



«Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας»  
«Μεταπτυχιακή Εξειδίκευση Καθηγητών των Φυσικών  
Επιστημών»

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση των Εναλλακτικών Αντιλήψεων των Μαθητών για τη  
Διατήρηση της Μηχανικής Ενέργειας και η Επίδραση της Χρήσης  
Προσομοιώσεων PhET στη διδασκαλία και στη μάθηση για την  
Ενέργεια στην Ύστερη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Παρασκευή Βατίστα

Επιβλέπων καθηγητής: Γκιόλμας Αριστοτέλης

Πάτρα, Μάιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία της φοιτήτριας Βατίστα Παρασκευής που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Διερεύνηση των Εναλλακτικών Αντιλήψεων των Μαθητών για τη  
Διατήρηση της Μηχανικής Ενέργειας και η Επίδραση της Χρήσης  
Προσομοιώσεων PhET στη διδασκαλία και στη μάθηση για την  
Ενέργεια στην Ύστερη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

Παρασκευή Βατίστα

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Αριστοτέλης Γκιόλμας

Επίκουρος Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα  
Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αριστοτέλειο  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Κωνσταντίνος Σκορδούλης

Ομότιμος Καθηγητής, Παιδαγωγικό Τμήμα  
Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό  
Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Πάτρα, Μάιος 2026

*Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ.  
Αριστοτέλη Γκιόλμα για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις εύστοχες παρατηρήσεις και τη συνεχή  
υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.*

*Ευχαριστώ επίσης θερμά τους μαθητές και τους εκπαιδευτικούς του Ωνασείου Λυκείου  
Αχαρνών, καθώς χωρίς τη συμβολή τους η υλοποίηση της παρούσας μελέτης δεν θα ήταν  
δυνατή.*

*Ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στην οικογένειά μου και στους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα  
μου με υπομονή, ενθάρρυνση και ουσιαστική στήριξη σε όλη τη διάρκεια αυτής της  
προσπάθειας.*

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία, με τίτλο «Διερεύνηση των Εναλλακτικών Αντιλήψεων των Μαθητών για τη Διατήρηση της Μηχανικής Ενέργειας και η Επίδραση της Χρήσης Προσομοιώσεων PhET στη διδασκαλία και στη μάθηση για την Ενέργεια στην Ύστερη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση», διερευνά τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών της Α΄ Λυκείου σχετικά με τη μηχανική ενέργεια και την αρχή διατήρησής της, καθώς και την επίδραση διαφορετικών μορφών διδασκαλίας στην εννοιολογική τους κατανόηση.

Στην έρευνα συμμετείχαν 108 μαθητές της Α΄ τάξης γενικού Λυκείου. Η μεθοδολογική προσέγγιση ήταν μικτή, με αξιοποίηση ποσοτικών και ποιοτικών δεδομένων. Για τη συλλογή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν ερωτηματολόγιο προ-ελέγχου και μετά-ελέγχου, καθώς και ερωτηματολόγιο τύπου Likert για τη διερεύνηση των στάσεων των μαθητών απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε ομάδα ελέγχου, η οποία διδάχθηκε με παραδοσιακή προσέγγιση, και σε πειραματική ομάδα, στην οποία η διδασκαλία εμπλουτίστηκε με τη χρήση προσομοιώσεων PhET Interactive Simulations.

Τα αποτελέσματα ανέδειξαν ότι πριν από τη διδακτική παρέμβαση οι μαθητές διέθεταν σαφώς διαμορφωμένες εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με την έννοια της ενέργειας, τη μετατροπή και τη διατήρησή της. Μετά την ολοκλήρωση της παρέμβασης παρατηρήθηκε βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης και στις δύο ομάδες. Ωστόσο, το σημαντικότερο εύρημα της έρευνας ήταν ότι η αξιοποίηση των προσομοιώσεων δεν οδήγησε σε καθολική υπεροχή της πειραματικής ομάδας σε όλες τις εννοιολογικές κατηγορίες, αλλά συνδέθηκε με μεγαλύτερη μείωση ορισμένων εναλλακτικών αντιλήψεων και κυρίως, με θετικότερες στάσεις, αυξημένο ενδιαφέρον και υψηλότερη μαθησιακή εμπλοκή των μαθητών.

Συμπερασματικά, η μελέτη υποστηρίζει ότι η διδασκαλία της ενέργειας είναι αποτελεσματικότερη όταν λαμβάνει υπόψη τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών και όταν συνδυάζει διαφορετικές παιδαγωγικά τεκμηριωμένες προσεγγίσεις, στις οποίες οι ψηφιακές προσομοιώσεις μπορούν να λειτουργήσουν ως ουσιαστικό υποστηρικτικό εργαλείο.

## Λέξεις – Κλειδιά

Μηχανική Ενέργεια, Διατήρηση της Ενέργειας, εναλλακτικές αντιλήψεις, PhET Interactive Simulations, εννοιολογική αλλαγή, διδασκαλία της Φυσικής

# Exploring Students' Pre-Instructional Ideas on the Conservation of Mechanical Energy and the Impact of Using PhET Simulations on Teaching and Learning about Energy in Upper Secondary Education

Paraskevi Vatista

## Abstract

This thesis, entitled “Exploring Students' Pre-Instructional Ideas on the Conservation of Mechanical Energy and the Impact of Using PhET Simulations on Teaching and learning about Energy in Upper Secondary Education”, investigates upper secondary students' pre-existing conceptions regarding mechanical energy and its conservation, as well as the impact of different instructional approaches on their conceptual understanding.

The study involved 108 first-grade upper secondary students. A mixed-methods research design was adopted, combining quantitative and qualitative data. Data were collected through pre-test and post-test questionnaires, as well as a Likert-type questionnaire examining students' attitudes towards the learning process. Participants were divided into a control group, which followed a conventional instructional approach, and an experimental group, whose teaching was enriched using PhET Interactive Simulations.

