

4A: Θα διάλεγα το πλαστικό, επειδή δε μεταφέρεται πολύ η θερμότητα, απλά θα καίει λίγο.

0: Εσύ 4B;

4B: Και εγώ θα επέλεγα το πλαστικό, γιατί είναι ένα υλικό που δε θερμαίνεται τόσο εύκολα, ας πούμε άμα βάζαμε αλουμίνιο θα έκαιγε.

4A: Ή χαλκό ή ορείχαλκο.

4Γ: Συμφωνώ πλαστικό, επειδή είναι χειρίστος αγωγός της θερμότητας.

3B: Πλαστικό πρέπει να βάλουμε για να μη μεταφερθεί γρήγορα η θερμότητα.

3A: Ισχύει αυτό που είπε ο 3B, αλλά και το γυαλί μπορεί, αλλά μπορεί ξέρω 'γω να σου πέσει η κατσαρόλα κάτω και να σπάσει το γυαλί, ενώ άμα έχεις πλαστικό και δε θα περνάει η θερμότητα και δε θα σπάσει.

3B: Θα επέλεγα το γυαλί, το ξύλο και το πλαστικό, γιατί η θερμότητα σε αυτά απορροφάται πιο αργά από ότι στο αλουμίνιο, τον χαλκό και τον ορείχαλκο.

(απάντηση μαθητή στο πεδίο της εφαρμογής του Φύλλου Εργασίας)

4.3.2 Σύνοψη των αποτελεσμάτων του δεύτερου διδακτικού πειράματος

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι κατά την εφαρμογή του δεύτερου ΔΠ οι μαθητές ακολούθησαν **τρία διαφορετικά μονοπάτια μάθησης**, κατά την πορεία τους προς το συμπέρασμα. Συγκεκριμένα, προκύπτουν τα εξής:

i) Πρώτο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **έξι (6) μαθητές**. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Πριν την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος έτειναν να εκτιμούν τον ρυθμό με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα στα διαφορετικά υλικά με **κριτήριο την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία μπορεί αυτό να θερμανθεί** σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες. Για παράδειγμα:

2A: Για παράδειγμα, στο τζάκι όταν βάζουμε ξύλα πιάνουν πολύ γρήγορα φωτιά.

0: Οπότε τι σημαίνει για σένα ότι πιάνουν πολύ γρήγορα φωτιά;

2A: Ότι είναι πολύ εύφλεκτο υλικό.

0: Και τι συμβαίνει με τη θερμότητα για κάποιο υλικό που είναι εύφλεκτο;

2A: Μπορεί να μεταφερθεί πολύ εύκολα.

β) Μετά την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος φάνηκε **να αποδίδουν τον διαφορετικό ρυθμό διάδοσης της θερμότητας στα διάφορα υλικά στη σύσταση τους** και να καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι καλοί αγωγοί της θερμότητας είναι σώματα στα οποία η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό, ενώ κακοί αγωγοί σώματα στα οποία η θερμότητα, είτε διαδίδεται με πολύ αργό ρυθμό, είτε καθόλου. Η πραγματοποίηση αυτού

του πειράματος φάνηκε να βοήθησε τους συγκεκριμένους μαθητές να μετατοπιστούν εννοιολογικά από την αρχική τους άποψη. Για παράδειγμα:

0: Πώς το εξηγείτε ότι η θερμότητα μεταφέρθηκε πιο γρήγορα στα μέταλλα;

2Α: Λόγω αυτό που έχει μέσα τους.

0: Δηλαδή;

2Α: Πάει πιο γρήγορα σε αυτά, γιατί έχει κάτι το υλικό.

2Γ: Είναι λόγω του υλικού, είναι μέταλλα, απλά! Αυτά δεν παθαίνουν κάτι (εννοεί στους κακούς αγωγούς)

0: Και τι συμβαίνει στα μέταλλα δηλαδή;

2Γ: Α μεταφέρεται η θερμότητα μέσα τους, στα υπόλοιπα δε μεταφέρεται.

γ) Κατά τη φάση της γενίκευσης έτειναν να είναι σε θέση να εφαρμόσουν αποτελεσματικά το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει σε μία νέα κατάσταση. Για παράδειγμα:

3Β: Θα επέλεγα το γυαλί, το ξύλο και το πλαστικό, γιατί η θερμότητα σε αυτά απορροφάται πιο αργά από ότι στο αλουμίνιο, τον χαλκό και τον ορείχαλκο.

ii) Δεύτερο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **πέντε (5) μαθητές**. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Πριν την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος έτειναν να εκτιμούν τον ρυθμό με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα στα διαφορετικά υλικά με **κριτήριο την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία μπορεί αυτό να θερμανθεί σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες, ενώ παράλληλα χρησιμοποιούσαν συνδυαστικά κριτήρια για μεμονωμένες ράβδους ή σύνολα ράβδων** (μάζα του υλικού, ιδιότητες υλικού, χρήση του υλικού σε εφαρμογές του ηλεκτρισμού). Για παράδειγμα:

2Α: Γιατί έχει μεγαλύτερη πυκνότητα και δε θα μεταφερθεί τόσο γρήγορα η θερμότητα.

2Β: Νομίζω είναι πιο εύκολο να μεταφερθεί, γιατί το γυαλί είναι και ένα υλικό που μπορεί... είναι πολύ εύθραυστο, οπότε νομίζω θα είναι και κάπως πιο εύκολο.

1Α: Πολύ πιο λεπτό από αυτό το βάζουν μέσα στα καλώδια και πλαστικό και μεταφέρει το ρεύμα, πιστεύω είναι παρόμοια κατάσταση.

0: Ναι ο χαλκός χρησιμοποιείται στα καλώδια. Γιατί είπες αυτό το παράδειγμα;

1Α: Πιστεύω ότι ο ηλεκτρισμός αυτή τη σχέση την έχει με τη θερμότητα. Νομίζω πάει λίγο πιο γρήγορα από τη θερμότητα, αλλά νομίζω έχει μία σχέση.

4Γ: Πιστεύω ότι στην οξείδωση είναι διαφορετικό. Ότι ο χαλκός οξειδώνεται πιο γρήγορα από τον ορείχαλκο.

0: Τι εννοείς οξειδώνεται;

4Γ: Εννοώ ότι βγάζει σκουριά. Όχι βγάζει σκουριά, πρασινίζει, γιατί η οξείδωση αυτό είναι.

Ο: Ωραία και αυτό παίζει ρόλο στο πόσο θα μεταφερθεί η θερμότητα;

4Γ: Μία παρενέργεια που έχει το να μην έχει οξείδωση είναι ότι θερμαίνεται νομίζω λίγο πιο γρήγορα, αλλά δεν ξέρω. Λόγω η αλλαγή στο υλικό που κάνει να είναι πιο αργή η οξείδωση, το κάνει να είναι και πιο γρήγορη η μετάδοση της θερμότητας.

β) Μετά την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος φάνηκε να **αποδίδουν τον διαφορετικό ρυθμό διάδοσης της θερμότητας στα διάφορα υλικά στη σύσταση τους** και να καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι καλοί αγωγοί της θερμότητας είναι σώματα στα οποία η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό, ενώ κακοί αγωγοί σώματα στα οποία η θερμότητα είτε διαδίδεται με πολύ αργό ρυθμό, είτε καθόλου. Η πραγματοποίηση αυτού του πειράματος φάνηκε να βοήθησε και αυτούς τους μαθητές να μετατοπιστούν εννοιολογικά από την αρχική τους άποψη. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

γ) Κατά τη φάση της γενίκευσης **έτειναν να είναι σε θέση να εφαρμόσουν αποτελεσματικά το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει σε μία νέα κατάσταση.** Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

iii) Τρίτο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησε **μία (1) μαθήτρια.** Συγκεκριμένα, η μαθήτρια:

α) Πριν την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος έτεινε να εκτιμά τον ρυθμό με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα στα διαφορετικά υλικά **με κριτήριο τη μάζα των διαφόρων υλικών.** Συγκεκριμένα εξέφρασε την άποψη ότι σε σώματα μεγαλύτερης μάζας η θερμότητα θα διαδοθεί με μεγαλύτερη δυσκολία. Για παράδειγμα:

1Γ: Σε σχέση με τα μέταλλα, εγώ θα παραμείνω στη γνώμη που είπα πριν ότι επειδή ο χαλκός έχει πιο μεγάλη πυκνότητα από το αλουμίνιο και τώρα ο ορείχαλκος έχει πιο μεγάλη και από τα δύο μέταλλα ε, νομίζω ότι θα πέσει μετά.

β) Μετά την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος φάνηκε να είναι σε θέση να αντιληφθεί ότι η διάδοση της θερμότητας είναι ανεξάρτητη από τη μάζα των υλικών και να **αποδίδει τον διαφορετικό ρυθμό διάδοσης της θερμότητας στη σύστασή τους** και να καταλήγει στο συμπέρασμα ότι καλοί αγωγοί της θερμότητας είναι σώματα στα οποία η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό, ενώ κακοί αγωγοί σώματα στα οποία η θερμότητα είτε διαδίδεται με πολύ αργό ρυθμό, είτε καθόλου. Η πραγματοποίηση αυτού

του πειράματος φάνηκε να βοηθήσει τη μαθήτριά να μετατοπιστεί εννοιολογικά από την αρχική της άποψη. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

γ) Κατά τη φάση της γενίκευσης **έτεινε να είναι σε θέση να εφαρμόσει αποτελεσματικά το συμπέρασμα στο οποίο είχε καταλήξει σε μία νέα κατάσταση.** Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

4.4 Τρίτο διδακτικό πείραμα – Διάδοση της Θερμότητας στο νερό και τον αέρα

4.4.1 Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων του τρίτου διδακτικού πειράματος

1^ο Βήμα: Οι μαθητές θεωρούν το νερό και τον αέρα καλούς ή κακούς αγωγούς της θερμότητας; Πού αποδίδουν τις απόψεις τους;

Αρχικά, οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το εάν θεωρούν το νερό και τον αέρα καλούς ή κακούς αγωγούς της θερμότητας. Το ερώτημα τέθηκε για καθένα από τα δύο σώματα ξεχωριστά.

Σε ό,τι αφορά στο νερό, οι μαθητές στο σύνολό τους (11/11)* **εξέφρασαν την άποψη ότι είναι καλός αγωγός της θερμότητας, διότι μπορεί να θερμανθεί εύκολα και να μεταφερθεί σε αυτό η θερμότητα.** Συχνά για να υποστηρίξουν τις απόψεις τους έκαναν αναφορές σε παραδείγματα από την καθημερινότητα.

Ο: Τι πιστεύετε για το νερό, είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας;

2Γ: Καλός, καλός!

Ο: Γιατί;

2Γ: Γιατί όταν το θερμαίνουμε, θερμαίνεται!

Ο: Έχεις κάποιο παράδειγμα, από την καθημερινότητα;

2Γ: Στην κατσαρόλα για τα μακαρόνια, είναι πολύ ζεστό.

2Α: Ναι. Όπως και στο προηγούμενο πείραμα, όπου είχε μεταφερθεί νομίζω η θερμότητα μέσα από το νερό.

Ο: Το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

3Α: Ωραία, το νερό είναι καλός αγωγός μέχρι ένα σημείο, γιατί μετά θα εξατμιστεί. Αλλά όσο είναι ... Είναι καλός αγωγός, γιατί έχουμε δει και ότι όταν βράζουμε τα μακαρόνια, ότι όταν βάζουμε στο μπρίκι αυγό, ότι γενικά όταν ζεσταίνουμε το νερό ζεσταίνεται όλο, δε μένει έτσι.

Ο: Ζεσταίνεται όλο και αυτό γίνεται γρήγορα;

*Κατά την εφαρμογή του τρίτου διδακτικού πειράματος, από το σύνολο των συμμετεχόντων, απουσίαζε μία μαθήτριά για λόγους υγείας.

3A: Γρήγορα; Τι εννοείτε γρήγορα; Σε κλάσματα;

0: Όχι. Εσύ πώς το καταλαβαίνεις;

3A: Ναι γρήγορα. Δηλαδή άμα βάλουμε σε ένα μπρίκι νερό και το βάζουμε να γίνει σε 3 λεπτάκια θα έχει ζεσταθεί.

0: Ωραία, 3B θες να πεις τη γνώμη σου;

3B: Καλός, γιατί ζεσταίνεται γρήγορα και μεταφ... και παίρνει τη θερμότητα και τη μεταφέρει γρήγορα και σε άλλα υλικά.

0: Ωραία, έχεις κάποιο παράδειγμα; Πού εννοείς και σε άλλα υλικά;

3B: Ε ναι. Ας πούμε αυτό που γίνεται στα μακαρόνια, δηλαδή ζεσταίνεται από το μάτι το νερό που είναι μέσα και μετά μεταφέρεται και η θέρμανση στα μακαρόνια που από σκληρά γίνονται μαλακά.

0: Το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

4Γ: Καλός αγωγός είναι, γιατί θερμαίνεται γρήγορα.

4Α: Συμφωνώ.

4B: Και εγώ, είναι καλός αγωγός. Γιατί, ας πούμε όταν έχουμε το μπουκάλι με το νερό, στον Ήλιο ζεσταίνεται πολύ εύκολα και μετά είναι πολύ ζεστό. Αν το αφήσουμε πολύ ώρα στον Ήλιο.

1A: Πιστεύω ότι το νερό είναι καλός αγωγός, γιατί τη μεταφέρει εύκολα πιστεύω εγώ τη θερμότητα.

0: Έχετε παραδείγματα από την καθημερινότητα; Τι είναι αυτό που σας κάνει να λέτε ότι είναι καλός αγωγός;

1A: Ναι όταν η κατσαρόλα βράζει, το νερό ζεσταίνεται πάρα πολύ και μεταφέρεται γρήγορα.

1B: Συμφωνώ με τον 1A, γιατί μεταφέρεται σε λιγότερο από ένα λεπτό, δηλαδή βάζεις την κατσαρόλα με νερό και γίνεται καυτό σε λιγότερο από ένα λεπτό.

Μόνο μία μαθήτρια αν και χαρακτήρισε το νερό καλό αγωγό, διότι ζεσταίνεται, διευκρίνισε ότι αυτό συμβαίνει σχετικά αργά και όχι τόσο γρήγορα όσο σε άλλα σώματα.

2B: Πιστεύω πως δε μπορεί να περάσει τόσο εύκολα η θερμότητα από το νερό. Δηλαδή, νομίζω δε θα περάσει γρήγορα, θα πάρει ώρα. Εκτός και άμα είναι πάρα πολύ δυνατό.

0: Ποιο;

2B: Η θερμότητα.

0: Η θερμότητα ναι.. Εδώ στους κακούς αγωγούς πήρε αρκετή ώρα και είδαμε να μη μεταφέρεται, στους καλούς μεταφέρθηκε γρήγορα. Πού θα έβαζες το νερό; Μπορεί να παίρνει ώρα, αλλά θα μεταφερθεί; Θα γίνει κάτι με το νερό αν το ζεστάνουμε ή θα είναι όπως στο πλαστικό που δεν έγινε τίποτα ας πούμε;

2B: Καλός αγωγός, αλλά αργά.

Σε ό,τι αφορά στον αέρα, η πλειοψηφία των μαθητών (8/11) θεώρησε ότι ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας, διότι μπορεί και θερμαίνεται με ευκολία. Οι μαθητές συχνά ανέφεραν παραδείγματα από την καθημερινότητα, όπου είχαν παρατηρήσει να πραγματοποιείται θέρμανση του αέρα.

0: Για τον αέρα τι πιστεύετε; Είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας;

2Α: Καλός, επειδή έξω κάνει ζέστη, οπότε υπάρχει στον αέρα η θερμότητα.

Ο: Εσύ 2Γ τι λες;

2Γ: Βασικά μπορεί να ζεσταθεί ο αέρας, άρα είναι καλός αγωγός.

.....
Και από το μπιστολάκι μπορούμε να διαλέξουμε άμα θέλουμε κρύο ή ζεστό αέρα, αλλά νομίζω ο φυσικός αέρας δε μπορεί να ζεσταθεί τόσο εύκολα.

1Α: Εγώ λέω ότι είναι καλός αγωγός, γιατί κάποιες.. γιατί είναι ζεστός μερικές φορές, όταν έχει καύσωνα, για αυτό.

1Β: Και εγώ συμφωνώ με τον 1Α και συμφωνώ και με αυτό που είπε ότι όταν έχει καύσωνα ζεσταίνεται και όταν έχει και φωτιά π.χ. πάλι ζεσταίνεται και πολλές φορές μπορεί να τη μεταφέρει κιόλας.

Ο: Τη θερμότητα εννοείς;

1Β: Μπορεί να τη μεταφέρει ναι, γιατί ζεσταίνεται.

3Β: Ναι και εγώ πιστεύω καλός αγωγός είναι, γιατί ας πούμε μία ζεστή ημέρα επειδή ο Ήλιος θερμαίνει πολύ δυνατά στη Γη και ζεσταίνεται.. και ζεσταίνει γενικά όλο το ημισφαίριο και αφού δε μπορεί η ζέστη να βγει προς τα έξω, προς το διάστημα μένει μέσα και αρχίζει και ζεσταίνεται και ο αέρας. Για αυτό κάποιες φορές τώρα το καλοκαίρι έρχεται αέρας και νομίζεις ότι είναι κρύος, αλλά είναι ζεστός.

3Β: Οι ακτίνες του Ήλιου πάνε στο έδαφος, που ο αέρας επειδή πάει γρήγορα τις μεταφέρει προς τα εμάς και έτσι μας ζεσταίνουν.

Ο: Μέσω του αέρα εννοείς;

3Β: Ναι. Οπότε πιστεύω ότι είναι καλός αγωγός γιατί μεταφέρει τη ζέστη.

3Α: Για παράδειγμα τον Χειμώνα, όταν φυσάει έχει.. παγώνουμε, ενώ το Καλοκαίρι όταν φυσάει ξέρω 'γω μπορεί... δεν παγώνουμε, απλά έχει λίγο δροσιά.

Ο: Άρα τι αλλάζει από τον Χειμώνα μέχρι το Καλοκαίρι;

3Α: Ότι επειδή άλλαξε η εποχή, άλλαξε και η θερμότητα... ε η θερμοκρασία του αέρα.

3Β: Ή μπορεί ας πούμε και μία μέρα το Καλοκαίρι να είναι κρύος ο αέρας, γιατί μπορεί από την προηγούμενη μέρα...

3Α: Ναι, αλλά όχι όσο κρύος είναι τον Χειμώνα.

3Β: (συνεχίζει) ...να έχει βαρέσει ο Ήλιος τη θάλασσα και να έχει και να έχει αρχίσει να εξατμίζεται. Και την επόμενη μέρα να είναι τελείως συννεφιά και να μη θερμαίνει ο Ήλιος και να είναι πιο κρύος ο αέρας.

Οι υπόλοιποι μαθητές (3/11) εξέφρασαν την άποψη ότι στον αέρα η θερμότητα διαδίδεται, διότι μπορεί να θερμανθεί, ωστόσο για να συμβεί αυτό απαιτείται αρκετός χρόνος. Για τον λόγο αυτό οι εν λόγω μαθητές χαρακτήρισαν τον αέρα κακό αγωγό της θερμότητας.

Ο: Για τον αέρα τι πιστεύετε; Είναι καλός ή κακός αγωγός;

4Α: Εγώ νομίζω κακός, επειδή δεν είναι... δε θερμαίνεται ο αέρας.

4Β: Ναι και εγώ αυτό πιστεύω.

Ο: Γιατί;

4A: Γιατί δε θερμαίνεται και τόσο εύκολα.
4B: Ναι δε θερμαίνεται τόσο εύκολα ο αέρας.
0: Δε θερμαίνεται καθόλου ή δυσκολεύεται να θερμανθεί;
4A: Δυσκολεύεται.
4B: Δυσκολεύεται ναι.
4A: Μπορεί να θερμανθεί όμως, όπως είπε και ο 4Γ, αλλά όχι τόσο εύκολα.
4Γ: Αλλά με πολύ υψηλές θερμοκρασίες.
0: Άρα τον λέτε κακό αγωγό, γιατί ναι μεν μπορεί να ζεσταθεί καταλαβαίνω, αλλά όχι τόσο...
4B: Εύκολα.
4Γ: Και χρειάζεται μεγάλη ποσότητα θερμικής ενέργειας για να ζεσταθεί.
0: Αλλά αν ζεσταθεί θα μπορεί να μεταφέρει τη θερμότητα;
4Γ: Αν ζεσταθεί ναι!
4A: Ναι.
4Γ: Μέχρι να ζεσταθεί όμως δεν είναι καλός αγωγός.
0: Εσύ είπες ότι ήταν στην αρχή ότι είναι καλός αγωγός.
4Γ: Στην αρχή.
0: Άλλαξες γνώμη;
4Γ: Ναι, να αρχίσει να θερμαίνεται είναι δύσκολο, όταν αρχίσει να θερμαίνεται τότε εξαπλώνεται και εύκολα. Για παράδειγμα, όταν είναι βράδυ και μετά ξημερώνει και το πρωί κάνει κρύο, ενώ έχει πολύ Ήλιο και αυτό συμβαίνει επειδή παίρνει λίγο χρόνο να αρχίσει να θερμαίνεται, αλλά όταν αρχίσει να θερμαίνεται πάει *light speed*.
.....
4Γ: Δηλαδή, όταν είναι βράδυ που υπάρχει κρύο και μετά γίνεται πρωί, δεν αρχίζει κατευθείαν η ζέστη, παρόλο που υπάρχει ο Ήλιος. Και υπάρχει Ήλιος και το μεσημέρι. Μέχρι το μεσημέρι πρέπει όμως να αρχίσει να θερμαίνεται ο αέρας και μετά όταν θερμανθεί, θα αρχίσει... θα θερμανθεί πολύ γρήγορα.
4B: Ναι και εγώ αυτό πιστεύω ότι χρειάζεται πολλή ώρα και ας πούμε ο αέρας μπορεί να ζεσταθεί από τον Ήλιο ή από μία φωτιά δε ζεσταίνεται έτσι από μόνος του, οπότε για αυτό πιστεύω.

2° Βήμα: Τι αναμένουν οι μαθητές να συμβεί αναφορικά με τη διάδοση της θερμότητας, κατά τη θέρμανση του κάτω μέρους ενός δοκιμαστικού σωλήνα που περιέχει μία ποσότητα νερού; Πειραματική παρατήρηση και εξήγηση του φαινομένου.

Στο δεύτερο βήμα οι μαθητές κλήθηκαν να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι θεωρούν ότι θα συμβεί κατά τη θέρμανση του κάτω μέρους ενός δοκιμαστικού σωλήνα, ο οποίος περιέχει μία ποσότητα νερού (4° Πείραμα).

Στο σύνολό τους θεώρησαν ότι θα βράσει όλη η ποσότητα του νερού στον δοκιμαστικό σωλήνα, καθώς όπως είχαν εκφράσει και στο προηγούμενο βήμα, το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας. Μάλιστα ανέφεραν ότι σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η ποσότητα του νερού στον δοκιμαστικό σωλήνα είναι πολύ μικρή, ο βρασμός θα συντελεστεί πολύ γρήγορα.

0: Εάν γεμίσουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα με νερό μέχρι εδώ (τους δείχνει ξανά το σημείο μέχρι το οποίο θα έχει νερό ο σωλήνας) και ζεστάνουμε το νερό τι πιστεύετε ότι θα συμβεί;

1A: Ότι θα ζεσταθεί αρκετά ο σωλήνας και θα μεταφέρει τη θερμότητα και στο νερό που το νερό θα αρχίσει να εξατμίζεται και θα είναι ζεστό.

0: Θα βράσει το νερό; Θα βράσει όλη η ποσότητα του νερού;

1A & 1B: Ναι.

0: Θα βράσει πιστεύετε γρήγορα;

1A: Σχετικά ναι.

0: Δηλαδή περίπου σε πόση ώρα περιμένεις;

1A: Πιστεύω σε μισό με ένα λεπτό.

0: Για ποιο λόγο;

1B: Γιατί η θερμότητα μεταφέρεται και στο νερό, αφού είναι καλός αγωγός.

2A: Θα θερμανθεί.

2Γ: Θα βράσει.

0: Θα βράσει όλο το νερό;

2A: Ε ναι επειδή ο βρασμός πάει σε όλο το σώμα.

3A: Το νερό θα ζεσταθεί.

3Γ: Θα ζεσταθεί πάρα πολύ.

3B: Θα ζεσταθεί ναι.

0: Θα ζεσταθεί όλη η ποσότητα του νερού;

3A: Θα ζεσταθεί όλη η ποσότητα του νερού.

3Γ: Ναι όλη φυσικά.

3B: (κουνά καταφατικά το κεφάλι του και συμφωνεί) Αφού μετά θα αρχίσει να εξατμίζεται κιόλας.

0: Για ποιο λόγο;

3B: Και δεν είναι και μεγάλη η ποσότητα, γιατί δεν είναι μεγάλος ο όγκος του.

4B: Ναι (θα βράσει όλη η ποσότητα νερού), γιατί είναι καλός αγωγός και θα μεταφέρει τη θερμότητα σχετικά γρήγορα.

(απάντηση μαθήτριας στο αντίστοιχο πεδίο Πρόβλεψης του Φύλλου Εργασίας)

Κατά την πραγματοποίηση του 4^{ου} Πειράματος, οι μαθητές παρατήρησαν να βράζει όλη η ποσότητα του νερού σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η παρατήρησή τους αυτή φάνηκε να επιβεβαιώνει την προηγούμενή τους άποψη, καθώς **στο σύνολό τους απέδωσαν τον γρήγορο ρυθμό με τον οποίο έβρασε όλη η ποσότητα του νερού στον δοκιμαστικό σωλήνα, στο γεγονός ότι το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας.**

0: Γιατί πιστεύετε ότι έβρασε όλο το νερό;

1A: Γιατί η θερμότητα μεταφέρθηκε πάρα πολύ γρήγορα.

1B: Και εγώ συμφωνώ με αυτό, επειδή είναι καλός αγωγός μεταφέρθηκε η θερμότητα άρχισε σιγά σιγά να βράζει και μετά ανέβηκε.

3^ο Βήμα: Εάν το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας, σε πόσο χρόνο αναμένουν οι μαθητές να βράσει όλη η ποσότητα του νερού, εάν θερμάνουμε τον ίδιο δοκιμαστικό σωλήνα στο πάνω μέρος του; Πειραματική παρατήρηση και διατύπωση συμπεράσματος αναφορικά με το εάν το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας.

Εφόσον στο προηγούμενο βήμα οι μαθητές θεώρησαν ότι έβρασε όλη η ποσότητα του νερού στον δοκιμαστικό σωλήνα, διότι είναι καλός αγωγός, στο τρίτο βήμα τους ζητήθηκε να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον χρόνο στον οποίο θεωρούν ότι θα πρέπει να βράσει όλη η ποσότητα του νερού, εάν θερμάνουμε το πάνω μέρος ενός ίδιου δοκιμαστικού σωλήνα, ο οποίος περιέχει την ίδια ποσότητα νερού (5^ο Πείραμα).

Η πλειοψηφία των μαθητών (8/11) διατύπωσε την άποψη ότι εφόσον το νερό είναι καλός αγωγός, όλη η ποσότητα του νερού θα πρέπει να βράσει στον ίδιο χρόνο που έβρασε και στο προηγούμενο πείραμα, καθώς κατά τη διάδοση με αγωγή, η θερμότητα διαδίδεται το ίδιο γρήγορα προς όλες τις κατευθύνσεις.

0: Εάν ζεστάθηκε τόσο γρήγορα το νερό με αγωγή, δηλαδή είναι καλός αγωγός και επαναλάβουμε το πείραμα, δηλαδή πάρουμε έναν άλλο δοκιμαστικό σωλήνα και θάλουμε την ίδια ποσότητα νερού, αλλά αυτή τη φορά ζεστάνουμε το νερό, όχι από την κάτω μεριά, αλλά από την πάνω μεριά. Σε πόσο χρόνο θα πρέπει να βράσει μέχρι κάτω;

1A: Το ίδιο γρήγορα, πιστεύω την ίδια ώρα.

1B: Πιστεύω το ίδιο με τον 1A, ότι επειδή έτσι κι αλλιώς η θερμότητα μεταδίδεται ίσα και σε όλες τις κατευθύνσεις, θα πάει το ίδιο και κάτω.

0: Εσύ 1A γιατί πιστεύεις ότι θα βράσει στον ίδιο χρόνο και κάτω;

1A: Ε για αυτό που είπε ο 1B, γιατί όπως είδαμε και στο πρώτο πείραμα η θερμότητα μεταφέρεται στο ίδιο υλικό. Δεν... δεν εξαρτάται από το πάνω και το κάτω.

3Γ: Στον ίδιο ναι.

3Α: Γιατί είναι καλός αγωγός και όπως είχαμε δει στο άλλο το πείραμα με τον χάρακα... τη ράβδο, ότι το ζεστάνουμε από τη μέση και δεν είχε σημασία η κλίση ή από πού το ζεσταίναμε. Ζεστάθηκε όλο.

Μόνο ένας μικρός αριθμός μαθητών (2/11) θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί με πιο γρήγορο ρυθμό προς την κάτω μεριά του δοκιμαστικού σωλήνα, εξαιτίας της μικρής απόστασης του κάτω μέρους του σωλήνα από την πηγή θέρμανσης. Οι συγκεκριμένοι μαθητές φάνηκε να επηρεάζονται στη διατύπωση αυτής τους της άποψης από το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει στο τέλος του πρώτου ΔΠ. Συγκεκριμένα, οι εν λόγω μαθητές κατά την πραγματοποίηση του 1^{ου} Πειράματος (θέρμανση της ράβδου σε κλίση) είχαν παρατηρήσει ότι η θερμότητα διαδίδεται με ελάχιστα πιο γρήγορο ρυθμό προς την κάτω μεριά, μόνο όταν πρόκειται για κοντινές αποστάσεις από την πηγή θέρμανσης. Για το λόγο αυτό θεώρησαν ότι το ίδιο θα συμβεί και κατά τη θέρμανση του νερού στον δοκιμαστικό σωλήνα και έτσι όταν θερμανθεί το πάνω μέρος του σωλήνα το νερό προς το κάτω μέρος του θα βράσει ελάχιστα πιο γρήγορα, συγκριτικά με τον χρόνο που έβρασε το νερό προς το πάνω μέρος του.

0: Σε πόση ώρα έβρασε;

2A: 47 δεύτερα και 76 κλάσματα..

0: Αν το νερό είναι καλός αγωγός και αν το ζεστάνουμε σε άλλο σημείο τώρα, από πάνω, σε πόση ώρα θα πάει κάτω η θερμότητα; Σε πόση ώρα θα πρέπει να πάει, εφόσον είναι καλός αγωγός;

2A: Σε 30 δεύτερα.

0: Πιο γρήγορα λες;

2A: Λίγο πιο γρήγορα.

0: Γιατί;

2A: Επειδή θα πάει προς τα κάτω, οπότε θα πάει πιο γρήγορα. Αν είναι μεγάλη απόσταση μεταφέρεται ίδια, όμως αν είναι κοντά πιο γρήγορα προς τα κάτω.

0: Επειδή στο πρώτο πείραμα όταν ήταν μικρή η απόσταση πήγαινε πιο γρήγορα προς τα κάτω η θερμότητα, για αυτό το λες;

2A: Ναι.

Η πραγματοποίηση του 5^{ου} Πειράματος αποτέλεσε κομβικό σημείο αυτού του μέρους της ακολουθίας, καθώς οι μαθητές παρατήρησαν ότι σε αυτή την εκδοχή του πειράματος δεν έβρασε όλη η ποσότητα του νερού εντός του χρονικού διαστήματος στο οποίο έβρασε στο προηγούμενο πείραμα (4^ο Πείραμα). **Στο σύνολό τους παρατήρησαν ότι η θερμότητα δε διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις.** Η πλειοψηφία των μαθητών (6/11) διευκρίνισε ότι η θερμότητα μεταφέρεται προς την κάτω μεριά του σωλήνα αλλά με πολύ πιο αργό ρυθμό, ενώ οι υπόλοιποι μαθητές (5/11) ανέφεραν ότι η θερμότητα δε διαδίδεται καθόλου προς αυτή την κατεύθυνση.

2Γ: Ξεκίνησε πάνω.

2A: Δεν πάει κάτω.

2B: Μίνι μπουρμπουλήθρες τσεκ!

2Γ: Κοιτάμε τσεκ!

2A: Ναι δεν πάει.

0: Σε πόση ώρα είμαστε;

2A: 28 δευτερόλεπτα.

0: Βράζει; (ξεκίνησε να βράζει το νερό στο πάνω μέρος του σωλήνα)

2Γ: Βράζει πολύ!

2A: Αλλά δεν έχει πάει προς τα κάτω. Πιστεύω μπορεί να μην πάει προς τα κάτω.

(μετά από λίγο)

2A: Ναι προς τα κάτω δεν πάει.

2Γ: Πάει λίγο.

0: Βράζει προς τα κάτω τι βλέπετε;

3A: Όχι. Βράζει; (φαίνεται απορημένος) Έχουμε πάει 24!!

0: 1 λεπτό και 24 δευτερόλεπτα;

3A: 30 τώρα. (μετά από λίγο) Ναι ναι ναι, νομίζω βράζει (μετακινείται λίγο πιο δεξιά για να δει καλύτερα).

3B: Όχι εγώ δεν πιστεύω, η βάση δε βράζει όμως.

3A: (απευθύνεται στον 3B) Άμα το ακουμπήσεις δηλαδή δε θα καείς;

0: Για να δούμε; Για ακουμπήστε από κάτω. (σταματά το πείραμα και πιάνει το κάτω μέρος του σωλήνα και έπειτα το πάει να το πιάσουν και οι μαθητές)

3A: (ακουμπά το κάτω μέρος του σωλήνα και γυρνά το κεφάλι του στους συμμαθητές του – είναι ξαφνιασμένος και γελά)

3B: Δεν καίει;

3A: Τρομερό!!!

.....
0: Μεταφέρθηκε η θερμότητα στο νερό προς όλες τις κατευθύνσεις;

3A: Ναι.

3B: Όχι.

0: Πήγε προς τα κάτω;

3A: Λίγο.

3B: Καθόλου δεν πήγε προς τα κάτω.

3Γ: Καθόλου.

.....
3B: (απευθύνεται στον 3A) Ναι αλλά είχες πει ότι θα πάει και στις δύο πλευρές το ίδιο γρήγορα και κάτω δεν πήγε καθόλου.

3A: Πήγε λίγο κάτω, δηλαδή...

3B: Μα πώς πήγε, αφού ήταν παγωμένο.

3A: Πήγε λίγο κυρία.

0: Μπόρεσε να φτάσει στον ίδιο χρόνο και κάτω;

3A: Όχι, μέχρι κάτω δεν πήγε, αλλά πήγε λίγο κάτω. Οπότε δε σημαίνει ότι δεν πήγε καθόλου.

.....
0: Μεταφέρθηκε η θερμότητα προς τα κάτω;

1A: Όχι, καθόλου.

1B: Όχι. Βασικά όχι μεταφέρθηκε αλλά πάρα πολύ αργά.

0: Στον ίδιο χρόνο;

1B: Όχι. Ήθελε περισσότερο χρόνο για να μεταφερθεί.

Μετά την πραγματοποίηση του 5^{ου} Πειράματος, οι μαθητές φάνηκε να είναι σε θέση να ξεπεράσουν τις εννοιολογικές δυσκολίες που εξέφρασαν στα προηγούμενα βήματα, αναφορικά με το εάν το νερό είναι καλός αγωγός, καθώς στην πλειοψηφία τους (8/11) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το νερό είναι κακός αγωγός της θερμότητας, διότι η θερμότητα δε μεταφέρεται σε αυτό με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει οι μαθητές στο 1^ο ΔΠ, ότι η διάδοση της θερμότητας με αγωγή πραγματοποιείται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις, φάνηκε ότι τους βοήθησε σε αυτό το σημείο της ακολουθίας να διαπιστώσουν ότι το νερό είναι κακός αγωγός της θερμότητας. Εάν δεν είχαν οδηγηθεί σε αυτό το συμπέρασμα είναι πιθανό σε αυτό το βήμα να εξέφραζαν την άποψη ότι το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας, διότι η διάδοση της θερμότητας σε αυτό πραγματοποιείται με γρήγορο ρυθμό προς μία κατεύθυνση.

0: Άρα σε τι συμπέρασμα καταλήγετε το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

1B: Ε, κακός!

1A: Κακός.

0: Γιατί;

1B: Γιατί δε μεταφέρει τη θερμότητα στον ίδιο χρόνο σε όλες τις κατευθύνσεις, όπως το έκανε ο καλός αγωγός. Και αν ήταν με αγωγή θα πήγαινε και κάτω και πάνω την ίδια... τον ίδιο χρόνο.

1A: Ναι είναι κακός αγωγός, γιατί δεν το... γιατί το μεταφέρει προς τα πάνω μόνο και προς τα κάτω δε μεταφέρεται καθόλου.

0: Σε τι συμπέρασμα καταλήγετε το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

3A: Έτσι κι έτσι (γελά). Κακός!

3Γ: Κακός.

0: Για ποιο λόγο;

3A: Γιατί δεν πηγαίνει προς όλες τις κατευθύνσεις.

3B: Γιατί πάει μόνο προς τα πάνω.

0: Άρα το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

4Γ: Κακός, κακός!

4A: Κακός.

4Γ: Επειδή, ο καλός αγωγός πρέπει να πηγαίνει καλά και πάνω και κάτω, ενώ τώρα δεν πηγαίνει καλά κάτω.

0: Εσύ 4A;

4A: Το ίδιο με τον 4Γ.

Ένας μικρός αριθμός μαθητών (3/11) εξέφρασε την άποψη ότι το νερό είναι μέτριος αγωγός, διότι η διάδοση της θερμότητας σε αυτό πραγματοποιείται με πολύ γρήγορο ρυθμό προς μία μόνο κατεύθυνση. Το γεγονός ότι η διάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με πολύ γρήγορο ρυθμό προς μία μόνο κατεύθυνση στο νερό φάνηκε να δημιουργεί δυσκολίες στους μαθητές στην προσπάθειά τους να το χαρακτηρίσουν ως καλό ή κακό αγωγό. Οι συγκεκριμένοι μαθητές πρότειναν τη δημιουργία μίας νέας κατηγορίας για την περίπτωση του, καθώς θεώρησαν ότι το νερό δε μπορεί να χαρακτηριστεί καλός αγωγός διότι δε μεταφέρεται σε αυτό η θερμότητα προς όλες τις κατευθύνσεις το ίδιο γρήγορα, αλλά ούτε και κακός, διότι η θερμότητα φαίνεται να μεταφέρεται πολύ γρήγορα προς μία μόνο κατεύθυνση (προς τα επάνω).