The findings revealed that, prior to instruction, students held clearly formed alternative conceptions concerning the meaning of energy, energy transformations and the principle of conservation of mechanical energy. Following the instructional intervention, both groups showed improvement in conceptual understanding. However, the most significant finding was that the use of simulations did not lead to a uniform superiority of the experimental group across all conceptual categories. Instead, the use of simulations was associated with greater reduction of certain alternative conceptions and, more importantly, with more positive attitudes, stronger interest and higher levels of student engagement.

Overall, the study suggests that teaching about energy becomes more effective when students' prior conceptions are explicitly considered and when different pedagogically grounded approaches are combined. Within this framework, digital simulations can serve as a meaningful supportive tool for conceptual learning in physics education.

**Keywords:** Mechanical Energy, Conservation of Energy, alternative conceptions, PhET Interactive Simulations, conceptual change, physics education

## Περιεχόμενα

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Περίληψη .....                                                                                       | v   |
| Abstract .....                                                                                       | vi  |
| Κατάλογος Διαγραμμάτων .....                                                                         | xi  |
| Κατάλογος Πινάκων .....                                                                              | xii |
| 1. Εισαγωγή και οριοθέτηση του ερευνητικού πλαισίου .....                                            | 1   |
| 1.1 Δομή της εργασίας .....                                                                          | 2   |
| 1.2 Το πρόβλημα της διδασκαλίας βασικών εννοιών της Κλασικής Μηχανικής .....                         | 3   |
| 1.3 Η σημασία της διερεύνησης των μαθητικών αντιλήψεων στη διδασκαλία της Κλασικής<br>Μηχανικής..... | 4   |
| 1.4 Σκοπός της έρευνας.....                                                                          | 5   |
| 1.5 Ερευνητικά Ερωτήματα .....                                                                       | 7   |
| 2. Θεωρητικό Πλαίσιο .....                                                                           | 9   |
| 2.1 Η έννοια της ενέργειας στη Φυσική και στη Διδακτική της Φυσικής .....                            | 9   |
| 2.1.1 Ιστορική και Επιστημολογική Προσέγγιση .....                                                   | 10  |
| 2.1.2 Επιστημονική Θεώρηση της Ενέργειας .....                                                       | 10  |
| 2.1.3 Διδακτικές Προσεγγίσεις και Προκλήσεις.....                                                    | 11  |
| 2.1.4 Προτεινόμενα Ερευνητικά Εργαλεία.....                                                          | 11  |
| 2.2 Θεωρητικές Προσεγγίσεις της Μάθησης.....                                                         | 12  |
| 2.2.1 Γνωστικές Προσεγγίσεις της Μάθησης .....                                                       | 13  |
| 2.2.2 Κοινωνικοπολιτισμικές Προσεγγίσεις .....                                                       | 13  |
| 2.2.3 Θεωρία της Εννοιολογικής Αλλαγής .....                                                         | 14  |
| 2.2.4 Εμπλοκή των Μαθητών και Μεταγνωστική Διάσταση .....                                            | 14  |
| 2.2.5 Οι εναλλακτικές αντιλήψεις και η εννοιολογική αλλαγή στη διδασκαλία της<br>ενέργειας .....     | 14  |
| 2.3 Εναλλακτικές Αντιλήψεις των Μαθητών για την Έννοια της Ενέργειας .....                           | 15  |
| 2.3.1 Η ενέργεια ως «ύλη» ή «ουσία» .....                                                            | 16  |
| 2.3.2 Η ενέργεια ως «δύναμη» ή ως αιτιοκρατικός παράγοντας .....                                     | 16  |
| 2.3.3 Η ενέργεια ως ιδιότητα μόνο των κινούμενων σωμάτων .....                                       | 17  |
| 2.3.4 Η πεποίθηση ότι «η ενέργεια χάνεται» ή «καταναλώνεται» .....                                   | 17  |
| 2.3.5 Η εσφαλμένη κατανόηση των ενεργειακών μετατροπών .....                                         | 18  |
| 2.3.6 Η ανακριβής σύνδεση μεταξύ ενέργειας και θερμοκρασίας.....                                     | 18  |
| 2.3.7 Η απουσία κατανόησης της ενέργειας σε μικροσκοπικό επίπεδο.....                                | 19  |
| 2.3.8 Παιδαγωγικές επιπτώσεις και ανάγκη για εννοιολογική αλλαγή .....                               | 19  |
| 2.3.9 Σύνοψη των βασικών εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών για την ενέργεια.....                   | 19  |
| 2.4 Διδακτική αξιοποίηση των προσομοιώσεων PhET .....                                                | 21  |
| 2.4.1 Εισαγωγή στις PhET και το θεωρητικό τους υπόβαθρο .....                                        | 21  |
| 2.4.2 Παιδαγωγικές αρχές και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των PhET .....                               | 22  |
| 2.4.3 Προσομοιώσεις PhET και κατανόηση της ενέργειας: Μηχανισμοί ενίσχυσης της<br>μάθησης .....      | 23  |
| 2.4.4 Διδακτικές στρατηγικές αξιοποίησης των PhET στο μάθημα της ενέργειας .....                     | 24  |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.5 Ερευνητικά ευρήματα για την αποτελεσματικότητα των PhET στη διδασκαλία της ενέργειας ..... | 25 |
| 2.4.6 Προκλήσεις, περιορισμοί και κίνδυνοι λανθασμένης χρήσης των PhET .....                     | 26 |
| 2.4.7 Συμπεράσματα για την παιδαγωγική αξία των PhET .....                                       | 26 |
| 3. Μεθοδολογία.....                                                                              | 28 |
| 3.1 Σκοπός της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα .....                                            | 28 |
| 3.2 Ερευνητικό πλαίσιο και ερευνητικός σχεδιασμός .....                                          | 30 |
| 3.2.1 Επιστημολογικές και παιδαγωγικές παραδοχές της έρευνας.....                                | 30 |
| 3.2.2 Επιλογή μικτής ερευνητικής προσέγγισης.....                                                | 31 |
| 3.2.3 Ημιπειραματικός σχεδιασμός και σύγκριση ομάδων.....                                        | 31 |
| 3.3 Δείγμα έρευνας και εκπαιδευτικό πλαίσιο .....                                                | 32 |
| 3.3.1 Χαρακτηριστικά του δείγματος .....                                                         | 33 |
| 3.3.2 Σχολικό και διδακτικό πλαίσιο της έρευνας .....                                            | 33 |
| 3.3.3 Ζητήματα σύγκρισης των ομάδων .....                                                        | 34 |
| 3.4 Ερευνητικά εργαλεία συλλογής δεδομένων .....                                                 | 34 |
| 3.4.1 Εννοιολογικό pre – test και post – test.....                                               | 35 |
| 3.4.2 Φύλλα εργασίας και διδακτικά σενάρια .....                                                 | 36 |
| 3.4.3 Ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων των μαθητών .....                                    | 36 |
| 3.5 Διδακτική παρέμβαση .....                                                                    | 37 |
| 3.5.1 Χρονική διάρκεια και οργανωτικό πλαίσιο της παρέμβασης .....                               | 37 |
| 3.5.2 Διδακτική προσέγγιση στην ομάδα ελέγχου (παραδοσιακή διδασκαλία) .....                     | 38 |
| 3.5.3 Διδακτική προσέγγιση στην πειραματική ομάδα (χρήση προσομοιώσεων PhET).38                  |    |
| 3.5.4 Ρόλος της εκπαιδευτικού και των μαθητών .....                                              | 39 |
| 3.6 Διαδικασία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων .....                                             | 39 |
| 3.6.1 Στάδια συλλογής δεδομένων .....                                                            | 40 |
| 3.6.2 Ποσοτική ανάλυση δεδομένων .....                                                           | 40 |
| 3.6.3 Ποιοτική ανάλυση δεδομένων και σύστημα κωδικοποίησης .....                                 | 41 |
| 3.6.4 Διασφάλιση εγκυρότητας και αξιοπιστίας .....                                               | 43 |
| 4. Παρουσίαση και Ανάλυση των Αποτελεσμάτων .....                                                | 44 |
| 4.1 Αρχικές αντιλήψεις των μαθητών (αποτελέσματα pre-test) .....                                 | 44 |
| 4.1.1 Αρχικές αντιλήψεις για την έννοια της ενέργειας.....                                       | 46 |
| 4.1.2 Αρχικές αντιλήψεις για την Κινητική και τη Δυναμική ενέργεια .....                         | 47 |
| 4.1.3 Αρχικές αντιλήψεις για τις ενεργειακές μετατροπές.....                                     | 48 |
| 4.1.4 Αρχικές αντιλήψεις για την Αρχή Διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.....                    | 49 |
| 4.1.5 Αρχικές αντιλήψεις για τον ρόλο της τριβής .....                                           | 49 |
| 4.2 Ποσοτική ανάλυση επιδόσεων.....                                                              | 50 |
| 4.2.1 Συνολική επίδοση των ομάδων.....                                                           | 51 |
| 4.2.2 Ανάλυση επιδόσεων ανά ερώτηση .....                                                        | 52 |
| 4.3 Ανάλυση εναλλακτικών αντιλήψεων .....                                                        | 55 |
| 4.3.1 Εναλλακτικές αντιλήψεις για την έννοια της ενέργειας ως ουσία ή απόθεμα.....               | 57 |
| 4.3.2 Η ενέργεια ως δύναμη.....                                                                  | 58 |

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3.3 Η ενέργεια ως αποκλειστικό χαρακτηριστικό της κίνησης.....                                                                     | 58 |
| 4.3.4 Η ενέργεια χάνεται ή καταστρέφεται.....                                                                                        | 59 |
| 4.3.5 Δυσκολίες στην κατανόηση των ενεργειακών μετατροπών .....                                                                      | 59 |
| 4.3.6 Σύγχυση ενέργειας και θερμοκρασίας .....                                                                                       | 60 |
| 4.3.7 Συγκριτική αποτίμηση και ερμηνεία της εννοιολογικής μεταβολής .....                                                            | 60 |
| 4.4 Ανάλυση Ερωτηματολογίου Likert .....                                                                                             | 61 |
| 4.4.1 Συνολική αποτύπωση των αποτελεσμάτων .....                                                                                     | 61 |
| 4.4.2 Αντιλαμβανόμενη κατανόηση .....                                                                                                | 63 |
| 4.4.3 Ενδιαφέρον και μαθησιακή εμπλοκή.....                                                                                          | 63 |
| 4.4.4 Στάσεις απέναντι στη μάθηση της Φυσικής .....                                                                                  | 63 |
| 4.4.5 Αξιολόγηση της χρήσης της προσομοίωσης (PhET) .....                                                                            | 64 |
| 4.4.6 Συνολική αποτίμηση .....                                                                                                       | 64 |
| 4.5 Σύνοψη Βασικών Ευρημάτων.....                                                                                                    | 65 |
| 5. Ερμηνεία και Συζήτηση των Αποτελεσμάτων .....                                                                                     | 68 |
| 5.1 Συζήτηση των αποτελεσμάτων .....                                                                                                 | 68 |
| 5.1.1 Αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών .....                                                                              | 69 |
| 5.1.2 Εννοιολογική αλλαγή και ανθεκτικότητα των αντιλήψεων.....                                                                      | 69 |
| 5.1.3 Ρόλος της διδακτικής παρέμβασης και των προσομοιώσεων.....                                                                     | 70 |
| 5.1.4 Ρόλος των στάσεων και της μαθησιακής εμπλοκής .....                                                                            | 71 |
| 5.1.5 Συνολική ερμηνεία των ευρημάτων.....                                                                                           | 72 |
| 5.2 Συμπεράσματα της έρευνας .....                                                                                                   | 72 |
| 5.3 Περιορισμοί της έρευνας .....                                                                                                    | 74 |
| 5.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα .....                                                                                            | 75 |
| 5.5 Παιδαγωγικές προεκτάσεις .....                                                                                                   | 77 |
| Βιβλιογραφία .....                                                                                                                   | 80 |
| Παράρτημα Α: «Πίνακας αντιστοίχισης απαντήσεων pre-test και post-test με το σύστημα κωδικοποίησης των εναλλακτικών αντιλήψεων» ..... | 84 |
| Παράρτημα Β: «Εννοιολογικό pre-test» .....                                                                                           | 85 |
| Παράρτημα Γ: «Σχέδιο Μαθήματος ομάδας Ελέγχου» .....                                                                                 | 90 |
| Παράρτημα Δ: «Φύλλο εργασίας Πειραματικής Ομάδας».....                                                                               | 92 |
| Παράρτημα Ε: «Εννοιολογικό post-test».....                                                                                           | 94 |
| Παράρτημα Στ: «Ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων».....                                                                           | 99 |