0: Άρα σε τι συμπέρασμα καταλήγετε το νερό τελικά είναι καλός ή κακός αγωγός; Και γιατί;

2Γ: Καλούτσικος.

2B: Υπάρχει ενδιάμεσο;

2Γ: Ναι καλούτσικος.

2B: Έχει μία δόση καλού και μία δόση κακού.

0: Δηλαδή;

2B: Ότι μπορεί να αφήσει τη θερμότητα να περάσει από μέσα του, αλλά όχι από όλες τις κατευθύνσεις.

2Γ: Ε για αυτό λέω καλούτσικος!

2B: Άρα είναι κακός αγωγός, γιατί δε μπορεί να πάει σε όλες τις κατευθύνσεις, αλλά είναι και καλός αγωγός, γιατί μπορεί να περάσει η θερμότητα από μέσα του. Ενώ στο ξύλο, στο πλαστικό και στο γυαλί δεν πέρασε καθόλου. Είδαμε όταν το πιάσαμε δεν ήταν τόσο... δεν έκαψε.

.....
2B: Μπορούμε να γράψουμε μία καινούρια κατηγορία που λέγεται ενδιάμεσος σε παρένθεση νερό.

0: Άρα το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

4B: Μέτριος προς το κακός. Ας πούμε την προηγούμενη φορά στο πρώτο (εννοεί το 4^ο πείραμα) πήγε η θερμότητα, αλλά τώρα δεν πήγε. Οπότε μπορεί να είναι έτσι κι έτσι. Ούτε κακός, ούτε καλός.

4Γ: Μπορούμε να βγάλουμε μία έξτρα τύπου σαν κατηγορία που θα λέγεται μέτρια αγωγή.

Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα και οι ερμηνείες των μαθητών αναφορικά με το εάν θεωρούν το νερό καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας.

Πίνακας 4.6. Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγουν οι μαθητές, το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας και γιατί;

«Σε τι συμπέρασμα καταλήγετε, το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας, και γιατί;»	N	%
Κακός αγωγός, διότι η θερμότητα δε διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό σε όλες τις κατευθύνσεις	8	73
Μέτριος αγωγός/ δημιουργία νέας κατηγορίας, διότι η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό προς μία μόνο κατεύθυνση	3	27
ΣΥΝΟΛΟ	11	100

4^ο Βήμα: Τι αναμένουν οι μαθητές να συμβεί σχετικά με τη διάδοση της θερμότητας, εάν τοποθετήσουμε ένα σπέρτο σε μικρή απόσταση πάνω από τη φλόγα ενός κεριού; Πειραματική παρατήρηση και εξήγηση του φαινομένου.

Σε αυτό το βήμα της ακολουθίας ζητήθηκε από τους μαθητές να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το τι αναμένουν να συμβεί εάν τοποθετήσουμε ένα σπέρτο σε απόσταση 3 εκ. ακριβώς πάνω από τη φλόγα ενός κεριού.

Η πλειοψηφία των μαθητών (10/11) θεώρησε ότι η θερμότητα θα διαδοθεί μέσω του αέρα, διότι είναι καλός αγωγός. Από αυτούς τους μαθητές οι περισσότεροι (6/10) θεώρησαν ότι το σπέρτο απλά θα ζεσταθεί, ενώ οι υπόλοιποι (4/10) ότι θα ανάψει. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι μαθητές, οι οποίοι στο αρχικό βήμα είχαν θεωρήσει τον αέρα κακό αγωγό, διότι η θερμότητα διαδίδεται σχετικά αργά σε αυτόν, σε αυτή την περίπτωση διατύπωσαν την άποψη ότι ο αέρας γύρω από τη φλόγα του κεριού είναι δυνατόν να θερμανθεί με ευκολία.

0: Η θερμότητα θα μεταφερθεί στον αέρα; Μέσω του αέρα στο σπέρτο;

1A: Εννοείτε άμα θα πάρει φωτιά το σπέρτο;

0: Γενικά ρωτάω τι πιστεύεις ότι θα γίνει;

1A: Απλά θα ζεσταθεί (το σπέρτο).

1B: Θα ανάψει μπροστά και θα αρχίσει σιγά σιγά να καίγεται όλο το ξύλινο, επειδή είναι ξύλο.

0: Η θερμότητα θα μεταφερθεί μέσα από τον αέρα;

1A: Ναι γιατί είναι καλός αγωγός, αλλά δε θα ανάψει.

0: Τι πιστεύετε ότι θα γίνει;

3A: Το σπέρτο θα πάρει φωτιά!

0: Γιατί;

3A: Γιατί όπως είπαμε ότι η θερμότητα πηγαίνει στον αέρα... μεταφέρεται στον αέρα, γιατί είναι καλός αγωγός και θα μπορέσει να πάει και στο σπέρτο.

0: Και τι θα συμβεί στο σπέρτο;

3A: Το σπέρτο θα ανάψει.

0: Μεταξύ της φωτιάς και του σπέρτου τι υπάρχει;

3B: Αέρας.

0: Πιστεύεις ότι η θερμότητα θα μεταφερθεί από τον αέρα μέχρι το σπέρτο;

3B: Α! Αυτό; Ναι προφανώς.

0: Και τι θα συμβεί στο σπέρτο;

(σκέφτεται και δεν απαντά)

0: Θα ζεσταθεί; Θα πάρει φωτιά όπως λέει ο 3A; Τι πιστεύεις;

3B: Θα ζεσταθεί απλά. Όπως βάζουμε ας πούμε το πρόσωπό μας ας πούμε πάνω από κάτι ζεστό, έρχεται από τον αέρα ο ατμός πάνω μας και μας ιδρώνει, μας ζεσταίνει.

4A: Μετά από λίγη ώρα θα καεί.

4Γ: Θα ανάψει.

4B: Ναι μετά από λίγη ώρα θα ζεσταθεί.

0: Γιατί;

4A: Ε γιατί μετά ο αέρας θα θερμανθεί από τη φωτιά που είναι κοντά στο σπέρτο.

4B: (συμπληρώνει αυτό που λέει ο 4A) ... από τη φωτιά και θα πάει στο σπέρτο.

4Γ: Γιατί ο αέρας είναι καλός αγωγός.

2A: Το σπέρτο θα ανάψει, γιατί ο αέρας είναι καλός αγωγός και θα ζεσταθεί.

(απάντηση μαθητή στο πεδίο Πρόβλεψη του Φύλλου Εργασίας)

Μόνο μία μαθήτρια θεώρησε ότι η **θερμότητα δε θα διαδοθεί μέσω του αέρα** μέχρι το σπέρτο. Η συγκεκριμένη μαθήτρια αν και είχε χαρακτηρίσει καλό αγωγό τον αέρα στο πρώτο βήμα θεώρησε ότι δεν είναι δυνατόν να μεταφερθεί η θερμότητα από το κερί στον αέρα που το περιβάλλει.

0: Η θερμότητα θα μεταφερθεί μέσα από τον αέρα στο σπέρτο; Θα ζεσταθεί το σπέρτο;

2Γ: Όχι.

0: Και γιατί είπες πριν ότι είναι καλός αγωγός ο αέρας;

2Γ: Δεν ξέρω πάντως νομίζω ότι δε θα ζεσταθεί το σπέρτο.

0: Άρα ο αέρας δε θεωρείς ότι είναι καλός αγωγός;

2Γ: Όχι. Δεν ξέρω, δε μου φαίνεται λογικό το να περνά... το να έχει... το να ζεσταίνεται αυτός ο αέρας.

0: Αυτός ο αέρας εδώ (της δείχνει τον χώρο που περιβάλλει το κερί);

2Γ: Ναι αυτός ανάμεσα, δε νομίζω ότι θα ζεσταθεί από τη φλόγα.

Η πραγματοποίηση του 6^{ου} Πειράματος φάνηκε να επιβεβαιώνει τις προβλέψεις των μαθητών, καθώς παρατήρησαν ότι το σπίρτο ανάβει σε σύντομο χρονικό διάστημα και **στο σύνολό τους απέδωσαν αυτή τους την παρατήρηση στο γεγονός ότι ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας.**

0: Θα ανάψω το κερί, λοιπόν, και θα τοποθετήσω το σπίρτο περίπου 3 εκ. πάνω από τη φλόγα (τοποθετεί το σπίρτο 3 εκ. περίπου πάνω από τη φλόγα και τους δείχνει περίπου με τον χάρακα την απόσταση). Ωραία, για να δούμε...

(παρατηρούν το σπίρτο)

2Α: Νομίζω μπορεί να ζεσταθεί... δεν ξέρω.

2Γ: (έχει ακουμπήσει το κεφάλι της στο θρανίο για να βλέπει καλύτερα το σπίρτο) Ναι από κάτω γίνεται μαύρο.

2Α: Ναι ζεσταίνεται.

2Β: Φαίνεται και καπνός.

2Α: Ναι.

2Γ: Εντύπωσή μου; Ή το κόκκινο γίνεται πιο φωσφοριζέ;

2Β: Όντως!

2Α: Και το ξύλο νομίζω από κάτω γίνεται μαύρο;

2Γ: Ναι.

2Β: Ναι.

2Α: Έγινε.

2Γ: Έγινε, έγινε.

2Α: Ωω να το!! (ξαφνιάζεται)

0: Τι παρατηρήσατε; Σε πόσα δευτερόλεπτα άναψε;

2Β: (κοιτά το χρονόμετρο) 29 (δευτερόλεπτα).

0: Γιατί πιστεύετε ότι άναψε το σπίρτο;

4Α: Γιατί ο αέρας ε θερμαίνεται.

4Γ: Θερμαίνεται γρήγορα.

4Α: Ναι και έτσι το σπίρτο θερμάνθηκε και αυτό και άναψε.

4Β: Ναι.

0: Άρα τι συμβαίνει με τον αέρα;

4Γ: Είναι καλός αγωγός.

4Β: Είναι καλός.

0: Άρα θερμάνθηκε με αγωγή ο αέρας και άναψε το σπίρτο;

4Β: Ε ναι.

4Α: Ναι.

0: Γιατί συνέβη αυτό;

3A: Γιατί ο αέρας... γιατί ζεσταίνεται ο αέρας και πήγε στο σπέρτο που το είχατε προς τα πάνω και ζεστάθηκε το σπέρτο.

3B: Κυρία τώρα το κατάλαβα.

0: Τι κατάλαβες;

3B: Κυρία επειδή μεταφέρεται πολύ γρήγορα η θερμότητα επειδή είναι καλός αγωγός και είναι φωτιά από κάτω και ανάβει επειδή αυτό... είναι εύφλεκτο υλικό αυτό που έχει στην άκρη το σπέρτο, ανάβει γρήγορα, γιατί ζεσταίνεται.

5^ο Βήμα: Εάν ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας, σε πόσο χρόνο αναμένουν οι μαθητές να ανάψουν δύο σπέρτα που θα τοποθετηθούν σε μικρή απόσταση και εκατέρωθεν της φλόγας τους κεριού; Πειραματική παρατήρηση και διατύπωση συμπεράσματος αναφορικά με το εάν ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας.

Σε αυτό το βήμα ζητήθηκε από τους μαθητές να εκφράσουν τις απόψεις τους αναφορικά με τον χρόνο στον οποίο θεωρούν ότι θα πρέπει να ανάψουν δύο σπέρτα τα οποία πρόκειται να τοποθετηθούν στην ίδια απόσταση από τη φλόγα του κεριού, αλλά εκατέρωθεν αυτής, εφόσον εξέφρασαν την άποψη στο προηγούμενο βήμα, ότι ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας.

Οι μαθητές στο σύνολό τους θεώρησαν ότι τα σπέρτα θα ανάψουν στο ίδιο χρονικό διάστημα που άναψε και το σπέρτο στο προηγούμενο πείραμα, καθώς ο αέρας είναι καλός αγωγός.

0: Άρα άναψε το σπέρτο όταν το βάλαμε από πάνω γιατί μου είπατε ότι ο αέρας είναι καλός αγωγός.

3A: Ναι καλός αγωγός.

3Γ: Πολύ καλός.

0: Άρα αν ο αέρας είναι καλός αγωγός και ανβάλω τώρα δύο σπέρτα δεξιά και αριστερά από τη φλόγα, στα ίδια εκατοστά 3 εκ. δεξιά και αριστερά από τη φλόγα, σε πόση ώρα πρέπει να ανάψουν;

3A: Σε... (κοιτά το χρονόμετρο) 9 και 46 (αναφέρεται στο χρονικό διάστημα στο οποίο άναψε το σπέρτο που τοποθετήθηκε πάνω από τη φλόγα).

0: Τώρα θαβάλουμε τα σπέρτα δεξιά και αριστερά μόνο. Στην ίδια απόσταση με πριν. Σε πόσο θα πρέπει να ανάψουν αυτά τα σπέρτα;

4Γ: Σε 10,76 δευτερόλεπτα.

4A: Το ίδιο με πριν.

4B: Το ίδιο.

0: Για ποιο λόγο;

4A: Γιατί είναι καλός αγωγός.

4B: Γιατί είναι και τα ίδια εκατοστά, οπότε δεν έχει σημασία εάν θα είναι πάνω ή πλάγια.

0: Αν τώρα επαναλάβουμε το πείραμα και τοποθετήσω δύο σπέρτα δεξιά και αριστερά, στην ίδια απόσταση 3 εκ. από τη φλόγα, σε πόσο χρόνο θα πρέπει να ανάψουν τα σπέρτα;

1A: Το ίδιο 6 δευτερόλεπτα.

1B: Αν είναι με αγωγή θα πρέπει... αν είναι με αγωγή και είναι καλός αγωγός, θα πρέπει να ανάψει στον ίδιο χρόνο, στα 6 δευτερόλεπτα.

Οι μαθητές, ωστόσο ήρθαν σε σύγκρουση με την προηγούμενη τους άποψη, όταν κατά την πραγματοποίηση του 7^{ου} Πειράματος παρατήρησαν ότι μετά την παρέλευση του χρονικού διαστήματος στο οποίο άναψε το σπίρτο του προηγούμενου πειράματος, δεν ανάψαν τα σπίρτα τα οποία τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν της φλόγας.

0: Ωραία, άρα θα επαναλάβω το πείραμα, θα πατήσεις επαναφορά (στο χρονόμετρο) και θα τοποθετήσω τα σπίρτα δεξιά και αριστερά από τη φλόγα στα 3 εκ. περίπου. Τοποθετώ τα σπίρτα εδώ περίπου.

2A: Να πατήσω;

0: Ναι πάτα.

2Γ: Γίνονται τα κόκκινα φωσφορίζε.

0: Σε πόση ώρα περιμένουμε να ανάψουν;

2A: Ε πιστεύω στα 40 δευτερόλεπτα θα πρέπει να έχουν ανάψει.

2B: 50 (δευτερόλεπτα).

(μετά από λίγο)

2Γ: Δε θα ανάψουν.

2A: A!!! Κατάλαβα κάτι άλλο τώρα.

0: Τι;

2A: Ότι ήταν κάτι... πριν ήταν από πάνω. Όταν είναι από πάνω η φωτιά πάει προς τα πάνω. Τώρα δεν πάει πλάγια, δεξιά ή αριστερά, οπότε δε θα ανάψουν!

0: Ο 2A λέει δε θα ανάψουν, εσείς πιστεύετε ότι θα ανάψουν σε λίγη ώρα;

2A: (κουνά αρνητικά το κεφάλι της)

2B: Εγώ δε λέω όχι, αλλά νομίζω...

0: Πόση ώρα θες να περιμένουμε;

2A: Δεν έχει γίνει καν ελάχιστα μαύρο από κάτω (εννοεί τα σπίρτα).

0: Εσύ 2Γ τι παρατηρείς; Αλλάζει κάτι;

2Γ: Δε θα ανάψουν. Φαίνεται πως το νερό και ο αέρας έχουν... είναι και οι δύο κακοί αγωγοί. Καλούτσικοι αγωγοί.

0: Εσύ 2B θες να περιμένουμε κι άλλο;

2B: Όχι.

0: Είμαστε σχεδόν στα 2 θα περιμένουμε μέχρι τα 2 (λεπτά).

2A: Πιστεύω δε θα ανάψει, γιατί δεν είναι αγωγός.

(περνούν τα 2 λεπτά και απομακρύνει τα σπίρτα από τη φλόγα)

Μετά την πραγματοποίηση του 7^{ου} Πειράματος, οι μαθητές φάνηκε να είναι σε θέση να ξεπεράσουν τις εννοιολογικές δυσκολίες που εξέφρασαν στα προηγούμενα βήματα, αναφορικά με το εάν ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός, καθώς στην πλειοψηφία τους (8/11) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αέρας είναι κακός αγωγός της θερμότητας, διότι η θερμότητα δε μεταφέρεται σε αυτόν με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις. Και σε αυτό το σημείο της ακολουθίας φάνηκε ότι βοήθησε τους μαθητές να διαπιστώσουν ότι ο αέρας είναι κακός αγωγός της θερμότητας, το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει στο 1^ο ΔΠ, ότι η διάδοση της θερμότητας με αγωγή πραγματοποιείται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις. Εάν οι μαθητές δεν είχαν οδηγηθεί σε αυτό το συμπέρασμα

είναι πιθανό σε αυτό το βήμα να εξέφραζαν την άποψη ότι ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας, διότι η διάδοση της θερμότητας σε αυτόν πραγματοποιείται με γρήγορο ρυθμό προς μία κατεύθυνση.

0: Άρα σε τι συμπέρασμα καταλήγετε ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός;

4Γ: Κακός, κακός. Γιατί αντί να πηγαίνει μπροστά, πίσω, αριστερά, δεξιά. Πηγαίνει μόνο πάνω.

0: Σε τι συμπέρασμα καταλήγετε; Ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός;

3Α: Ότι είναι κακός αγωγός, γιατί δεν πηγαίνει προς όλες τις κατευθύνσεις.

3Β: Ο αέρας είναι κακός αγωγός, γιατί δε μεταφέρει τη θερμότητα σε όλες τις κατευθύνσεις.

0: Σε τι συμπέρασμα καταλήγετε ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός;

1Β: Είναι κακός αγωγός, γιατί δεν είναι με αγωγή, δε μεταφέρει τη θερμότητα το ίδιο... στον ίδιο χρόνο σε όλες τις κατευθύνσεις. Γιατί αν ήταν με αγωγή θα πήγαινε και πάνω και αριστερά και δεξιά, προς όλες τις κατευθύνσεις.

0: 1Α καλός ή κακός λες;

1Α: Κακός αγωγός, γιατί μεταφέρεται μόνο προς τα πάνω και όχι δεξιά και αριστερά. Είναι σαν το νερό.

Και στην περίπτωση του αέρα ένας μικρός αριθμός μαθητών (3/11) εξέφρασε την άποψη ότι είναι μέτριος αγωγός. Το γεγονός ότι η διάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με πολύ γρήγορο ρυθμό προς μία μόνο κατεύθυνση στον αέρα φάνηκε να δημιουργεί δυσκολίες στους μαθητές στην προσπάθειά τους να τον χαρακτηρίσουν ως καλό ή κακό αγωγό. Και σε αυτή την περίπτωση οι μαθητές πρότειναν τη δημιουργία μίας νέας κατηγορίας για την περίπτωση του αέρα.

0: Άρα σε τι συμπέρασμα καταλήγετε ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας;

2Β: Καλούτσικος.

2Α: Καλούτσικος.

0: Καταλαβαίνω ότι εννοείς ότι δεν μπορεί να είναι ούτε το ένα, ούτε το άλλο, όπως είπες πριν (για το νερό), αλλά ποια είναι η γνώμη σου για τον αέρα;

2Α: Είναι καλός, επειδή άναψε το κερί (εννοεί σπέρτο), όμως όταν..

0: Άναψε προς τα πού;

2Α: Προς τα πάνω. Όμως είναι κακός, γιατί δεν άναψε προς δεξιά ή αριστερά, δηλαδή σε όλες τις κατευθύνσεις. Οπότε είναι σαν ίδιο με το νερό για εμένα.

0: Άρα σε ένα υλικό που μεταφέρεται η θερμότητα μόνο προς τη μία μεριά μπορούμε να πούμε ότι είναι καλός αγωγός;

2Α: Όχι.

2Β: Αλλά δεν είναι ούτε κακός, γιατί πάει προς τα πάνω. Είναι νέα κατηγορία καλούτσικος.

4Α: Είναι μέτριος αγωγός πιστεύω.

0: Δηλαδή; Πώς το εξηγείς το μέτριος;

4Α: Ότι πάει προς τα πάνω, αλλά δεν πάει προς τα κάτω, ούτε προς τα πλάγια. Άρα είναι περίπου στη μέση. Άρα είναι μέτριος αγωγός.

Ο: Για ποιο λόγο;

4Α: Γιατί πάει σε μία κατεύθυνση. Άρα είναι στο $1/3$ του αέρα.

Ο: Πάει στο $1/3$ του αέρα εννοείς;

4Α: Ναι.

Ο: Άρα δεν μπορείς να τον πεις ούτε καλό ούτε κακό εννοείς;

4Α: Ναι. Ας πούμε είναι ο καλός αγωγός εδώ (δείχνει τη μία άκρη του θρανίου), ο μέτριος αγωγός (δείχνει τη μέση του θρανίου) και ο κακός αγωγός (δείχνει την άλλη άκρη του θρανίου). Ο αέρας είναι κάπου εδώ (δείχνει στη μέση της απόστασης που όρισε).

Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα συμπεράσματα και οι ερμηνείες των μαθητών αναφορικά με το εάν θεωρούν το νερό καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας.

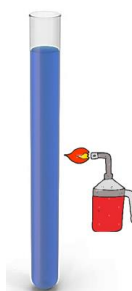
Πίνακας 4.7. Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγουν οι μαθητές, ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας και γιατί;

«Σε τι συμπέρασμα καταλήγετε, ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας, και γιατί;»	N	%
Κακός αγωγός, διότι η θερμότητα δε διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό σε όλες τις κατευθύνσεις	8	73
Μέτριος αγωγός/ δημιουργία νέας κατηγορίας, διότι η θερμότητα διαδίδεται με γρήγορο ρυθμό προς μία μόνο κατεύθυνση	3	27
ΣΥΝΟΛΟ	11	100

6^ο Βήμα: Εφαρμογή του συμπεράσματος σε μία νέα κατάσταση

Στο τελευταίο βήμα αυτού του μέρους της ακολουθίας οι μαθητές κλήθηκαν να εφαρμόσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν στο προηγούμενο βήμα σε δύο νέες καταστάσεις.

Αρχικά παρουσιάστηκε στους μαθητές ένα σκίτσο, στο οποίο απεικονίζονταν ένας δοκιμαστικός σωλήνας μεγάλου μήκους που περιείχε παγωμένο νερό και θερμαινόταν με ένα καμινέτο ακριβώς στο κέντρο του. Οι μαθητές κλήθηκαν να διατυπώσουν τις απόψεις τους αναφορικά με το εάν αναμένουν να είναι το ίδιο ζεστό το πάνω και το κάτω μέρος του σωλήνα, όταν θερμανθεί για κάποιο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 4.5. Σκίτσο δραστηριότητας εφαρμογής 3^{ου} ΔΠ, για το νερό

Στο σύνολό τους οι μαθητές εξέφρασαν την άποψη ότι η θερμότητα θα διαδοθεί πολύ γρήγορα στο πάνω μέρος του σωλήνα, διότι το νερό είναι κακός αγωγός της θερμότητας και η θερμότητα δε διαδίδεται σε αυτό με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις. Ως εκ τούτου, θεώρησαν ότι μετά από την παρέλευση κάποιου χρονικού διαστήματος κατά το οποίο θα θερμαίνεται ο σωλήνας, το πάνω μέρος του θα βράζει, ενώ το κάτω θα παραμένει παγωμένο.

0: Αν ακουμπήσουμε τον σωλήνα στο πάνω και στο κάτω μέρος του, θα είναι το ίδιο ζεστά τα δύο σημεία;

3Α: Όχι! Πιστεύω πως θα πάει πιο γρήγορα πάνω, γιατί όπως είδαμε ότι κάτω δεν πηγαίνει... δεν πηγαίνει κάτω, άμα το θερμάνουμε από ένα σημείο, γιατί είναι κακός αγωγός.

0: Άρα μετά από κάποια ώρα αν ακουμπήσουμε πάνω και κάτω τι θα παρατηρήσουμε;

3Α: Ότι πάνω θα είναι πολύ πιο ζεστό και κάτω μπορεί να έχει πολύ λίγο... εε... καθόλου. Δηλαδή, άμα ακουμπήσουμε κάτω κάτω δε θα είναι ζεστό.

1Β: Εγώ πιστεύω ότι... επειδή όλα αυτά τα πράγματα που κάναμε σήμερα... επειδή στο νερό... το νερό είναι κακός αγωγός, δε μεταφέρει το ίδιο και στις δύο μεριές, οπότε στην πάνω μεριά θα μεταφερθεί η θερμότητα, ενώ στην κάτω δε θα μεταφερθεί.

1Α: Ακριβώς.

0: Οπότε τα σημεία θα είναι το ίδιο ζεστά;

1Β: Ε όχι. Το πάνω θα είναι πιο ζεστό και το κάτω πιο κρύο.

0: Οκ, 1Α;

1Α: Το ίδιο πάνω κάτω, αυτό πιστεύω. Γιατί όπως έδειξε και το πείραμα με τους σωλήνες και το... αυτό που κάναμε το πρώτο... δείχνει ότι η θερμότητα θα μεταφερθεί μόνο προς τα πάνω και προς τα κάτω όχι.

2Α: Πιστεύω ότι θα θερμανθεί μόνο προς τα πάνω, γιατί όπως είδαμε και στα άλλα πειράματα το νερό είναι κακός αγωγός.

(απάντηση μαθητή στο πεδίο της Δραστηριότητας του Φύλλου Εργασίας)

Έπειτα, στους μαθητές παρουσιάστηκε μία φωτογραφία στην οποία παριστάνονταν δύο παγάκια τα οποία είχαν τυλιχθεί με αλουμινόχαρτο, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Το ένα παγάκι ήταν τυλιγμένο πολύ σφιχτά με ένα αλουμινόχαρτο, ενώ το άλλο ήταν τυλιγμένο με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτει ελεύθερος χώρος αέρα ανάμεσα στο παγάκι και στο αλουμινόχαρτο.

Η πλειοψηφία των μαθητών (7/11) εξέφρασε την άποψη ότι ο αέρας είναι κακός αγωγός της θερμότητας και για αυτό τον λόγο θα καθυστερήσει η διάδοση της θερμότητας προς το παγάκι. Έτσι, θεώρησαν ότι το παγάκι που δεν είναι τυλιγμένο σφιχτά με το αλουμινόχαρτο θα λιώσει με πιο αργό ρυθμό. Παράλληλα, οι ίδιοι μαθητές διευκρίνισαν ότι το παγάκι που είναι τυλιγμένο σφιχτά με το αλουμινόχαρτο θα λιώσει πιο γρήγορα, διότι το αλουμινόχαρτο είναι καλός αγωγός και έτσι θα μεταφερθεί πιο γρήγορα η θερμότητα σε αυτή την περίπτωση.

0: Έχουμε τυλίξει πάρα πολύ σφιχτά το πρώτο παγάκι και το δεύτερο με το κενό αέρα, πιστεύετε ότι κάποιο από τα παγάκια θα λιώσει πιο γρήγορα από το άλλο και γιατί;

1A: Το ένα όμως έχει γύρω του αέρα και το άλλο όχι. Όμως έχει... βασικά... θα λιώσει πιο γρήγορα αυτό που δεν έχει αέρα και μετά αυτό που έχει αέρα.

0: Για ποιο λόγο;

1A: Γιατί, δεν πάει... γιατί ο αέρας θα μεταφέρει από πάνω προς τα κάτω. Όχι! Από κάτω προς τα πάνω και όχι προς όλες τις κατευθύνσεις. Άρα πιστεύω ότι θα μεταφερθεί η θερμότητα θα πάει πιο γρήγορα στο παγάκι 1 για αυτό το λόγο (εννοεί το παγάκι που είναι τυλιγμένο σφιχτά).

1B: Εγώ, διαφωνώ κάπως με τον 1A. Βασικά όχι, συμφωνώ στη σειρά, π.χ. ότι πρώτα θα λιώσει το ένα και μετά το 2. Ε και πιστεύω ότι επειδή το δεύτερο... (κάνει παύση)

0: Σε τι διαφωνείς με τον 1A;

1B: Επειδή το δεύτερο έχει αέρα και όπως είπαμε είναι κακός αγωγός δε θα μεταφέρει τόσο γρήγορα τη θερμότητα ώστε να λιώσει το παγάκι, ενώ στο άλλο επειδή δεν έχει καθόλου αέρα θα μεταφερθεί γρήγορα η θερμότητα και θα λιώσει εύκολα.

1A: Αυτό είπα και εγώ.

4A: Ότι θα ζεσταθεί πιο γρήγορα το πρώτο, γιατί αφού δεν έχει αέρα θα θερμανθεί πιο εύκολα.

0: Ενώ στο δεύτερο τι θα γίνει;

4A: Θα πάρει λίγη ώρα.

4Γ: Το ίδιο. Εγώ λέω ότι θα λιώσει πιο γρήγορα το πρώτο (αυτό που είναι σφιχτά τυλιγμένο)

0: Γιατί όμως;

4Γ: Επειδή, το αλουμινόχαρτο είναι φτιαγμένο από αλουμίνιο που είναι πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και αν υπάρχει τύπου ζέστη απέξω, το αλουμινόχαρτο θα μεταδώσει τη ζέστη στο παγάκι και το παγάκι θα λιώσει πιο γρήγορα. Ενώ στο δεύτερο θα λιώσει, αλλά πιο αργά, επειδή θα έχει μέσα αέρα, που όπως είδαμε δεν είναι και τόσο καλός αγωγός της θερμότητας, οπότε μόνο αν υπάρχει μία θερμική πηγή ακριβώς από κάτω του.

0: Δε θα υπάρχει είπαμε. Έτσι όπως τα βλέπεις είναι.

4Γ: Οπότε θα λιώσει λίγο πιο αργά.

1B: Πιστεύω ότι πρώτα θα λιώσει το 1 (έχει δώσει αυτή την αρίθμηση στο παγάκι που είναι τυλιγμένο σφιχτά με το αλουμινόχαρτο) και μετά το 2 (το παγάκι που δεν είναι σφιχτά τυλιγμένο), γιατί στο 1 δεν έχει αέρα, οπότε η θερμότητα θα μεταφερθεί γρήγορα, ενώ στο άλλο επειδή έχει τον αέρα και ο αέρας είναι κακός αγωγός θα εμποδίσει τη θερμότητα να μπει μέσα.

(απάντηση μαθητή στο πεδίο της Δραστηριότητας στο Φύλλο Εργασίας)

Ωστόσο, σημαντικός αριθμός μαθητών (3/11) εξέφρασε την άποψη ότι το αλουμινόχαρτο ως υλικό σώμα έχει την ιδιότητα να θερμαίνει τα άλλα σώματα και ως εκ τούτου θεώρησε ότι το αλουμινόχαρτο θα ζεστάνει πολύ πιο γρήγορα το παγάκι που είναι τυλιγμένο σφιχτά με αυτό και για αυτό το λόγο θα λιώσει πιο γρήγορα συγκριτικά με το άλλο.

0: Πιστεύετε ότι κάποιο από τα παγάκια θα λιώσει πιο γρήγορα από το άλλο και γιατί;

2A: Το πρώτο που είναι πιο σφιχτά, επειδή πιστεύω επειδή είναι σφιχτά θα ζεσταθεί και έτσι θα λιώσει πιο γρήγορα.

0: Στο δεύτερο τι θα γίνει;

2A: Θα λιώσει και αυτό.

2B: Αλλά αργά.

2A: Όμως πιο αργά.

0: Γιατί θα λιώσει αυτό πιο αργά; Τι είναι αυτό που θα το κάνει να λιώσει πιο αργά;

2A: Επειδή δεν είναι σφιχτό, οπότε δε θα το κάνει να ζεσταθεί και να λιώσει γρήγορα.

0: Τι είναι αυτό που θα το κάνει να ζεσταθεί;

2A: Το αλουμινόχαρτο και πώς το έχουν τυλιγμένο πιστεύω.

2B: Δεν το ακουμπάει στο δεύτερο (εννοεί το αλουμινόχαρτο δεν ακουμπά το παγάκι).

2Γ: Όχι. (σκέφτεται και μετά από λίγο συνεχίζει) Εγώ νομίζω ότι θα λιώσουν μαζί, γιατί στην ουσία είναι και τα δύο σε αλουμινόχαρτο και το αλουμινόχαρτο κρατάει τη θερμοκρασία ενός πράγματος, ενός φαγητού, οπότε μάλλον θα λιώσουν μαζί.

0: Αλλά, δεν είναι το ίδιο υπάρχει αέρας στη δεύτερη περίπτωση, ανάμεσα στο αλουμινόχαρτο και στο παγάκι, αυτό πιστεύετε ότι θα επηρεάσει καθόλου;

2Γ: Όχι.

2A: Εγώ πιστεύω ναι, όπως το έχουν τυλίξει. Επειδή είναι σφιχτό και πιστεύω το κάνει να λιώνει επειδή το ακουμπά, ενώ το άλλο που δεν είναι σφιχτό και ανάμεσα έχει αέρα μπορεί να αργήσει ελάχιστα να λιώσει.

0: Πιστεύεις ότι παίζει κάποιο ρόλο ο αέρας;

2A: Λίγο ναι.

0: Πώς;

2A: Ότι του αφήνει κενό, οπότε δε θα λιώσει και τόσο γρήγορα όσο το άλλο που είναι σφιχτό.

2B: Συμφωνώ με τον 2A. Ότι το άλλο το ακουμπάει, απλά δεν... όταν συνήθως όταν ακουμπάει κάτι το παγάκι λιώνει πιο εύκολα.

2A: Ναι ναι. Επειδή όταν δεν υπάρχει κάπου κρύο το παγάκι λιώνει, οπότε πιστεύω θα λιώσει, όπως και το άλλο, απλώς αυτό που είναι τυλιγμένο σφιχτά θα το βοηθήσει και το αλουμινόχαρτο που το έχει τυλιγμένο σφιχτά και έτσι θα λιώσει λίγο πιο γρήγορα.

0: Δε θα επηρεάσει που υπάρχει κενό αέρα;

2Γ: Νομίζω όχι.

0: Γιατί;

2Γ: Δεν ξέρω, νομίζω ότι θα είναι το ίδιο, δε θα επηρεάσει.

0: Επειδή αυτό που είπες ότι το υλικό το αλουμινόχαρτο είναι για να κρατάει ζεστά τα πράγματα;

2Γ: Ζεστά ή κρύα ναι.

0: Εσύ 2B;

2B: Πιστεύω πως θα λιώσει το τυλιγμένο πιο πολύ, επειδή θα το ακουμπάει, γιατί το βοηθάει να λιώσει πιο πολύ το παγάκι.

2Γ: Θα λιώσουν μαζί, διότι το αλουμινόχαρτο είναι υλικό που κρατάει τη θερμοκρασία του φαγητού, οπότε θα λιώσουν μαζί και πιστεύω ο αέρας δεν επηρεάζει.

(απάντηση μαθήτριας στο πεδίο της Δραστηριότητας στο Φύλλο Εργασίας)

2Α: Θα λιώσει πρώτο το τυλιγμένο σφιχτά, γιατί θα το κάνει να ζεσταθεί πιο γρήγορα το αλουμινόχαρτο, επειδή θα είναι τυλιγμένο πιο καλά.

(απάντηση μαθητή στο πεδίο της Δραστηριότητας στο Φύλλο Εργασίας)

Σε μία μόνο περίπτωση διατυπώθηκε η άποψη από έναν μαθητή ότι το παγάκι που δεν είναι τυλιγμένο σφιχτά με το αλουμινόχαρτο θα καθυστερήσει να λιώσει, διότι το παγάκι «θα παγώσει» τον αέρα που θα υπάρχει γύρω του και έτσι θα μπορέσει να παραμείνει παγωμένο.

3Α: Εγώ πιστεύω πως θα λιώσει πρώτα... πως δε θα λιώσει τόσο γρήγορα αυτό εδώ που είναι μεγάλο, που έχει αέρα μέσα, γιατί ο αέρας θα... το παγάκι θα κρυώσει τον αέρα και ο αέρας θα κρυώνει το παγάκι, οπότε ουσιαστικά θα είναι πιο κρύο το μέρος και δε θα λιώσει με τέτοια ταχύτητα το παγάκι. Ενώ εδώ πέρα (δείχνει το παγάκι που είναι σφικτά τυλιγμένο) δεν υπάρχει αέρας, δεν υπάρχει κάτι να κρυώσει το παγάκι και θα ζεσταθεί από το αλουμινόχαρτο. Γιατί το αλουμινόχαρτο είναι φτιαγμένο από αλουμίν... από σίδηρο ας το πούμε, που το σίδηρο είναι καλός αγωγός και ένα... και σε θερμοκρασία δωματίου θα ζεσταθεί λίγο και το αλουμινόχαρτο και θα περάσει μέσα στο παγάκι (η θερμότητα).

0: Και τι ακριβώς θα συμβεί στο παγάκι που υπάρχει αέρας;

3Α: Όπως είχαμε πει στον Χειμώνα ότι άμα κάνει κρύο, ο αέρας είναι κρύος. Το παγάκι θα κρυώσει τον αέρα που είναι μέσα και δε θα είναι το... και θα είναι πιο κρύο το μέσα... ο αέρας που υπάρχει (κάνει μία κυκλική κίνηση με το χέρι του για την κίνηση του αέρα).

0: Η θερμότητα απέξω θα επηρεάσει καθόλου αυτόν τον αέρα;

3Α: Θα τον ζεστάνει, αλλά εδώ πέρα δε θα υπάρχει καθόλου αέρας να ζεστάνει (δείχνει το 1^ο παγάκι στη φωτογραφία).

0: Ναι εμείς λέμε για το 2^ο.