## **Κατάλογος Διαγραμμάτων**

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Διάγραμμα 4.1: μέσοι όροι ποσοστών επιτυχίας ανά ομάδα σε pre-test και post-test .....                           | 51 |
| Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση ποσοστού επιτυχίας ανά ερώτηση στο pre-test και post-test ανά ομάδα .....                | 53 |
| Διάγραμμα 4.3: Μεταβολή του ποσοστού εμφάνισης εναλλακτικών αντιλήψεων στο pre-test και post-test ανά ομάδα..... | 56 |
| Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση μέσων όρων απαντήσεων Likert ανά κατηγορία και ομάδα .....                               | 62 |

## Κατάλογος Πινάκων

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Πίνακας 2.1: σύνοψη βασικών εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών για την έννοια της ενέργειας ..... | 20 |
| Πίνακας 3.1: Σύστημα κωδικοποίησης απαντήσεων μαθητών βάσει των εναλλακτικών αντιλήψεων .....      | 42 |
| Πίνακας 4.1: Ποσοστά ορθών απαντήσεων στις ερωτήσεις του pre-test .....                            | 46 |
| Πίνακας 4.2: Συνολική επίδοση μαθητών στα pre-test και post-test.....                              | 51 |
| Πίνακας 4.3: Ποσοστά ορθών απαντήσεων στις ερωτήσεις του post-test.....                            | 53 |
| Πίνακας 4.4: Ποσοστό εμφάνισης εναλλακτικών αντιλήψεων στο pre-test και post-test ανά ομάδα .....  | 56 |
| Πίνακας 4.5: Μέσοι όροι απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο Likert .....                                 | 62 |

## **1. Εισαγωγή και οριοθέτηση του ερευνητικού πλαισίου**

Το παρόν κεφάλαιο καθορίζει το θεωρητικό και το ερευνητικό πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στόχος του είναι να αναδείξει το επιστημονικό και διδακτικό πρόβλημα που πραγματεύεται η μελέτη, να εξηγήσει την αναγκαιότητα της έρευνας αλλά και να οριοθετήσει τον σκοπό και τα ερευνητικά της ερωτήματα.

Η διερεύνηση των αντιλήψεων των μαθητών για βασικές έννοιες της Κλασικής Μηχανικής, ειδικότερα για την έννοια της ενέργειας και την αρχή της διατήρησής της, εντάσσεται στο πεδίο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μάθηση δεν είναι απλώς μια διαδικασία μετάδοσης γνώσης, αλλά μια διαδικασία οικοδόμησης και αναδόμησης γνωστικών σχημάτων (Driver et al., 1994, Posner et al., 1982). Οι μαθητές ξεκινούν τη διδασκαλία με τις δικές τους προϋπάρχουσες αντιλήψεις, οι οποίες όμως μπορούν να διαφοροποιηθούν από αναπαραστάσεις που είναι επιστημονικά αποδεκτές, γεγονός που επηρεάζει την κατανόηση νέων εννοιών (Vosniadou, 1994).

Εξαιτίας αυτού, βασική προϋπόθεση για να μπορούν να σχεδιαστούν αποτελεσματικές διδακτικές παρεμβάσεις είναι να αναγνωρίζουμε και να μελετάμε συστηματικά τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών. Η θεωρία της εννοιολογικής αλλαγής καταδεικνύει ότι οι αντιλήψεις των μαθητών μπορούν να μεταβληθούν μέσα από διαδικασίες γνωστικής σύγκρουσης, αναδόμησης των εννοιών και ενσωμάτωση των νέων επιστημονικών αντιλήψεων (Posner et al., 1982). Παρόλα αυτά, έρευνες έχουν δείξει πως οι εναλλακτικές αντιλήψεις είναι πολύ πιθανό να συνυπάρχουν με εκείνες που είναι επιστημονικά αποδεκτές ακόμα και μετά τη διδασκαλία, γι' αυτό και θεωρείται μεγάλη ανάγκη να διερευνήσουμε τη μεταβολή τους (Treagust & Duit, 2008).

Θα παρουσιάσουμε αρχικά το πρόβλημα στη διδασκαλία βασικών εννοιών της Κλασικής Μηχανικής σε σχολικό πλαίσιο, στη συνέχεια θα τεκμηριώσουμε τη σημασία που έχει η διερεύνηση των εναλλακτικών αντιλήψεων και τέλος θα διατυπώσουμε το σκοπό και τα ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας μελέτης. Με αυτό τον τρόπο θα διαμορφωθεί ένα εννοιολογικό και ερευνητικό υπόβαθρο, πάνω στο οποίο θα στηριχτεί το θεωρητικό πλαίσιο, η μεθοδολογία και η ανάλυση των αποτελεσμάτων.

## **1.1 Δομή της εργασίας**

Η παρούσα διπλωματική εργασία οργανώνεται σε πέντε κύρια κεφάλαια, τα οποία έχουν διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουν στην συγκεκριμένη μελέτη θεωρητική, μεθοδολογική και ερευνητική συνοχή.

Το Κεφάλαιο 1 παρουσιάζει την εισαγωγή στο ερευνητικό πρόβλημα, τη θεωρητική και διδακτική τεκμηρίωση της αναγκαιότητας της μελέτης, τον σκοπό της έρευνας και τα ερευνητικά ερωτήματα που θα διερευνηθούν.

Το Κεφάλαιο 2 παρουσιάζει το θεωρητικό πλαίσιο της εργασίας. Αρχικά εξετάζονται οι προσεγγίσεις που αφορούν βασικές έννοιες της Κλασικής Μηχανικής, ενώ στη συνέχεια αναλύονται οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, όπως έχουν καταγραφεί στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την αναφορά στη διδακτική αξιοποίηση των προσομοιώσεων PhET στην εκπαίδευση.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται η μεθοδολογία της έρευνας. Εκεί παρουσιάζονται ο ερευνητικός σχεδιασμός, το δείγμα, τα ερευνητικά εργαλεία (pre-test, post-test, ερωτηματολόγιο), η διαδικασία συλλογής των δεδομένων και το σύστημα κωδικοποίησης που εφαρμόστηκε για την κατηγοριοποίηση των απαντήσεων των μαθητών. Τεκμηριώνεται επιπλέον και η επιλογή του ημι-πειραματικού σχεδιασμού και οι διαδικασίες ανάλυσης.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα. Αρχικά, παραθέτουμε τις εναλλακτικές ιδέες που εμφανίζονται πριν τη διδακτική παρέμβαση, στη συνέχεια, εξετάζουμε τη μεταβολή τους μετά την παρέμβαση και τέλος, πραγματοποιούμε συγκριτική ανάλυση μεταξύ της πειραματικής ομάδας και της ομάδας ελέγχου. Τα ευρήματα οργανώνονται σύμφωνα με τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης.

Το Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνει τη συζήτηση των αποτελεσμάτων, τη σύνδεσή τους με το θεωρητικό πλαίσιο και τη σχετική βιβλιογραφία, την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας της διδακτικής παρέμβασης, καθώς και τα συμπεράσματα της έρευνας. Παράλληλα, εδώ παρουσιάζονται οι περιορισμοί της μελέτης και προτείνονται κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Τέλος, στο Παράρτημα παρατίθενται τα ερευνητικά εργαλεία, το αναλυτικό σύστημα κωδικοποίησης, καθώς και συμπληρωματικοί πίνακες δεδομένων που υποστηρίζουν τη διαφάνεια της έρευνας.

## **1.2 Το πρόβλημα της διδασκαλίας βασικών εννοιών της Κλασικής Μηχανικής**

Η Κλασική Μηχανική είναι ένα θεμελιώδες πεδίο της Φυσικής και αποτελεί τη βάση του προγράμματος σπουδών στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Οι κινήσεις και οι περισσότερες μεταβολές στα φυσικά συστήματα ερμηνεύονται με έννοιες όπως η δύναμη, η ενέργεια, το έργο και η διατήρηση της ενέργειας. Αν και επιστημονικά άρτιες, οι έννοιες αυτές είναι πολύ αφηρημένες και χρειάζονται θεωρητική ανάλυση πέρα από την καθημερινή εμπειρία.

Οι έρευνες στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών έχουν δείξει ότι η μάθηση δεν αρχίζει από το μηδέν, καθώς οι μαθητές έχουν ήδη διαμορφωμένες κάποιες αντιλήψεις, οι οποίες προέρχονται από την καθημερινή χρήση της γλώσσας και από τις καθημερινές τους εμπειρίες (Driver et al., 1994). Αυτές οι αντιλήψεις συχνά διαφέρουν πολύ από τα μοντέλα που είναι επιστημονικά αποδεκτά και δημιουργούν εναλλακτικά μοντέλα σκέψης, που είναι συμπαγή και ανθεκτικά (Duit & Treagust, 2003).

Η έννοια της ενέργειας είναι μια από τις πιο σύνθετες και πολυσήμαντες έννοιες στη Φυσική. Οι μαθητές δυσκολεύονται πολύ να την κατανοήσουν εξαιτίας της αφηρημένης φύσης της, της εφαρμογής της σε πολλά διαφορετικά φαινόμενα, καθώς και τη χρήση της στην καθημερινή γλώσσα. Κάποιοι αντιλαμβάνονται την ενέργεια σαν μια υλική οντότητα που «χάνεται» ή «καταναλώνεται», την μπερδεύουν με τη δύναμη ή την συνδέουν αποκλειστικά με την κίνηση (Watts, 1983, Solomon, 1985, Duit, 2014).

Η ιστορία της επιστήμης δείχνει ότι η έννοια της ενέργειας δεν ανακαλύφθηκε αμέσως, αλλά διαμορφώθηκε σιγά – σιγά μέσα από πολλές και διαφορετικές θεωρίες που ενώθηκαν μεταξύ τους αργότερα. Συνεπώς, οι δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές δεν οφείλονται μόνο στον τρόπο διδασκαλίας, αλλά και στο ότι η ίδια η έννοια της ενέργειας είναι εξαιρετικά πολύπλοκη και αφηρημένη.