3Α: Σε αυτό εδώ (δείχνει το 2^ο παγάκι) το παγάκι θα κρυώσει τον αέρα, οπότε θα είναι και λίγο πιο κρύο το μέσα ... θα μπορεί το παγάκι να είναι σε πιο κρύο μέρος και θα αργήσει λιγότερο να λιώσει.

(κάνει νόημα ότι θέλει να προσθέσει και συνεχίζει)

Α! Αλλά εδώ πέρα (δείχνει ξανά το 1^ο παγάκι) θα περάσει η θερμότητα του δωματίου, θα ζεστάνει το αλουμινόχαρτο και θα ζεσταθεί και το μέσα. Εδώ δεν έχει αέρα, ενώ εδώ έχει, οπότε αυτό!

4.4.2 Σύνοψη των αποτελεσμάτων του τρίτου διδακτικού πειράματος

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα κατά την εφαρμογή του τρίτου ΔΠ παρατηρείται ότι:

1. Στην περίπτωση του νερού, οι μαθητές ακολούθησαν δύο διαφορετικά μονοπάτια μάθησης, κατά την πορεία τους προς το συμπέρασμα. Συγκεκριμένα, προκύπτουν τα εξής:

i) Πρώτο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν οκτώ (8) μαθητές. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Αρχικά θεώρησαν ότι **το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας**, διότι σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες είναι ένα υλικό σώμα που **μπορεί να θερμανθεί με μεγάλη ευκολία**. Για παράδειγμα:

1Α: Πιστεύω ότι το νερό είναι καλός αγωγός, γιατί τη μεταφέρει εύκολα πιστεύω εγώ τη θερμότητα.

0: Έχετε παραδείγματα από την καθημερινότητα; Τι είναι αυτό που σας κάνει να λέτε ότι είναι καλός αγωγός;

1Α: Ναι όταν η κατσαρόλα βράζει, το νερό ζεσταίνεται πάρα πολύ και μεταφέρεται γρήγορα.

1Β: Συμφωνώ με τον 1Α, γιατί μεταφέρεται σε λιγότερο από ένα λεπτό, δηλαδή βάζεις την κατσαρόλα με νερό και γίνεται καυτό σε λιγότερο από ένα λεπτό.

β) Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης του νερού (4ο και 5ο Πείραμα), **έτειναν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή στην περίπτωση του νερού** και να αναμένουν η θερμότητα να διαδοθεί με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις σε αυτό. Για παράδειγμα:

0: Γιατί πιστεύετε ότι έβρασε όλο το νερό;

1Α: Γιατί η θερμότητα μεταφέρθηκε πάρα πολύ γρήγορα.

1Β: Και εγώ συμφωνώ με αυτό, επειδή είναι καλός αγωγός μεταφέρθηκε η θερμότητα άρχισε σιγά σιγά να βράζει και μετά ανέβηκε.

0: Εάν ζεστάθηκε τόσο γρήγορα το νερό με αγωγή, δηλαδή είναι καλός αγωγός και επαναλάβουμε το πείραμα, δηλαδή πάρουμε έναν άλλο δοκιμαστικό σωλήνα και θάλουμε την ίδια ποσότητα νερού, αλλά αυτή τη φορά ζεστάνουμε το νερό, όχι από την κάτω μεριά, αλλά από την πάνω μεριά. Σε πόσο χρόνο θα πρέπει να βράσει μέχρι κάτω;

1Α: Το ίδιο γρήγορα, πιστεύω την ίδια ώρα.

1Β: Πιστεύω το ίδιο με τον 1Α, ότι επειδή έτσι κι αλλιώς η θερμότητα μεταδίδεται ίσα και σε όλες τις κατευθύνσεις, θα πάει το ίδιο και κάτω.

γ) Μετά την πραγματοποίηση των πειραμάτων θέρμανσης του νερού **κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το νερό είναι κακός αγωγός της θερμότητας**, διότι η διάδοσή της σε αυτό δε λαμβάνει χώρα με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις. Για παράδειγμα:

0: Άρα σε τι συμπέρασμα καταλήγετε το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

1Β: Ε, κακός!

1Α: Κακός.

0: Γιατί;

1B: Γιατί δε μεταφέρει τη θερμότητα στον ίδιο χρόνο σε όλες τις κατευθύνσεις, όπως το έκανε ο καλός αγωγός. Και αν ήταν με αγωγή θα πήγαινε και κάτω και πάνω την ίδια... τον ίδιο χρόνο.

1A: Ναι είναι κακός αγωγός, γιατί δεν το... γιατί το μεταφέρει προς τα πάνω μόνο και προς τα κάτω δε μεταφέρεται καθόλου.

δ) Κατά τη φάση της γενίκευσης ήταν **σε θέση να εφαρμόσουν αποτελεσματικά το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει σε μία νέα κατάσταση**. Για παράδειγμα:

2A: Πιστεύω ότι θα θερμανθεί μόνο προς τα πάνω, γιατί όπως είδαμε και στα άλλα πειράματα το νερό είναι κακός αγωγός.

ii) Δεύτερο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **τρεις (3) μαθητές**. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Αρχικά θεώρησαν ότι **το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας**, διότι σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες είναι ένα υλικό σώμα που **μπορεί να θερμανθεί με μεγάλη ευκολία**. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

β) Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης του νερού (4ο και 5ο Πείραμα), **έτειναν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή στην περίπτωση του νερού** και να αναμένουν η θερμότητα να διαδοθεί με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις σε αυτό. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

γ) Μετά την πραγματοποίηση των πειραμάτων θέρμανσης του νερού **κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το νερό είναι μέτριος αγωγός της θερμότητας**, διότι η διάδοσή της σε αυτό πραγματοποιείται με πολύ γρήγορο ρυθμό προς μία μόνο κατεύθυνση. Οι συγκεκριμένοι μαθητές φάνηκε να δυσκολεύονται να χαρακτηρίσουν το νερό καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας και έτειναν να προτείνουν τη δημιουργία μίας νέας κατηγορίας για την περίπτωση του. Για παράδειγμα:

0: Άρα το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός;

4B: Μέτριος προς το κακός. Ας πούμε την προηγούμενη φορά στο πρώτο (εννοεί το 4^ο πείραμα) πήγε η θερμότητα, αλλά τώρα δεν πήγε. Οπότε μπορεί να είναι έτσι κι έτσι. Ούτε κακός, ούτε καλός.

4Γ: Μπορούμε να βγάλουμε μία έξτρα τύπου, σαν κατηγορία που θα λέγεται μέτρια αγωγή.

δ) Κατά τη φάση της γενίκευσης ήταν σε θέση να εφαρμόσουν αποτελεσματικά το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει σε μία νέα κατάσταση. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

2. Στην περίπτωση του αέρα, οι μαθητές ακολούθησαν **τρία διαφορετικά μονοπάτια μάθησης**, κατά την πορεία τους προς το συμπέρασμα. Συγκεκριμένα προκύπτουν τα εξής:

i) *Πρώτο μονοπάτι μάθησης*

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **τέσσερις (4) μαθητές**. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Αρχικά θεώρησαν ότι **ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας**, διότι σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες είναι ένα υλικό σώμα που **μπορεί να θερμανθεί**. Για παράδειγμα:

1B: Και εγώ συμφωνώ με τον 1A και συμφωνώ και με αυτό που είπε ότι όταν έχει καύσωνα ζεσταίνεται και όταν έχει και φωτιά π.χ. πάλι ζεσταίνεται και πολλές φορές μπορεί να τη μεταφέρει κιόλας.

β) Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης του αέρα (6ο και 7ο Πείραμα), **έτειναν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή στην περίπτωση του αέρα** και να αναμένουν η θερμότητα να διαδοθεί με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις σε αυτόν. Για παράδειγμα:

0: Γιατί συνέβη αυτό;

3A: Γιατί ο αέρας.. γιατί ζεσταίνεται ο αέρας και πήγε στο σπέρτο που το είχατε προς τα πάνω και ζεστάθηκε το σπέρτο.

3B: Κυρία τώρα το κατάλαβα, επειδή μεταφέρεται πολύ γρήγορα η θερμότητα επειδή είναι καλός αγωγός και είναι φωτιά από κάτω και ανάβει επειδή αυτό... είναι εύφλεκτο υλικό αυτό που έχει στην άκρη το σπέρτο, ανάβει γρήγορα, γιατί ζεσταίνεται.

0: Τώρα θα βάλουμε τα σπέρτα δεξιά και αριστερά μόνο. Στην ίδια απόσταση με πριν. Σε πόσο θα πρέπει να ανάψουν αυτά τα σπέρτα;

4Γ: Σε 10,76 δευτερόλεπτα.

4A: Το ίδιο με πριν.

0: Για ποιο λόγο;

4A: Γιατί είναι καλός αγωγός.

4B: Γιατί είναι και τα ίδια εκατοστά, οπότε δεν έχει σημασία εάν θα είναι πάνω ή πλάγια.

1B: Αν είναι με αγωγή θα πρέπει.. αν είναι με αγωγή και είναι καλός αγωγός, θα πρέπει να ανάψει στον ίδιο χρόνο, στα 6 δευτερόλεπτα.

γ) Μετά την πραγματοποίηση των πειραμάτων θέρμανσης του αέρα **κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αέρας είναι κακός αγωγός της θερμότητας**, διότι η διάδοσή της σε αυτόν δε λαμβάνει χώρα με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις. Για παράδειγμα:

0: Σε τι συμπέρασμα καταλήγετε ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός;

1B: Είναι κακός αγωγός, γιατί δεν είναι με αγωγή, δε μεταφέρει τη θερμότητα στον ίδιο χρόνο σε όλες τις κατευθύνσεις. Γιατί αν ήταν με αγωγή θα πήγαινε και πάνω και αριστερά και δεξιά, προς όλες τις κατευθύνσεις.

δ) Κατά τη φάση της γενίκευσης ήταν σε θέση να εφαρμόσουν αποτελεσματικά το **συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει σε μία νέα κατάσταση**. Για παράδειγμα:

1B: Επειδή το δεύτερο έχει αέρα και όπως είπαμε είναι κακός αγωγός δε θα μεταφέρει τόσο γρήγορα τη θερμότητα ώστε να λιώσει το παγάκι, ενώ στο άλλο επειδή δεν έχει καθόλου αέρα θα μεταφερθεί γρήγορα η θερμότητα και θα λιώσει εύκολα.

ii) Δεύτερο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **τέσσερις (4) μαθητές**. Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Αρχικά θεώρησαν ότι **ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας**, διότι σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες είναι ένα υλικό σώμα που **μπορεί να θερμανθεί**. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

β) Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης του αέρα (6ο και 7ο Πείραμα), **έτειναν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή στην περίπτωση του αέρα** και να αναμένουν η θερμότητα να διαδοθεί με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις σε αυτόν. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

γ) Μετά την πραγματοποίηση των πειραμάτων θέρμανσης του αέρα **κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αέρας είναι κακός αγωγός της θερμότητας**, διότι η διάδοσή της σε αυτόν δε λαμβάνει χώρα με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

δ) Κατά τη φάση της γενίκευσης **δεν ήταν σε θέση να εφαρμόσουν αποτελεσματικά το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει σε μία νέα κατάσταση.** Οι μαθητές αυτοί φάνηκε να επηρεάζονται στη διατύπωση της άποψής τους, από εναλλακτικές ιδέες οι οποίες δεν είχαν ληφθεί υπόψη στη φάση του σχεδιασμού της ΔΜΑ. Για παράδειγμα:

2Α: Θα λιώσει πρώτο το τυλιγμένο σφιχτά, γιατί θα το κάνει να ζεσταθεί πιο γρήγορα το αλουμινόχαρτο, επειδή θα είναι τυλιγμένο πιο καλά.

3Α: Εγώ πιστεύω πως θα λιώσει πρώτα... πως δε θα λιώσει τόσο γρήγορα αυτό εδώ που είναι μεγάλο, που έχει αέρα μέσα, γιατί ο αέρας θα... το παγάκι θα κρυώσει τον αέρα και ο αέρας θα κρυώνει το παγάκι, οπότε ουσιαστικά θα είναι πιο κρύο το μέρος και δε θα λιώσει με τέτοια ταχύτητα το παγάκι. Ενώ εδώ πέρα (δείχνει το παγάκι που είναι σφιχτά τυλιγμένο) δεν υπάρχει αέρας, δεν υπάρχει κάτι να κρυώσει το παγάκι και θα ζεσταθεί από το αλουμινόχαρτο.

iii) Τρίτο μονοπάτι μάθησης

Την εν λόγω πορεία μάθησης ακολούθησαν **τρεις (3) μαθητές.** Συγκεκριμένα, οι μαθητές:

α) Αρχικά θεώρησαν ότι **ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας**, διότι σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες είναι ένα υλικό σώμα που **μπορεί να θερμανθεί.** Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

β) Κατά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης του αέρα (6ο και 7ο Πείραμα), **έτειναν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή στην περίπτωση του αέρα** και να αναμένουν η θερμότητα να διαδοθεί με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις σε αυτόν. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

γ) Μετά την πραγματοποίηση των πειραμάτων θέρμανσης του νερού **κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αέρας είναι μέτριος αγωγός της θερμότητας**, διότι η διάδοσή της σε αυτόν πραγματοποιείται με πολύ γρήγορο ρυθμό προς μία μόνο κατεύθυνση. Οι συγκεκριμένοι μαθητές φάνηκε να δυσκολεύονται στο να χαρακτηρίσουν τον αέρα καλό ή κακό αγωγό της θερμότητας και έτειναν να προτείνουν τη δημιουργία μίας νέας κατηγορίας για την περίπτωσή του. Για παράδειγμα:

4Α: Είναι μέτριος αγωγός πιστεύω.

Ο: Δηλαδή; Πώς το εξηγείς το μέτριος;

4Α: Ότι πάει προς τα πάνω, αλλά δεν πάει προς τα κάτω, ούτε προς τα πλάγια. Άρα είναι περίπου στη μέση. Άρα είναι μέτριος αγωγός.

2Α: Είναι καλός, επειδή άναψε το κερί (εννοεί σπέρτο), όμως είναι κακός, γιατί δεν άναψε προς δεξιά ή αριστερά, δηλαδή σε όλες τις κατευθύνσεις. Οπότε είναι σαν ίδιο με το νερό για εμένα. Είναι νέα κατηγορία καλούτσικος.

δ) Κατά τη φάση της γενίκευσης ήταν σε θέση να εφαρμόσουν αποτελεσματικά το συμπέρασμα στο οποίο είχαν καταλήξει σε μία νέα κατάσταση. Για παράδειγμα:

(δες απόσπασμα που παρατίθενται στο αντίστοιχο σημείο στο πρώτο μονοπάτι μάθησης)

5. Συζήτηση

Βασική επιδίωξη της παρούσας έρευνας ήταν η καταγραφή και η διερεύνηση των μονοπατιών μάθησης μαθητών Ε' τάξης του Δημοτικού Σχολείου, κατά την οικοδόμηση στοιχείων του επιστημονικά αποδεκτού μοντέλου για την εξήγηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή. Συγκεκριμένα, στόχος ήταν η καταγραφή και η διερεύνηση των μαθησιακών μονοπατιών των μαθητών, κατά την οικοδόμηση της επιστημονικά αποδεκτής άποψης ότι: α) η θερμότητα διαδίδεται με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα, β) η διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα διάφορων στερεών υλικών σωμάτων οφείλεται στο είδος των υλικών αυτών, και γ) το νερό και ο αέρας είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας.

Σημαντικά εμπόδια στα μονοπάτια μάθησης των μαθητών φάνηκε ότι ήταν τα ακόλουθα:

α) **Η ισχυρή τάση των μαθητών να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας φάνηκε να αποτελεί σημαντικό εμπόδιο κατά την οικοδόμηση του μηχανισμού της αγωγής.** Συγκεκριμένα, οι μαθητές φάνηκε να θεωρούν ότι η θερμότητα είναι μία ουσία με ιδιότητες ρευστού. Κατά συνέπεια, κάποιοι έτειναν να θεωρούν ότι μοιάζει με κάποιο αντικείμενο το οποίο μεταβιβάζεται από την πηγή θέρμανσης προς το σώμα, το οποίο θερμαίνεται και μπορεί και κινείται στο εσωτερικό του με ευκολία προς τα κάτω, διότι υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις. Άλλοι μαθητές έτειναν να ταυτίζουν τη θερμότητα με τον ζεστό αέρα και θεωρούσαν ότι διαδίδεται με ευκολία προς τα πάνω και συγκεκριμένα ότι η θέρμανση λαμβάνει χώρα εξωτερικά του αντικειμένου. Οι απόψεις αυτές των μαθητών φάνηκε να βρίσκονται σε συμφωνία με τα ευρήματα πολλών μελετών που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία, σύμφωνα με τα οποία μαθητές αυτών των ηλικιών (10-11 ετών) τείνουν να θεωρούν ότι η θερμότητα έχει υλικές ιδιότητες (Albert, 1978; Chi & Slotta, 1993; Chi et al., 1994; Chiou & Anderson, 2009; Erickson, 1979, 1980; Erickson & Tiberghien, 1985; Haglund et al., 2014; Howe, 1998; Lautetrey & Mazens, 2004; Liu, 2011; Reiner et al., 2000; Yeo & Zadnik, 2001) και τους εμποδίζουν στο να αντιληφθούν το υπό μελέτη φαινόμενο με όρους μεταφοράς ενέργειας (Kesidou & Duit, 1993).

β) **Οι μαθητές έτειναν να θεωρούν ένα σώμα καλό αγωγό της θερμότητας με κριτήριο το εάν αυτό μπορεί να θερμανθεί εξωτερικά.** Στη διαμόρφωση αυτής της άποψης φάνηκε να παίζουν καθοριστικό ρόλο οι καθημερινές τους εμπειρίες, σύμφωνα με τις οποίες είχαν παρατηρήσει διάφορα σώματα, όπως το γυαλί, ξύλο, κ.ά. να θερμαίνονται εξωτερικά. Έχοντας αυτή την αντίληψη έτειναν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή σε σώματα που θεωρούνται κακοί αγωγοί της θερμότητας,

όπως το πλαστικό, το ξύλο ή το γυαλί και θεωρούσαν ότι η θερμότητα μπορεί να διαδοθεί με γρήγορο ρυθμό σε αυτά τα υλικά. Επιπλέον, χρησιμοποιούσαν και εναλλακτικά κριτήρια στην προσπάθειά τους να εκτιμήσουν τον ρυθμό με τον οποίο θα διαδοθεί η θερμότητα σε κάποιο υλικό. Τα κριτήρια αυτά αφορούσαν στη μεταβλητή της μάζας ή σε διάφορα παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά των σωμάτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με τα ευρήματα αρκετών ερευνών, η εστίαση των μαθητών σε κριτήρια όπως τα παραπάνω στην προσπάθειά τους να χαρακτηρίσουν ένα σώμα ως αγωγό της θερμότητας φαίνεται να είναι αρκετά συχνή μεταξύ μαθητών της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης (Clough & Driver, 1985; Kesidou & Duit, 1993).