Σε σχολικό πλαίσιο, οι δυσκολίες αυτές γίνονται ακόμα μεγαλύτερες από τον τρόπο που παρουσιάζονται στα σχολικά εγχειρίδια αλλά από τον τρόπο διδασκαλίας, που δίνει μεγαλύτερη έμφαση σε αλγεβρική επίλυση προβλημάτων αντί στην κατανόηση των διάφορων εννοιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μαθητές να είναι σε θέση να λύσουν επιτυχώς

υπολογιστικές ασκήσεις, χωρίς όμως να έχουν αναδομήσει τις αντιλήψεις που έχουν για την ενέργεια.

Έτσι, είναι αναγκαία η διερεύνηση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών αλλά και το πόσο αυτές μεταβάλλονται μετά από στοχευμένες διδακτικές παρεμβάσεις, τόσο για να μπορέσουμε να αντιληφθούμε τους λόγους για τους οποίους οι μαθητές δυσκολεύονται, όσο και για να μπορέσουμε να βρούμε πιο αποδοτικούς τρόπους διδασκαλίας.

### **1.3 Η σημασία της διερεύνησης των μαθητικών αντιλήψεων στη διδασκαλία της Κλασικής Μηχανικής**

Η μελέτη των μαθητικών αντιλήψεων είναι πολύ σημαντική για τη σύγχρονη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Από τη δεκαετία του 1980 και μετά, οι έρευνες έχουν δείξει ότι η μάθηση απλών επιστημονικών εννοιών δεν είναι μια απλή μετάδοση γνώσης αλλά μια διαδικασία μέσα από την οποία αναδομούνται οι γνωστικές δομές που υπάρχουν ήδη (Driver et al., 1994, Posner et al., 1982). Σύμφωνα με τους παραπάνω, οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών δεν θεωρούνται απλά σφάλματα που χρειάζονται διόρθωση, αλλά αντιμετωπίζονται ως νοητικά σχήματα που έχουν ως σκοπό να οργανώσουν εμπειρίες και να ερμηνεύσουν τον κόσμο.

Η θεωρία της εννοιολογικής αλλαγής (conceptual change theory) υποστηρίζει ότι για να μπορέσουν οι μαθητές να μεταπηδήσουν από τις διαισθητικές σε επιστημονικά αποδεκτές αναπαραστάσεις, απαιτούνται συνθήκες γνωστικής σύγκρουσης, η νέα ιδέα που αναπτύσσεται να μπορεί να εξηγεί καλά τα φαινόμενα και κατ' επέκταση να είναι χρήσιμη για την έρευνα (Posner et al., 1982). Ωστόσο, νεότερες προσεγγίσεις δείχνουν ότι αυτή η διαδικασία δεν είναι απόλυτη, αλλά συχνά χαρακτηρίζεται από εναλλακτικές και επιστημονικές αντιλήψεις, οι οποίες συνυπάρχουν στο ίδιο γνωστικό σύστημα (diSessa, 1983, Vosniadou, 1994). Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε όλη αυτή την πολυπλοκότητα, θα πρέπει να χαρτογραφηθούν οι αντιλήψεις των μαθητών πριν και μετά από τις διδακτικές παρεμβάσεις.

Η διερεύνηση αυτών των αντιλήψεων στην Κλασική Μηχανική είναι πολύ σημαντική, καθώς όλες οι έννοιες – κλειδιά συνδέονται, σχηματίζοντας ένα αλληλένδετο σύνολο. Για παράδειγμα, η ελλιπής κατανόηση της έννοιας της ενέργειας, μπορεί να επηρεάσει την κατανόηση της διατήρησης των μετατροπών, καθώς και τη σύνδεση μεταξύ κινητικών και

βαρυτικών δυναμικών φαινομένων (Duit, 2014). Οι αλγεβρικές ασκήσεις και προβλήματα, τα οποία λύνονται με επιτυχία, δεν εξασφαλίζουν ότι ο μαθητής έχει κατανοήσει πλήρως τις παραπάνω έννοιες, ενισχύοντας έτσι την ανάγκη να χρησιμοποιούνται στη διδασκαλία διάφορα εργαλεία που έχουν την δυνατότητα να ανιχνεύσουν βαθύτερες νοητικές αναπαραστάσεις.

Επιπρόσθετα, ο σχεδιασμός αποτελεσματικών διδακτικών παρεμβάσεων συνδέεται άμεσα με τη διερεύνηση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών. Στη βιβλιογραφία βλέπουμε ότι πιο αποτελεσματικές διδακτικές πρακτικές είναι αυτές που λαμβάνουν υπόψη τις ιδέες που έχουν ήδη οι μαθητές και δημιουργούν το κατάλληλο έδαφος για να μπορούν να συγκριθούν οι εναλλακτικές και οι επιστημονικές αντιλήψεις τους (Treagust & Duit, 2008). Η εννοιολογική αλλαγή δεν είναι κάτι που πρέπει να προκύπτει παρουσιάζοντας απλώς την επιστημονική γνώση, αλλά πρέπει να συμβεί μέσα από έναν στοχευμένο σχεδιασμό που θα είναι ικανός να αναγνωρίσει αλλά και να αξιοποιήσει το αρχικό γνωστικό υπόβαθρο που έχουν οι μαθητές.

Στα ελληνικά σχολεία, το πώς συνδέεται ο τρόπος διδασκαλίας με την αλλαγή των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών για την Κλασική Μηχανική, είναι ένα ερευνητικό ερώτημα που παραμένει ανοιχτό. Υπάρχει άμεση ανάγκη για έρευνες που θα μας δώσουν χειροπιαστά στοιχεία για το ποιες διδακτικές προσεγγίσεις βοηθούν πραγματικά τους μαθητές να αναδιαμορφώσουν τις ιδέες τους.

Η παρούσα μελέτη εντάσσεται σε αυτό το ερευνητικό πλαίσιο, γιατί έχει ως στόχο την καταγραφή των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών, αλλά και τη διερεύνηση της μεταβολής τους μετά από μια οργανωμένη διδακτική παρέμβαση. Με αυτό τον τρόπο, συνδέεται η θεωρητική συζήτηση για εννοιολογική αλλαγή με τα εμπειρικά δεδομένα που προκύπτουν από το σχολικό περιβάλλον.

## **1.4 Σκοπός της έρευνας**

Στο πλαίσιο των θεωρητικών και ερευνητικών παραδοχών που παρουσιάσαμε στις προηγούμενες ενότητες, η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό να διερευνήσει συστηματικά και να κατηγοριοποιήσει τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών της ύστερης

δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με βασικές έννοιες της Κλασικής Μηχανικής, και πιο συγκεκριμένα, την έννοια της ενέργειας και την αρχή της διατήρησής της.

Ειδικότερα, η έρευνα επιδιώκει αρχικά να αποτυπώσει τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών πριν τη διδακτική παρέμβαση για την ενέργεια και την διατήρησή της και να διερευνήσει αν υπάρχει κάποια ενδεχόμενη μεταβολή σε αυτές μετά από οργανωμένη διδακτική παρέμβαση. Η συγκεκριμένη προσέγγιση βασίστηκε στο ότι οι επιστημονικές έννοιες μαθαίνονται μέσα από αναδόμηση των γνωστικών σχημάτων των μαθητών, και όχι απλώς πολιορκώντας τους μαθητές με πληθώρα πληροφοριών (Posner et al., 1982, Vosniadou, 1994).

Ταυτόχρονα, η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό να αναλύσει συγκριτικά τη μεταβολή των εναλλακτικών αντιλήψεων μεταξύ ομάδας ελέγχου και πειραματικής ομάδας, ώστε να φανεί η αποτελεσματικότητα της εφαρμοζόμενης διδακτικής παρέμβασης. Επίσης, επιδιώκει να διερευνήσει σε πιο βαθμό η χρήση προσομοιώσεων PhET βοηθά στη μείωση ή στον μετασχηματισμό των ανθεκτικών εναλλακτικών αντιλήψεων. Επιλέχθηκε ημι-πειραματικός σχεδιασμός με μετρήσεις πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση, κάτι που ακολουθείται συχνά σε έρευνες στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών, όπου για να μπορέσει να αξιολογηθεί η εννοιολογική αλλαγή, πρέπει να συγκριθούν αρχικές και τελικές γνωστικές καταστάσεις (Treagust & Duit, 2008).

Η παρούσα μελέτη επίσης εξετάζει με ποιον τρόπο η διδασκαλία μέσα στη σχολική τάξη μπορεί να προκαλέσει παρερμηνείες στις επιστημονικές έννοιες. Ελέγχει αν συγκεκριμένες μέθοδοι διδασκαλίας βοηθούν τους μαθητές να μεταβάλλουν τις «λανθασμένες», αρχικές τους αντιλήψεις ή αν τις διατηρούν και με το πέρας της διδακτικής παρέμβασης. Με αυτό τον τρόπο, συνδέει τις θεωρίες μάθησης με την πράξη μέσα σε μια σχολική τάξη.

Συνολικά, η έρευνα αυτή στοχεύει στο να κατανοήσουμε καλύτερα τις δυσκολίες στη διδασκαλία της Κλασικής Μηχανικής και να προτείνουμε βελτιώσεις στην πράξη. Αναλύοντας τις αντιλήψεις των μαθητών για την ενέργεια, επιχειρούμε να ενισχύσουμε τη διδασκαλία της Φυσικής στην ύστερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση με τεκμηριωμένες προτάσεις.

## 1.5 Ερευνητικά Ερωτήματα

Λαμβάνοντας υπόψη τη θεωρία της εννοιολογικής αλλαγής (Posner et al., 1982, Vosniadou, 1994) αλλά και το πόσο σημαντικό είναι να διερευνήσουμε τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών στη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών (Driver et al., 1994, Treagust & Duit, 2008), η παρούσα έρευνα διαμορφώνει τα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

EE1. Ποιες είναι οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών της ύστερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σχετικά με τις βασικές έννοιες της Κλασικής Μηχανικής και ειδικότερα την έννοια της ενέργειας και την αρχή της διατήρησής της πριν από τη διδακτική παρέμβαση;

Το πρώτο ερώτημα έχει ως σκοπό να αποτυπώσει τις αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές και να τις κατηγοριοποιήσει. Η συγκεκριμένη διερεύνηση είναι απαραίτητη για την έρευνα που θα διεξαχθεί, γιατί βασική προϋπόθεση για να σχεδιαστούν αποτελεσματικές διδακτικές παρεμβάσεις είναι η κατανόηση των εναλλακτικών ιδεών που υπάρχουν ήδη.

EE2. Παρατηρείται κάποια μεταβολή στις αντιλήψεις των μαθητών αφού εφαρμοστεί η διδακτική παρέμβαση;

Το δεύτερο ερώτημα εξετάζει αν προκύπτει τελικά εννοιολογική αλλαγή, συγκρίνοντας τις απαντήσεις που έδωσαν οι μαθητές πριν και μετά τη διδασκαλία. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζουμε αν οι απαντήσεις των μαθητών μετατοπίστηκαν από τις κατηγορίες των εναλλακτικών αντιλήψεων προς τις επιστημονικά αποδεκτές απαντήσεις.

EE3. Σε ποιο βαθμό επηρεάζει η χρήση των προσομοιώσεων PhET τη μεταβολή των αντιλήψεων των μαθητών σε σύγκριση με την παραδοσιακή διδασκαλία;

Το τρίτο ερώτημα διερευνά την επίδραση που έχει η διδακτική παρέμβαση με χρήση προσομοίωσης PhET στη μεταβολή των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών, σε σχέση με την παραδοσιακή διδασκαλία. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα και των δύο ομάδων, θα διαπιστώσουμε πόσο αποτελεσματική ήταν η κάθε παρέμβαση, στο πλαίσιο ημι-πειραματικού σχεδιασμού.

EE4. Ποιες κατηγορίες εναλλακτικών αντιλήψεων παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα μετά τη διδασκαλία και πώς συνδέεται η ανθεκτικότητα αυτή με τη φύση της παρέμβασης (με ή χωρίς τη χρήση προσομοιώσεων PhET);

Το τέταρτο ερώτημα εξετάζει ποιες είναι οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών που παραμένουν ή εξακολουθούν να συνυπάρχουν μαζί με τις επιστημονικά αποδεκτές μετά το τέλος της διδακτικής παρέμβασης και σε ποια μορφή διδασκαλίας παρατηρείται να υπάρχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα.

Όλα τα παραπάνω ερευνητικά ερωτήματα διαμορφώνουν το αναλυτικό πλαίσιο της παρούσας μελέτης και οδηγούν στο σχεδιασμό της μεθοδολογίας που θα ακολουθήσουμε, καθώς και στην ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από αυτή.

## 2. Θεωρητικό Πλαίσιο

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε το θεωρητικό πλαίσιο που στηρίζει την παρούσα εργασία, δίνοντας έμφαση στην έννοια της ενέργειας στη Φυσική και στη διδασκαλία της, στις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας και στο με ποιο τρόπο αξιοποιούνται διδακτικά οι προσομοιώσεις PhET. Το κεφάλαιο αποτελείται από τέσσερις βασικές ενότητες: α. η έννοια της ενέργειας στη Φυσική και τη διδακτική της, β. οι θεωρητικές προσεγγίσεις στη μάθηση, γ. οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών για την ενέργεια και τη διατήρησή της και δ. η διδακτική αξιοποίηση των προσομοιώσεων PhET. Κάθε ενότητα συνδέεται με την ερευνητική κατεύθυνση της εργασίας και δίνει τις βάσεις για να αναλυθούν οι διδακτικές παρεμβάσεις, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης των προσομοιώσεων PhET.

### 2.1 Η έννοια της ενέργειας στη Φυσική και στη Διδακτική της Φυσικής

Η έννοια της ενέργειας είναι κεντρικός πυρήνας της Φυσικής, γιατί μας επιτρέπει να ερμηνεύσουμε έναν μεγάλο αριθμό από φυσικά φαινόμενα. Η ενέργεια, ως μια αφηρημένη έννοια, περιγράφει τη δυνατότητα ενός συστήματος να εκτελέσει μία εργασία ή να προκαλέσει αλλαγές σε ένα άλλο σύστημα. Οι φυσικοί νόμοι της ενέργειας, όπως η αρχή της διατήρησης, η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφών ενέργειας και η σχέση της με τη δύναμη και την κίνηση, αποτελούν θεμέλιο της διδασκαλίας της Φυσικής από τη δευτεροβάθμια έως και την τριτοβάθμια εκπαίδευση (McDermott & Redish, 1999). Η κατανόηση αυτής της έννοιας απαιτεί την υπέρβαση της καθημερινής εμπειρίας και τη διαμόρφωση νοητικών σχημάτων που είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την επιστήμη.

Για πολλούς μαθητές η κατανόηση της έννοιας της ενέργειας είναι πολύ απαιτητική, κυρίως γιατί πρόκειται για μια έννοια με έντονα αφηρημένο χαρακτήρα, ο οποίος διαφέρει σημαντικά από τον τρόπο που αντιλαμβανόμαστε τη δύναμη και την κίνηση στην καθημερινότητα. Η καθημερινή εμπειρία έχει την τάση να συνδέει την ενέργεια άμεσα με την κίνηση ή με την εργασία που εκτελεί ένα αντικείμενο, ενώ η επιστημονική προσέγγιση θεωρεί απαραίτητο η ενέργεια να αναγνωρίζεται ως αφηρημένη ποσότητα που μπορεί να μετατραπεί μεταξύ

κινητικής, δυναμικής, θερμικής, χημικής και άλλων μορφών, αλλά συνολικά διατηρείται σε κλειστά συστήματα (Chi et al., 1981, Treagust & Duit, 2009). Η κατανόηση της διατήρησης της ενέργειας είναι ένας κρίσιμος στόχος της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, καθώς είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη δυνατότητα των μαθητών να αναλύσουν μηχανικά φαινόμενα και να προβλέψουν αποτελέσματα φυσικών διεργασιών.

### **2.1.1 Ιστορική και Επιστημολογική Προσέγγιση**

Η επιστημονική αντίληψη για την έννοια της ενέργειας δεν εμφανίστηκε αμέσως, αλλά εξελίχθηκε ιστορικά. Από την πρώιμη επιστημονική σκέψη έως τις σύγχρονες θεωρίες, η ενέργεια αποτελεί μια έννοια που επανειλημμένα αναθεωρείται και επεκτείνεται. Στον 17<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> αιώνα, η μηχανική ενέργεια συνδέθηκε με την κίνηση και το έργο, ενώ ο νόμος της διατήρησης της ενέργειας διαμορφώθηκε σταδιακά μέσα από τις εργασίες των