γ) Η προαναφερθείσα εναλλακτική αντίληψη των μαθητών σε συνδυασμό με τις καθημερινές τους εμπειρίες, σύμφωνα με τις οποίες είχαν παρατηρήσει ότι το νερό και ο αέρας μπορούν να θερμανθούν με μεγάλη ευκολία, **ώθησε τους μαθητές να γενικεύσουν τον μηχανισμό της αγωγής στην περίπτωση αυτών των σωμάτων.** Κατά συνέπεια έτειναν να εκφράζουν την άποψη ότι το νερό και ο αέρας θεωρούνται καλοί αγωγοί της θερμότητας. Επιπρόσθετα, εφόσον έχει προηγηθεί η οικοδόμηση ενός ερμηνευτικού μηχανισμού για τη διάδοση της θερμότητας με αγωγή, τον γενίκευσαν και σε αυτά τα σώματα, καθώς θεωρούσαν ότι η θερμότητα διαδίδεται σε αυτά με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις.

Κομβικά σημεία τα οποία βοήθησαν τους μαθητές να **ξεπεράσουν τα παραπάνω εμπόδια** φάνηκε να ήταν τα ακόλουθα:

1. **Η πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης μετάλλων** στα οποία είχαν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν την ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας σε σημεία του υλικού που έχουν κάποια υψομετρική διαφορά φάνηκε να τους βοηθά να αντιμετωπίσουν την εναλλακτική τους ιδέα ότι η θερμότητα έχει υλική υπόσταση. Οι μαθητές που θεωρούσαν ότι η θερμότητα υπόκειται σε βαρυτικές αλληλεπιδράσεις, αλλά και αυτοί που την ταύτιζαν με τον ζεστό αέρα, κατά την πραγματοποίηση τέτοιων πειραμάτων φάνηκε να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν αυτές τις ιδέες τους και να αποδεσμεύσουν την έννοια της θερμότητας από την υλική υπόσταση που έτειναν να της αποδίδουν. Ειδικότερα, το πείραμα στο οποίο παρατηρήθηκε η ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας προς όλες τις κατευθύνσεις, στη μεταλλική βελόνα που ενσωμάτωνε κατακόρυφα τμήματα είχε ιδιαίτερη αξία στην αντιμετώπιση των παραπάνω ιδεών των μαθητών. Αξίζει να αναφερθεί ότι αυτά τα πειράματα θέρμανσης μετάλλων φάνηκε να αποτελούν σημαντικά διδακτικά εργαλεία με αυτόνομη αξία, καθώς συντέλεσαν στην εννοιολογική μετατόπιση των μαθητών, χωρίς να απαιτείται η αξιοποίηση κάποιου άλλου εργαλείου ή οποιουδήποτε είδους παρέμβασης.

Αξίζει να αναφερθεί **ωστόσο ότι παρά το γεγονός ότι οι μαθητές φάνηκε να αποδεσμεύουν τη θερμότητα από την υλική υπόσταση που της απέδιδαν, δεν ήταν σε θέση να ερμηνεύσουν περαιτέρω την ταυτόχρονη διάδοσή της προς όλες τις κατευθύνσεις κατά τη θέρμανση μεταλλικών αντικειμένων.** Σε κάποιες περιπτώσεις μαθητών παρατηρήθηκε ότι στην προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν σε μεγαλύτερο βάθος το εν λόγω φαινόμενο έτειναν να μεταβιβάζουν την αιτία του σε ιδιότητες του υλικού του μετάλλου. Στο σημείο αυτό φάνηκε ότι οι μαθητές δυσκολεύονταν σημαντικά να αντιληφθούν την άυλη υπόσταση της θερμότητας. Η δυσκολία αυτή φαίνεται να είναι αναμενόμενη, καθώς όπως εντοπίζεται και στη βιβλιογραφία οι μαθητές έχουν την ισχυρή τάση να ερμηνεύουν φαινόμενα που συντελούνται σε μικροσκοπικό επίπεδο, υιοθετώντας

μία μακροσκοπική λογική (Krnell et al., 1998), αλλά και να αποδίδουν τις σχέσεις αιτίου – αποτελέσματος που παρατηρούνται σε διάφορα φυσικά φαινόμενα αποκλειστικά σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ διάφορων μορφών της ύλης (Driver et al., 1993).

2. **Η πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης διάφορων στερεών υλικών σωμάτων στα οποία οι μαθητές μπόρεσαν να παρατηρήσουν ότι η θερμότητα δε διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό σε αυτά τους βοήθησε να αντιμετωπίσουν εναλλακτικές ιδέες που αναδείχθηκαν αναφορικά με τα κριτήρια με τα οποία εκτιμούσαν, εάν ένα σώμα είναι καλός αγωγός της θερμότητας.** Μέσα από την πραγματοποίηση τέτοιων πειραμάτων φάνηκε να είναι σε θέση να διαπιστώσουν ότι η θερμότητα δε διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό σε όλα τα υλικά σώματα, αλλά και να διαπιστώσουν ότι σώματα για τα οποία σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες έχουν την αντίληψη ότι άγουν τη θερμότητα, είναι κακοί αγωγοί. Παράλληλα, **τέτοια πειράματα φάνηκε ότι μπορούν να αξιοποιηθούν για την εισαγωγή των εννοιών των καλών και των κακών αγωγών.** Σε δεύτερο χρόνο οι έννοιες αυτές χρησιμοποιήθηκαν, ώστε να αντιμετωπιστεί η δυσκολία των μαθητών να γενικεύουν τον μηχανισμό της αγωγής στην περίπτωση των ρευστών (νερό και αέρας).

3. **Η πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης νερού και αέρα, στα οποία οι μαθητές είχαν τη δυνατότητα να παρατηρήσουν ότι η θέρμανση αυτών των σωμάτων δεν πραγματοποιείται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις φάνηκε να τους βοηθά να αντιμετωπίσουν την αναμενόμενη τάση τους να γενικεύουν τον μηχανισμό της αγωγής σε αυτά τα σώματα.** Κατά την ερμηνεία των παρατηρησιακών δεδομένων αυτών των πειραμάτων η αξιοποίηση των εννοιών των καλών και των κακών αγωγών ήταν κομβικής σημασίας, καθώς αξιοποιήθηκε, ώστε να διασαφηνιστεί ότι η θέρμανση του νερού δε μπορεί να αποδίδεται αποκλειστικά στη διάδοση της θερμότητας με αγωγή. Επιπλέον, **για τη διατύπωση του συμπεράσματος ότι το νερό και ο αέρας είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας φάνηκε ότι ήταν χρήσιμο αρχικά οι μαθητές να έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η διάδοση της θερμότητας με αγωγή συντελείται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις.** Έχοντας καταλήξει σε αυτό το συμπέρασμα και παρατηρώντας ότι η διάδοση της θερμότητας δεν πραγματοποιείται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις στην περίπτωση του νερού και του αέρα, ήταν σε θέση να διατυπώσουν την άποψη ότι αυτά τα σώματα είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας.

6. Συμπεράσματα - Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα της έρευνας

Από την έρευνα προέκυψε ότι **μαθητές Ε΄ τάξης μπορούν να οικοδομήσουν στοιχεία του επιστημονικά αποδεκτού μοντέλου για την εξήγηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή.** Τα εμπόδια που φάνηκε να συναντούν κατά την πορεία τους προς το επιδιωκόμενο συμπέρασμα αντιμετωπίστηκαν ικανοποιητικά μέσα από την εφαρμογή της ΔΜΑ.

Συγκεκριμένα, **αναφορικά με τα ερευνητικά υποερωτήματα 1α και 1β προέκυψε ότι μαθητές Ε΄ τάξης μπορούν να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη ότι η διάδοση της θερμότητας με αγωγή στα μέταλλα λαμβάνει χώρα με την ίδια ταχύτητα προς όλες τις κατευθύνσεις.** Αναδείχθηκαν συγκεκριμένα μονοπάτια μάθησης, μέσω των

οποίων οι μαθητές μπορούν να αντιμετωπίσουν τις σχετικές εννοιολογικές δυσκολίες που προκύπτουν. Συνοπτικά οι μαθητές κατά την πορεία τους προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη φαίνεται να ακολουθούν την εξής πορεία: **αρχικά, τείνουν να αποδίδουν υλική υπόσταση στην έννοια της θερμότητας** και για αυτό τον λόγο θεωρούν ότι μπορεί να «κινήθει» με ευκολία προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση (είτε προς τα πάνω, είτε προς τα κάτω). Στη συνέχεια, **η πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης μετάλλων** στα οποία παρατηρείται η ταυτόχρονη διάδοση της θερμότητας προς όλες τις κατευθύνσεις, ανεξάρτητα από τη μεταβλητή του ύψους **βοηθά τους μαθητές να αντιμετωπίσουν την προαναφερθείσα ισχυρή τους εναλλακτική αντίληψη** και να καταλήξουν στο συμπέρασμα ότι η θερμότητα διαδίδεται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις στα μέταλλα.

Αναφορικά με τα ερευνητικά υποερωτήματα 2α και 2β προέκυψε ότι μαθητές Ε' τάξης **μπορούν να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη ότι η διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα των διάφορων στερεών υλικών σωμάτων οφείλεται στο είδος των υλικών αυτών**. Αναδείχθηκαν συγκεκριμένα μονοπάτια μάθησης, μέσω των οποίων οι μαθητές μπορούν να αντιμετωπίσουν τις σχετικές εννοιολογικές δυσκολίες που προκύπτουν. Συνοπτικά οι μαθητές κατά την πορεία τους προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη φαίνεται να ακολουθούν την εξής πορεία: **αρχικά, τείνουν να γενικεύουν τον μηχανισμό διάδοσης της θερμότητας με αγωγή σε σώματα, τα οποία σύμφωνα με τις καθημερινές τους εμπειρίες μπορούν να θερμανθούν εξωτερικά**. Επιπλέον, τείνουν να εκτιμούν τον ρυθμό διάδοσής της με κριτήριο την παραπάνω εναλλακτική ιδέα, καθώς και με κριτήρια που αφορούν σε παρατηρήσιμες ιδιότητες των υλικών. **Μετά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης διάφορων στερεών υλικών σωμάτων είναι σε θέση να ξεπεράσουν τις δυσκολίες που προαναφέρθηκαν και να αποδώσουν τη διαφορά στη θερμική αγωγιμότητα των διάφορων υλικών στη σύστασή τους**. Παράλληλα, είναι σε θέση να αντιληφθούν τις έννοιες των καλών και κακών αγωγών της θερμότητας.

Αναφορικά με τα ερευνητικά υποερωτήματα 3α και 3β προέκυψε ότι μαθητές Ε' τάξης **μπορούν να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη ότι το νερό και ο αέρας είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας**. Αναδείχθηκαν συγκεκριμένα μονοπάτια μάθησης, μέσω των οποίων οι μαθητές μπορούν να αντιμετωπίσουν τις σχετικές εννοιολογικές δυσκολίες που προκύπτουν. Συνοπτικά οι μαθητές κατά την πορεία τους προς την επιστημονικά αποδεκτή άποψη φαίνεται να ακολουθούν την εξής πορεία: **αρχικά, τείνουν να θεωρούν το νερό και τον αέρα καλούς αγωγούς της θερμότητας**, διότι με βάση τις καθημερινές τους εμπειρίες είναι σώματα που μπορούν να θερμανθούν με ευκολία. Έτσι, **είναι σε θέση να γενικεύουν τον μηχανισμό της αγωγής σε αυτά τα σώματα και να θεωρούν ότι η θερμότητα διαδίδεται σε αυτά με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις**. **Μετά την πραγματοποίηση πειραμάτων θέρμανσης νερού και αέρα οι μαθητές είναι σε θέση να αντιληφθούν ότι τα σώματα αυτά είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας, καθώς παρατηρούν ότι δε θερμαίνονται με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις**. Για τη διατύπωση αυτού του συμπεράσματος από τους μαθητές προκύπτει ότι είναι **κομβικής σημασίας η αξιοποίηση των εννοιών των καλών και κακών αγωγών**, η εισαγωγή των οποίων πραγματοποιήθηκε στο 2^ο ΔΠ, αλλά και η αξιοποίηση του συμπεράσματος στο οποίο κατέληξαν στο τέλος του 1^{ου} ΔΠ, ότι κατά τη μεταφορά με αγωγή η διάδοση της θερμότητας λαμβάνει χώρα με τον ίδιο ρυθμό προς όλες τις κατευθύνσεις.

6.2 Προτάσεις, περιορισμοί και προεκτάσεις της έρευνας

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των ΔΜΑ είναι ότι αναπτύσσονται σταδιακά, μέσα από διαδοχικές υλοποιήσεις. Τα ερευνητικά δεδομένα που προκύπτουν από αυτή τη διαδικασία μπορούν να συμβάλλουν στη διαδικασία βελτίωσής τους. Συγκεκριμένα, μετά το στάδιο της αξιολόγησης ακολουθούν βελτιωτικές διορθώσεις, ο επανασχεδιασμός της ακολουθίας και έπειτα η εκ νέου εφαρμογή της. Η εν λόγω διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου η ΔΜΑ κριθεί αποτελεσματική βάσει των στόχων της (Méheut & Psillos, 2004). Στο πλαίσιο αυτό από την εφαρμογή της ΔΜΑ φαίνεται να προκύπτουν κάποια σημαντικά ευρήματα, τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στη διαδικασία βελτίωσής της σε μία πιθανή μελλοντική επανεφαρμογή. Συνοπτικά τα ευρήματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Στο 1^ο ΔΠ κατά την παρακολούθηση των βιντεοσκοπημένων πειραμάτων (1^ο και 2^ο Πείραμα), εξαιτίας των πολλών μεταβλητών που υπεισέρχονται στην πειραματική διαδικασία παρατηρούνται μικρές αποκλίσεις στις χρονικές στιγμές στις οποίες λιώνουν οι σταγόνες πηγμένου κεριού. Το γεγονός αυτό φάνηκε να δημιουργεί σημαντικές δυσκολίες στους μαθητές στην προσπάθειά τους να διατυπώσουν μία άποψη αναφορικά με την κατεύθυνση διάδοσης της θερμότητας. Ακόμα και η παρατήρησή τους ότι η χρονική απόκλιση μπορεί να είναι της τάξης των δευτερολέπτων φάνηκε να έχει αυτόνομη αξία στη διαμόρφωση της άποψής τους. Για την αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας η ΔΜΑ θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με ένα εισαγωγικό μάθημα, το οποίο θα αφορά στα σφάλματα μέτρησης που υπεισέρχονται κατά την πειραματική διαδικασία.

2. Κατά τη φάση της γενίκευσης του 1^{ου} ΔΠ διαπιστώθηκε ότι κάποιοι μαθητές φάνηκε να θεωρούν ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας διαφοροποιείται κατά τη θέρμανση της μεταλλικής ράβδου που είναι τοποθετημένη σε οριζόντια θέση, συγκριτικά με αυτές που βρίσκονται σε κάποια κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Για την αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας η ΔΜΑ θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με ένα επιπλέον πείραμα, στο οποίο οι μαθητές θα μπορούν να παρατηρούν ότι ο ρυθμός διάδοσης της θερμότητας δε διαφοροποιείται κατά τη θέρμανση αντικειμένων σε οριζόντια θέση.

3. Στο 2^ο ΔΠ κατά την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος, διαπιστώθηκε ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να παρατηρήσουν μία πιθανή μετακίνηση της πινέζας στη γυάλινη ράβδο. Στο σημείο αυτό, αν και δεν είχε ληφθεί υπόψη στον αρχικό σχεδιασμό προτάθηκε από τους μαθητές και υιοθετήθηκε σε όλες τις ομάδες, να πραγματοποιηθεί μέτρηση της απόστασης των πινεζών στις ράβδους από γυαλί, πλαστικό και ξύλο, ώστε να διαπιστωθεί η πιθανή μετακίνησή τους. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η δυσκολία κρίνεται σκόπιμο η ΔΜΑ να εμπλουτιστεί με την παραπάνω πρόταση.

4. Στο 2^ο ΔΠ κατά την πραγματοποίηση του 3^{ου} Πειράματος, διαπιστώθηκε ότι σημαντικός αριθμός μαθητών έτεινε να εστιάζει στη μεταβλητή της μάζας, προκειμένου να διατυπώσει μία άποψη αναφορικά με τον ρυθμό με τον οποίο διαδίδεται η θερμότητα στα διάφορα υλικά. Για την αντιμετώπιση αυτής της δυσκολίας κρίνεται απαραίτητο η ΔΜΑ να εμπλουτιστεί σε αυτό το σημείο, με επιπλέον στοιχεία που να αφορούν στην εν λόγω μεταβλητή. Για παράδειγμα, η επιλογή των υλικών του 3^{ου} Πειράματος θα μπορούσε να επανεκτιμηθεί λαμβάνοντας υπόψη και το εν λόγω κριτήριο.

5. Κατά τη φάση γενίκευσης του 3^{ου} ΔΠ κάποιοι μαθητές δεν ήταν σε θέση να εφαρμόσουν το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν σε μία νέα κατάσταση για την περίπτωση του αέρα, αλλά φάνηκε να επηρεάζονται από εναλλακτικές ιδέες που εντοπίζονται στη βιβλιογραφία, αλλά δε λήφθηκαν υπόψη κατά τον σχεδιασμό της εν λόγω

δραστηριότητας. Συγκεκριμένα, η εναλλακτική αντίληψη ότι το υλικό του αλουμινόχαρτου ζεσταίνει ενεργητικά τα αντικείμενα με τα οποία έρχεται σε επαφή (Lewis & Linn, 1994), αλλά και ότι τα κρύα αντικείμενα διαδίδουν μία ουσία αντίθετη της θερμότητας (κρυότητα) στο περιβάλλον τους (Erickson, 1979, 1980; Jasien & Oberem, 2002) αποτέλεσαν σημαντικό εννοιολογικό εμπόδιο στην προσπάθεια των μαθητών να γενικεύσουν το συμπέρασμά τους για την περίπτωση του αέρα. Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη δραστηριότητα που αφορούσε στην εφαρμογή του συμπεράσματος για τον αέρα κρίνεται σκόπιμο να αντικατασταθεί με κάποια άλλη δραστηριότητα εφαρμογής, στην οποία θα μελετάται αν οι μαθητές μπορούν να εφαρμόσουν το συμπέρασμα ότι ο αέρας είναι κακός αγωγός της θερμότητας, αλλά δε θα εμπλέκονται οι προαναφερθείσες εναλλακτικές ιδέες.

Συνοψίζοντας, η αξιοποίηση της μεθόδου του Διδακτικού Πειράματος (Komorek & Duit, 2004), για την υλοποίηση της έρευνας φαίνεται ότι παρέχει ασφαλή συμπεράσματα αναφορικά με τα μονοπάτια μάθησης που επιδιώχθηκε να αναδειχθούν. Η εν λόγω μέθοδος επέτρεψε την εις βάθος διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών, καθώς συνέβαλε στην καταγραφή των εννοιολογικών δυσκολιών τους, αλλά και των τρόπων με τους οποίους αυτές μπορούν να ξεπεραστούν. Ωστόσο, ο αριθμός των συμμετεχόντων στην έρευνα ήταν μικρός και η επιλογή τους έγινε με μη τυχαίο τρόπο (βολική επιλογή συμμετεχόντων). Ως εκ τούτου, θα είχε πρακτική αξία η ΔΜΑ να βελτιωθεί, λαμβάνοντας υπόψη τα ευρήματα που προαναφέρθηκαν και να εφαρμοστεί εκ νέου σε μεγαλύτερο αριθμό συμμετεχόντων.

Τέλος, προτείνονται κάποια επιμέρους ερωτήματα, τα οποία θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως προεκτάσεις της έρευνας:

- *Με ποιον τρόπο θα μπορούσε να εμπλουτιστεί η ακολουθία, ώστε επιτευχθεί η εννοιολογική κατανόηση του μηχανισμού διάδοσης της θερμότητας με αγωγή σε μεγαλύτερο βάθος;*
- *Με ποιον τρόπο θα μπορούσε να εμπλουτιστεί η ακολουθία, ώστε να μελετηθεί ο βαθμός στον οποίο μαθητές Ε' τάξης είναι σε θέση να οικοδομήσουν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη για το φαινόμενο των ρευμάτων μεταφοράς στα ρευστά σώματα;*

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση

- Driver, R., Guesne, E. & Tiberghien A. (1993). *Οι ιδέες των παιδιών στις φυσικές επιστήμες*. Ένωση Ελλήνων Φυσικών – Τροχαλία.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (2000). *Οικο-δομώντας τις έννοιες των Φυσικών Επιστημών. Μία παγκόσμια σύνοψη των Ιδεών των Μαθητών*. Τυπωθήτω.
- Ζουπίδης, Α. (2012). *Διδασκαλία και μάθηση με τη χρήση μοντέλων Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίας: Εφαρμογή στα φαινόμενα της πλεύσης και της βύθισης*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Φυσική – Μηχανική, Κυματική, Θερμοδυναμική, Ηλεκτρομαγνητισμός, Οπτική*. Gutenberg.
- Hewitt, P. (2013). *Οι έννοιες της Φυσικής*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Κανέλλος, Σ. (1966). *Μηχανική – Θερμότης*. Εκδοτικός οίκος «ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΥ».
- Καριώτογλου, Π. (2004). Διερεύνηση διδακτικών - μαθησιακών ακολουθιών: Η περίπτωση των δυνάμεων. Στο Β. Τσελφές, Π. Καριώτογλου & Μ. Πατσαδάκης (Επιμ.) *Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και τις νέες Τεχνολογίες – Φυσικές Επιστήμες: Διδασκαλία, Μάθηση & Εκπαίδευση*, σελ. 119-122. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Λεύκος, Ι., Ψύλλος, Δ., & Χατζηκρανιώτης, Ε. (2011). Ενισχύοντας την εννοιολογική κατανόηση των μαθητών Γυμνασίου στην περιοχή των θερμικών φαινομένων με μία διδακτική σειρά εμπλουτισμένη με ΤΠΕ. Στο Γ. Παπαγεωργίου, Γ. Κουντουριώτης (Επιμ.) *Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση – Αλληλεπιδράσεις Εκπαιδευτικής Έρευνας και Πράξης στις Φυσικές Επιστήμες*, σελ. 670-678. Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.
- Σταράκης, Ι., Χαλκιά Κ. (2015). Διδακτική Προσέγγιση του φαινομένου της Εναλλαγής των Εποχών στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση. Στο Δ. Ψύλλος, Α. Μολοχίδης, & Μ. Καλλέρη (Επιμ.). *Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Διδασκαλία και Μάθηση στις Φυσικές Επιστήμες και την Τεχνολογία: Έρευνες, Καινοτομίες και Πρακτικές*, σελ. 287-295. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Τσελφές, Β. (1994). Αλλαγή και επιστημονικές έννοιες: ιστορική προσέγγιση. Στο Β. Κουλαϊδής (Επιμ.) *Αναπαραστάσεις του φυσικού κόσμου*, σελ. 156-169. Gutenberg.
- Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας φυσικές επιστήμες. Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί, προτάσεις*. Πατάκη.

Ξενόγλωσση

- Adadan, E., & Yavuzkaya, M. (2018). Examining the progression and consistency of thermal concepts: A cross-age study. *International Journal of Science Education*, 40(4), 371–396.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1423711>
- 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>
- Albert, E. (1978). Development of the concept of heat in children. *Science Education*, 62, 389.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730620316>
- Andersson, B., & Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education*, 89, 196–218. <https://doi.org/10.1002/sce.20044>
- Andersson, B., Bach, F., Hagman, M., Olander, C., & Wallin, A. (2005). Discussing a research program for the improvement of science teaching. In K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong, & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the quality of science education, Part 4* (pp. 221-230). Springer.
<https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6>

- Arnold, M., & Millar, R. (1996). Learning the scientific 'story': a case study in the teaching and learning of elementary thermodynamics. *Science Education*, 80(3), 249–281.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199606\)80:3<249::AID-SCE1>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199606)80:3<249::AID-SCE1>3.0.CO;2-E)
- Aydin, G., & Balim, A. G. (2011). The Activities Based on conceptual change strategies prepared by science teacher candidates. *Western Anatolia Journal of Educational Science*.
http://web.deu.edu.tr/baed/giris/baed/ozel_sayi/557-566.pdf
- Başer, M. (2006). Fostering conceptual change by cognitive conflict based instruction on students' understanding of heat and temperature concepts. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2(2), 96–114. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75458>
- Başer, M. & Geban, Ö. (2007). Effectiveness of conceptual change instruction on understanding of heat and temperature concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25(1), 115–133.
<https://doi.org/10.1080/02635140601053690>
- Baydere, F. (2021). Effects of a context-based approach with prediction–observation–explanation on conceptual understanding of the states of matter, heat, and temperature. *Chemistry Education Research and Practice*, 22, 640–652. <https://doi.org/10.1039/D0RP00348D>
- Beall, H. (1994). Probing student misconceptions in thermodynamics with in-class writing. *Journal of Chemical Education*, 71(12), 1056–1057. <https://doi.org/10.1021/ed071p1056>
- Besson, U., Borghi, L., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). A Three- Dimensional Approach and Open Source Structure for the Design and Experimentation of Teaching-Learning Sequences: The case of friction. *International Journal of Science Education*, 32 (10), 1289–1313.
<https://doi.org/10.1080/09500690903023350>
- Brook, A., Briggs, H., Bell, B., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of heat*. Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2 (2), 141–178.
https://doi.org/10.1207/s15327809jls0202_2
- Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J. F. (2004). Learning hypotheses and associated tools to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26, 579–604. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614735>
- Cazzaniga, L., Giliberti, M., & Ludwig, N. (2011). The use of infrared thermography to create a “bridge” connecting physics in the lab to physics of building. In A. Lindell, A.-L. Kähkönen, & J. Viiri (Eds.), *GIREP-EPEC* (pp. 13–18). University of Jyväskylä.
- Chang, H., & Linn, M. (2013). Scaffolding Learning from Molecular Visualizations. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(7), 858–886. <https://doi.org/10.1002/tea.21089>
- Carlton, K. (2000). Teaching about heat and temperature. *Physics Education*, 35(2), 101–105.
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/35/2/304>
- Chen, J. K. & Linn, M. (2019). Impact of Choice on Students' Use of an Experimentation Model for Investigating Ideas About Thermodynamics. In Lund, K., Niccolai, G. P., Lavoué, E., Hmelo-Silver, C., Gweon, G., & Baker, M. (Eds.), *A Wide Lens: Combining Embodied, Enactive, Extended, and Embedded Learning in Collaborative Settings, 13th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) 2019, Volume 2* (pp. 708–711). International Society of the Learning Sciences. <https://doi.dx.org/10.22318/cscl2019.708>
- Chi, M. T. H., & Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and Instruction*, 10(2 & 3), 249–260. <https://www.jstor.org/stable/3233728>
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27–43.
[https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90017-5)
- Chiou, G. L., & Anderson, O. R. (2009). A study of undergraduate physics students' understanding of heat conduction based on mental model theory and an ontology–process analysis. *Science Education*, 94(5), 825–854. <https://doi.org/10.1002/sce.20385>
- Chiou, G., & Anderson, R. (2010). A Multi-dimensional Cognitive Analysis of Undergraduate Physics Students' Understanding of Heat Conduction. *International Journal of Science Education*, 32(16), 2113–2142. <https://doi.org/10.1080/09500690903258246>

- Chu, H., Treagust, D., Yeo, S., & Zadnik, M. (2012). Evaluation of students' understanding of thermal concepts in everyday contexts. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1509-1534. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.657714>
- Clough, E., & Driver, R. (1985). Secondary students' conceptions of the conduction of heat: ringing together personal and scientific views. *Physics Education* 20, 175-182. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/20/4/309>
- Design-Based Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8. <https://doi.org/10.3102/0013189X03200>
- Dexter, A. (2013). *Seeing the unseen: an investigation of heat transfer using infrared thermography and LabVIEW*. Tufts University. <http://hdl.handle.net/10427/012161>
- Dimitriadis, K., & Halkia, K. (2012). Secondary Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity. *International Journal of Science Education*, 34(16), 2565-2582. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.705048>
- Duit, R., & Treagust, D. (1998). Learning in science: From behaviourisms towards social constructivism and beyond. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25). Springer.
- Duit, R., & Treagust, D. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(1), 3–15. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75369>
- Duit, R. (2009). *Students' and teachers' conceptions and science education*. Bibliography – STCSE. Retrieved October 26, 2020, from <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse/>
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction—a Framework for Improving Teaching and Learning Science. *Science education research and practice in Europe*, 13-37. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2
- Erickson, G. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63(2), 221-230. <https://doi.org/10.1002/sce.3730630210>
- 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, G., & Tiberghien, A. (1985). Heat and temperature. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 52-83). PA: 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. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7>
- Fazio, C., Guastella, I., Sperandio-Mineo, R. M., & Tarantino, G. (2008). Modelling mechanical wave propagation: guidelines and experimentation of a teaching learning sequence. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1491- 1530. <https://doi.org/10.1080/09500690802234017>
- Georgiou, H., & Sharma, M. D. (2012). University students' understanding of thermal physics in everyday contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(5), 1119–1142. <https://doi.org/10.1007/s10763-011-9320-1>
- Givry, D., & Tiberghien, A. (2012). Studying Students' Learning Processes Used during Physics Teaching Sequence about Gas with Networks of Ideas and Their Domain of Applicability. *International Journal of Science Education*, 34(2), 223-249. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.566289>
- Grimberg, B. I., & Hand, B. (2009). Cognitive Pathways: Analysis of students' written texts for science understanding. *International Journal of Science Education*, 31(4), 503-521. <https://doi.org/10.1080/09500690701704805>
- Grusche, S. (2017). Developing students' ideas about lens imaging: teaching experiments with an image-based approach. *Physics Education*, 52, 044002. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa6d27>

- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., & Gutierrez – Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020139. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020139>
- 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>
- Halkia, K. & Starakis, I. (2014). Design, implementation, and evaluation of a teaching and learning sequence concerning the moon's apparent movement, In C. P. Constantinou, N. Papadouris & A. Hadjigeorgiou (Eds.), *E-Book Proceedings of the ESERA 2013 Conference: Science Education Research for Evidence-based Teaching and Coherence in Learning, Part 16* (pp. 34-43). European Science Education Research Association.
- Harrison, A. G., Grayson, D. J., & Treagust, D. F. (1999). Investigating a grade 11 students' evolving conceptions of heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 55-87. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199901\)36:1<55::AID-TEA5>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199901)36:1<55::AID-TEA5>3.0.CO;2-P)
- Hatzikraniotis, E., Kallery, M., Moloxidis, 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>
- Hewson, M., & Hamlyn, D. (1984). The influence of intellectual environment on conceptions of heat. *European Journal of Science Education*, 6(3), 245-262. <https://doi.org/10.1080/0140528840060306>
- Howe, C. (1998). *Conceptual structure in childhood and adolescence: The case of everyday physics*. Routledge.
- Jasien, P. G., & Oberem, G. E. (2002). Understanding of elementary concepts in heat and temperature among college students and K-12 teachers. *Journal of Chemical Education*, 79(7), 889–895. <https://doi.org/10.1021/ed079p889>
- Johann, L., Rusk, F., Reiss, M., & Groß, J. (2022). Upper secondary students' thinking pathways in cell membrane biology – an evidence-based development and evaluation of learning activities using the Model of Educational Reconstruction. *Journal of Biological Education*. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2026805>
- Kabapinar, F., Leach, J., & Scott, P. (2007). The design and evaluation of a teaching–learning sequence addressing the solubility concept with Turkish secondary school students. *International Journal of Science Education*, 26(5), 635-652. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614000>
- Kariotoglou, P. (2002). A Laboratory – based teaching learning sequence on fluids: developing primary student teachers' conceptual and procedural knowledge. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 79 – 90). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/0-306-48196-0_10
- Kariotoglou, P., Psillos, D., & Tselfes, V. (2003). Modelling the evolution of Teaching – Learning sequences: From discovery to constructivism. In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassouloupoulos, & M. Kallery (Eds.), *Science education research in the knowledge-based society*, (pp. 259–268). Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0165-5_28
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H., & Komorek, M. (1996). Educational reconstruction—bringing together issues of scientific clarification and students' conceptions. In *Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching (NARST)*, St. Louis.
- Katu, N., Lunetta, V., & van den Berg, E. (1993). Teaching experiment methodology. Paper presented at the *Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics*. Ithaca.
- 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>
- Krnel, D., Watson, R., & Glažar, A. (1998). Survey of research related to the development of the concept of 'matter'. *International Journal of Science Education*, 20(3), 257-289. <https://doi.org/10.1080/0950069980200302>
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist Perspective on Learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115-142. <https://doi.org/10.1080/03057260208560189>
- Leach, J., Ametleir, J., & Scott P. (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: the role of design briefs. In K. Kortland & K. Klaassen (Eds.), *Designing theory-based teaching – Learning sequences for science education* (pp. 7–35). CDBeta Press – Fisme, Utrecht University.
- Laburú, C., & Niaz, M. (2002). A Lakatosian Framework to Analyze Situations of Cognitive Conflict and Controversy in Students' Understanding of Heat Energy and Temperature. *Journal of Science Education and Technology*, 11(3), 211-219. <https://doi.org/10.1023/A:1016064301034>
- 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>
- Lefkos I., Psillos D., & Hatzikraniotis E. (2011). Designing experiments about thermal interactions by secondary students in a simulated laboratory environment. *Research in Science & Technological Education*, 29(2), 189-204. <https://doi.org/10.1080/02635143.2010.533266>
- Leinonen, R., Asikainen, M., & Hirvonen, P. (2015). Grasping the second law of thermodynamics at university: The consistency of macroscopic and microscopic explanations. *Physical Review Physics Education Research*, 11 (2), 020122. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.020122>
- Lewis, E. L., & Linn, M. C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvement. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 657-677. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310607>
- Lijnse, P. (1995). "Developmental Research" as a way to an empirically based "Didactical Structure" of Science. *Science Education*, 79 (2), 189–199. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790205>
- Lijnse, P. & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching – learning sequences?. *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614753>
- Liu, S.-C. (2011). What is the thing we call heat? A study on diverse representations of the basic thermal concepts in and for school science. In M.M.H. Cheng & W.W.M. So (Eds.), *Science Education in International Contexts*. SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-427-0_2
- Malandrakis, G. (2006). Learning Pathways in Environmental Science Education: The case of hazardous household items. *International Journal of Science Education*, 28(14), 1627-1645. <https://doi.org/10.1080/09500690600560738>
- Mathayas, N., Brown, D., & Lindgren, R. (2020). "I got to see, and I got to be a part of it": How cued gesturing facilitates middle-school students' explanatory modeling of thermal conduction. *Journal of Research in Science Teaching*, 58, 1557-1589. <https://doi.org/10.1002/tea.21718>
- Méheut, M. (1997). Designing a learning sequence about a pre-quantitative kinetic model of gases: the parts played by questions and by a computer-simulation. *International Journal of Science Education*, 19(6), 647-660. <https://doi.org/10.1080/0950069970190603>
- Méheut, M. (2004). Designing and validating two teaching–learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 605-618. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614726>
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 515- 535. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614762>

- McLure, F., Won, M., & Treagust, D. (2020). Teaching thermal physics to Year 9 students: the thinking frames approach. *Physics Education*, 55(3). <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab6c3c>
- Miller, R., Streveler, R., Yang, D., & Roman, A. (2011). Identifying and repairing student misconceptions in thermal and transport science: concept inventories and schema training studies. *Chemical Engineering Education*, 45(3), 203-210.
- Niedderer, H., & Goldberg, F., & Duit, R. (1992). Towards Learning Process Studies: A Review of the Workshop on Research in Physics Learning. In R. Duit, F. Goldberg, H. Niedderer (Eds.), *Research in Physics Learning - Theoretical Issues and Empirical Studies, Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen* (pp. 10-28). IPN.
- Omar, N., Zulkifli, R., & Hassan, R. (2009). Development of a Virtual Laboratory for Radiation Heat Transfer. *European Journal of Scientific Research*, 32(4), 562-571.
- Paik, S., Cho, B., & Go, Y. (2007). Korean 4- to 11-Year-Old Student Conceptions of Heat and Temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 284-302. <https://doi.org/10.1002/tea.20174>
- Pathare, S., & Pradhan, H. (2010). Students' misconceptions about heat transfer mechanisms and elementary kinetic theory, *Physics Education*, 45, 629. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/45/6/008>
- Petri, J., & Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high- school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1075-1088. <https://doi.org/10.1080/0950069980200905>
- Piaget, J., & Garcia, R. (1977). *Understanding causality*. The Norton Library.
- Psillos, S. (1994). A philosophical study of the transition from the caloric theory of heat to thermodynamics: Resisting the pessimistic meta-induction. *Studies in History and Philosophy of Science*, 25(2), 159-190. [https://doi.org/10.1016/0039-3681\(94\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0039-3681(94)90026-4)
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (1999). Teaching fluids: intended knowledge and students' actual conceptual evolution. *International Journal of Science Education*, 21(1), 17-38. <https://doi.org/10.1080/095006999290813>
- Psillos, D., Tselves, V. & Kariotoglou P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26 (5), 555-578. <https://doi.org/10.1080/09500690310001614744>
- Psillos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2005). Science teachers' education: Issues and proposals. In K. Boersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the quality of science education* (pp. 119-128). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6_10
- Psillos, D., & Kariotoglou, P. (2016). Theoretical Issues Related to Designing and Developing Teaching-Learning Sequences. In D. Psillos, & P. Kariotoglou (Eds.). *Iterative design of teaching-learning sequences* (pp. 11-34). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_2
- Psillos, D., Molohidis, A., Kallery, M., & Hatzikraniotis, E. (2016). The iterative evolution of a teaching-learning sequence on the thermal conductivity of materials. In D. Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative design of teaching-learning sequences* (pp. 287-329). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_11
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L. B. (2000). Naive physics reasoning: A commitment to substance-based conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1-34. https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1801_01
- Romer, R. H. (2001). Heat is not a noun. *American Journal of Physics*, 69(2), 107-109. <https://doi.org/10.1119/1.1341254>
- Rozier, S., & Viennot, L. (1991). Students' reasonings in thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 13(2), 159-170. <https://doi.org/10.1080/0950069910130203>
- Satchukorn, S., & Srisawasdi, N. (2017). Developing Interactive Simulation in Physical Science for Eliminating Students' Misunderstanding of Heat Transfer: A DSLM Approach. In *Workshop Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education*. Asia-Pacific Society for Computers in Education.

- Savinainen, A., Scott, P., & Viiri, J. (2005). Using a bridging representation and social interactions to foster conceptual change: Designing and evaluating an instructional sequence for Newton's third law. *Science Education*, 89(2), 175-195. <https://doi.org/10.1002/sce.20037>
- Schnittka, C., & Bell, R. (2011). Engineering Design and Conceptual Change in Science: Addressing thermal energy and heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1861-1887. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.529177>
- Schwedes, H., & Dudeck, W. (1996). Teaching electricity by help of a water analogy. In G. Welford, J. Osborne & P. Scott (Eds.) *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes* (pp. 50-63).
- Scott, P. (1992). Conceptual pathways in learning science: A case study of one student's ideas relating to the structure of matter. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.). *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen* (pp. 203-224). IPN
- Schnittka, C., & Bell, R. (2011). Engineering design and conceptual change in science: Addressing thermal energy and heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1861-1887. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.529177>
- 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>
- Stavrou, D., Duit, R., & Komorek, M. (2008). A teaching and learning sequence about the interplay of chance and determinism in nonlinear systems. *Physics Education*, 43, 417. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/43/4/011>
- Stavrou, D., & Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Interplay Between Chance and Determinism in Nonlinear Systems. *International Journal of Science Education*, 36(3), 506-530. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.802056>
- Steffe, L. (1983). The teaching experiment methodology in a constructivist research program. In M. Zwerg (Eds.) *Proceedings of the Fourth International Congress on Mathematical Education* (pp. 469-471). <https://lccn.loc.gov/83002695>
- Stylos, G., & Kotsis, K. (2021). Use of a Simple Homemade Apparatus to Teach Basic Thermal Concepts – Six Qualitative Demonstrations/Experiments. *The Physics Teacher*, 59, 477. <https://doi.org/10.1119/10.0006134>
- Spyrtou, A., Hatzikraniotis, E., & Kariotoglou, P. (2009). Educational software for improving learning aspects of Newton's Third Law for student teachers. *Education and Information Technologies*, 14 (2), 163-187. <https://doi.org/10.1007/s10639-009-9087-y>
- Taber, K. (2017). Researching moving targets: studying learning progressions and teaching sequences. *Chemistry Education Research and Practice*, 18 (2), 283-287. <https://doi.org/10.1039/C7RP90003A>
- Tanahoung, C., Chitaree, R., Soankwan, C., Sharma, M., & Johnston, I. (2009). The effect of Interactive Lecture Demonstrations on students' understanding of heat and temperature: a study from Thailand. *Research in Science & Technological Education*, 27(1), 61-74. <https://doi.org/10.1080/02635140802658909>
- Tarsitani, C., & Vicentini, M. (1996). Scientific mental representations of thermodynamics. *Science and Education*, 5, 51-68. <https://doi.org/10.1007/BF00426440>
- Thomaz, M., Malaquias, M., Valente, M., & Antunes M. (1995). An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature. *Physics Education*, 30(1), 19-26. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/30/1/004>
- Tiberghien, A. (1980). Modes and conditions of learning. An example: The learning of some aspects of the concepts of heat. In W. F. Archenhold, R. Driver, A. Orton & C. Wood-Robinson (Eds.), *Cognitive development research in science and mathematics* (pp. 288-309). University of Leeds Printing Service.
- Tiberghien, A. (1983). Critical review of the research aimed at elucidating the sense that notions of temperature and heat have for students aged 10 to 16 years. In *Proceedings of the first International Workshop Research on Physics Education* (pp. 73-90). Editions du CNRS.

- Tiberghien, A. (1985). Heat and Temperature: Part B. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 67-84). Milton Keynes, Open University.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31 (17), 2275-2314.
<https://doi.org/10.1080/09500690902874894>
- Tomasini, G., & Balandi, P. (1987). Teaching strategies and children's science: An experiment on teaching "hot and cold". In *Proceedings of the second international seminar "misconceptions and educational strategies in science and mathematics, Vol. II* (pp. 158-171). Cornell University.
- Turgut, U., & Gurbuz, F. (2012). Effect of conceptual change text approach on removal of students' misconceptions about heat and temperature. *International Journal of Innovation and Learning*, 11(4), 386-403. <https://doi.org/10.1504/IJIL.2012.047139>
- Yeo, S. & Zadnik M. (2001). Introductory thermal concept evaluation: assessing students' understanding. *The Physics Teacher*, 39, 496. <https://doi.org/10.1119/1.1424603>
- 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>
- Yuenyong, J., & Yuenyong, C. (2021). Examining Grade 5 students' capability of analytical thinking in learning about heat conduction through Predict – Observe – Explain (POE) strategy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1835(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1835/1/012024>
- Viennot, L., & Ranson, S. (1999). Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of electric field. *International Journal of Science Education*, 21(1), 1-16.
<https://doi.org/10.1080/095006999290804>
- Vidak, A., Odžak, S., & Mešić, V. (2019). Teaching about thermal expansion: investigating the effectiveness of a cognitive bridging approach. *Research in Science & Technological Education*, 37(3), 324-345. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1551200>
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2014). Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence. *Science & Education*, 23(7), 1427-1445. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9640-3>
- Watts, D., & Gilbert, J. (1985). *Appraising the understanding of science concepts: heat*. Department of Educational Studies, University of Surrey, Guildford.
- West, E., & Wallin, A. (2013). Students' Learning of a Generalized Theory of Sound Transmission from a Teaching–Learning Sequence about Sound, Hearing and Health. *International Journal of Science Education*, 35(6), 980-1011. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.589479>
- Wiser, M. (1988). The differentiation of heat and temperature: History of science and novice-expert shift. In S. Strauss (Eds.), *Ontogeny, phylogeny, and historical development* (pp. 28-48). Ablex Publishing Corporation.
- Zacharia, Z., Olympiou, G., Papaevripidou, M. (2008). Effects of Experimenting with Physical and Virtual Manipulatives on Students' Conceptual Understanding in Heat and Temperature. *Journal of research in science teaching*, 45(9), 1021-1035. <https://doi.org/10.1002/tea.20260>
- Zoupidis, A., Spyrtou, A., Malandrakis, G., & Kariotoglou, P. (2016). The Evolutionary Refinement Process of a Teaching-Learning Sequence for Introducing Inquiry Aspects and Density as Materials' Property in Floating/Sinking Phenomena. In D. Psillos & P. Kariotoglou (Eds.), *Iterative Design of Teaching-Learning Sequences* (pp. 167-199). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-7808-5_8

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Φύλλα εργασίας

Φύλλο εργασίας 1^{ου} Διδακτικού Πειράματος

Όνομα: _____ Ημερομηνία: _____

1^ο Φύλλο εργασίας

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Υλικά:

- ✓ Αριθμημένη μεταλλική ράβδος
- ✓ Κερί
- ✓ Αναπτήρας
- ✓ Φλόγιστρο
- ✓ Μοιρογνωμόνιο
- ✓ Χρονόμετρο



Οδηγίες:

1. Πήζουμε 3 σταγόνες κεριού δεξιά και αριστερά από το κέντρο της ράβδου, ανά 10, 15, 20 και 25 εκατοστά.
2. Τοποθετούμε τη ράβδο με μικρή κλίση (10°) ως προς το οριζόντιο επίπεδο.
3. Θερμαίνουμε τη ράβδο ακριβώς στο κέντρο της με τη βοήθεια του φλόγιστρου.
4. Καταγράφουμε τον χρόνο στον οποίο λιώνουν οι σταγόνες.

Πρόβλεψη

Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί κατά τη θέρμανση της ράβδου; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Παρατήρηση

Καταγράφουμε στον παρακάτω πίνακα τον χρόνο στον οποίο λιώνει η κάθε σταγόνα:

Θέση σταγόνας	Χρόνος

Συμπέρασμα

- Η θερμότητα διαδίδεται προς τα πάνω; _____
- Η θερμότητα διαδίδεται προς τα κάτω; _____
- Η θερμότητα διαδίδεται το ίδιο γρήγορα προς τα πάνω και προς τα κάτω;

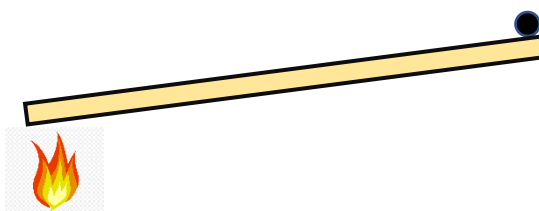
Δραστηριότητα

Έχουμε τρεις ίδιες μεταλλικές ράβδους στην άκρη των οποίων έχουμε πήξει ακριβώς ίδια ποσότητα κεριού. Τοποθετούμε κάθε ράβδο με διαφορετικό τρόπο και θερμαίνουμε κάθε μία με την ίδια πηγή θερμότητας, όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.

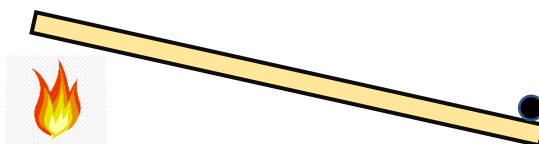
α)



β)



γ)



Θα λιώσει το πηγμένο κεριό σε κάποια από τις παραπάνω περιπτώσεις πιο γρήγορα ή πιο αργά από τις άλλες; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

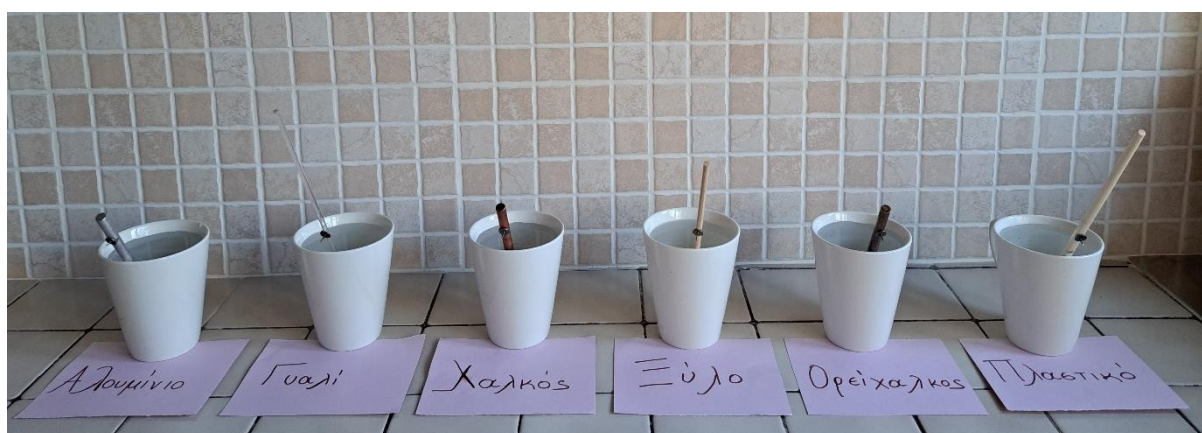
Όνομα: _____ Ημερομηνία: _____

2^ο Φύλλο εργασίας

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Υλικά:

- ✓ 6 ράβδοι από τα εξής υλικά: αλουμίνιο, γυαλί, χαλκός, ξύλο, ορείχαλκος και πλαστικό
- ✓ Κερί
- ✓ Πινέζες
- ✓ 6 ίδια ποτήρια
- ✓ Νερό
- ✓ Βραστήρας
- ✓ Χρονόμετρο



Οδηγίες:

1. Χρησιμοποιούμε ίδια ποσότητα κεριού, για να κολλήσουμε από μία πινέζα σε καθεμία από τις ράβδους σε απόσταση 14 εκατοστών από το ένα τους άκρο.
2. Γεμίζουμε κάθε ποτήρι με την ίδια ακριβώς ποσότητα νερού που έχουμε βράσει στον βραστήρα.
3. Τοποθετούμε την κάθε ράβδο σε ξεχωριστό ποτήρι.
4. Καταγράφουμε τον χρόνο στον οποίο θα πέσει η πινέζα σε κάθε ράβδο.

Πρόβλεψη

Πιστεύετε ότι η πινέζα θα πέσει γρήγορα στη ράβδο από:

▪ Αλουμίνιο; _____

Γιατί; _____

▪ Γυαλί; _____

Γιατί; _____

▪ Χαλκό; _____

Γιατί; _____

▪ Ξύλο; _____

Γιατί; _____

▪ Ορείχαλκο; _____

Γιατί; _____

▪ Πλαστικό; _____

Γιατί; _____

Παρατήρηση

Καταγράφουμε στον παρακάτω πίνακα τον χρόνο στον οποίο πέφτει η πινέζα σε κάθε ράβδο:

Υλικό ράβδου	Χρόνος
Αλουμίνιο	
Γυαλί	
Χαλός	
Ξύλο	
Ορείχαλκος	
Πλαστικό	

Συμπέρασμα

Η θερμότητα μεταφέρεται το ίδιο γρήγορα σε όλα τα υλικά;

Ποια υλικά θα χαρακτηρίζατε καλούς αγωγούς της θερμότητας;

Ποια υλικά θα χαρακτηρίζατε κακούς αγωγούς της θερμότητας;

Δραστηριότητα

Έστω ότι είστε κατασκευαστής κατσαρολών και επιλέγετε τα υλικά με τα οποία θα φτιάξετε τις νέες σας κατσαρόλες.

Τι υλικό θα χρησιμοποιούσατε για τα χερούλια των κατσαρολών, έτσι ώστε να μην κινδυνεύσουν τα χέρια σας να πάθουν έγκαυμα; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Όνομα: _____ Ημερομηνία: _____

3^ο Φύλλο εργασίας

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (1)

Υλικά:

- ✓ Δοκιμαστικός σωλήνας
- ✓ Παγωμένο νερό
- ✓ Ξύλινο μανταλάκι
- ✓ Γκαζάκι
- ✓ Αναπτήρας
- ✓ Χρονόμετρο



Οδηγίες:

1. Γεμίζουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα με παγωμένο νερό και τον κρατάμε με το ξύλινο μανταλάκι.
2. Με τη βοήθεια από το γκαζάκι θερμαίνουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα στο κάτω του μέρος.
3. Καταγράφουμε τον χρόνο στον οποίο βράζει όλη η ποσότητα νερού.
4. Επαναλαμβάνουμε το βήμα 2, αλλά αυτή τη φορά θερμαίνουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα στο πάνω μέρος του.
5. Καταγράφουμε την παρατήρησή μας.

Πρόβλεψη (α)

Εάν ζεστάνουμε τον δοκιμαστικό σωλήνα στο κάτω μέρος του πιστεύετε ότι θα βράσει όλη η ποσότητα του νερού; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Παρατήρηση (α)

Σε πόσο χρόνο έβρασε όλη η ποσότητα του νερού στον δοκιμαστικό σωλήνα;

Πρόβλεψη (β)

Αν το νερό είναι καλός αγωγός της θερμότητας και επαναλάβουμε τα βήματα του προηγούμενου πειράματος, αλλά αυτή τη φορά θερμάνουμε τον σωλήνα στο πάνω μέρος του, σε πόση θα πρέπει να βράσει όλη η ποσότητα του νερού;

Παρατήρηση (β)

Τι παρατηρείτε σε σχέση με τον χρόνο βρασμού όλης της ποσότητας του νερού;

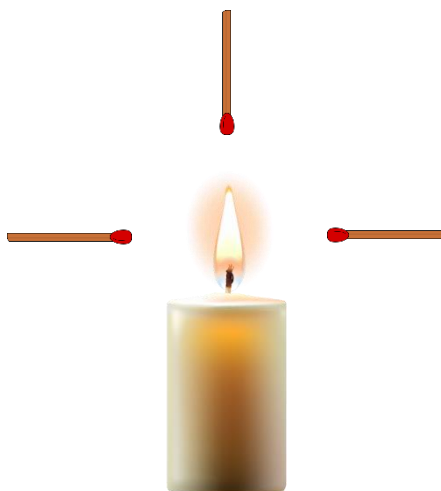
Συμπέρασμα

Το νερό είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (2)

Υλικά:

- ✓ Κερί
- ✓ Σπίρτα
- ✓ Αναπτήρας
- ✓ Χάρακας
- ✓ Χρονόμετρο



Οδηγίες:

1. Ανάβουμε το κερί με τον αναπτήρα.
2. Τοποθετούμε ένα σπίρτο πάνω από το κερί σε απόσταση 3 εκατοστών, από τη φλόγα του.
3. Χρονομετρούμε και καταγράφουμε την παρατήρησή μας.
4. Τοποθετούμε ταυτόχρονα δύο σπίρτα, αριστερά και δεξιά από τη φλόγα του κεριού και σε απόσταση 3 εκατοστών.
5. Χρονομετρούμε και καταγράφουμε την παρατήρησή μας.

Πρόβλεψη (α)

Τι πιστεύετε ότι θα συμβεί εάν τοποθετήσουμε ένα σπίρτο σε μικρή απόσταση πάνω από τη φλόγα του κεριού; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Παρατήρηση (α)

Τι παρατηρούμε όταν τοποθετούμε το σπίρτο 3 εκ. πάνω από τη φλόγα του κεριού;

Πρόβλεψη (β)

Εάν ο αέρας είναι καλός αγωγός της θερμότητας και επαναλάβουμε το προηγούμενο πείραμα, αλλά αυτή τη φορά βάλουμε από ένα σπέρτο αριστερά και δεξιά από τη φλόγα, τι περιμένετε να συμβεί; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

Παρατήρηση (β)

Τι παρατηρείτε όταν τοποθετείτε τα σπέρτα δεξιά και αριστερά από τη φλόγα, σε απόσταση 3 εκ.;

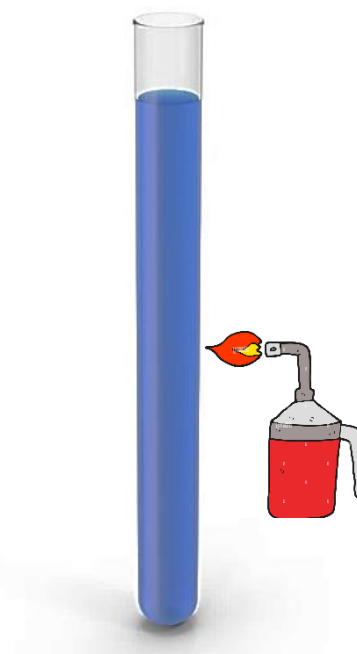
Συμπέρασμα

Ο αέρας είναι καλός ή κακός αγωγός της θερμότητας; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Δραστηριότητες

1. Έχουμε έναν δοκιμαστικό σωλήνα μεγάλου μήκους, ο οποίος περιέχει παγωμένο νερό και με τη βοήθεια ενός φλόγιστρου, τον θερμαίνουμε ακριβώς στη μέση του, όπως φαίνεται στην εικόνα.

Πιστεύετε ότι μετά από κάποια ώρα, αν ακουμπήσουμε τον σωλήνα στο πάνω μέρος και στο κάτω μέρος θα είναι το ίδιο ζεστά αυτά τα σημεία; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.



2. Έχουμε δύο κομμάτια αλουμινόχαρτο και δύο ίδια παγάκια.

- Τυλίγουμε σφιχτά το πρώτο παγάκι με το αλουμινόχαρτο.
- Τυλίγουμε το δεύτερο παγάκι με το αλουμινόχαρτο με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει ελεύθερος χώρος με αέρα ανάμεσά τους.



Πιστεύετε ότι κάποιο από τα παγάκια θα λιώσει πιο γρήγορα από το άλλο; Να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.
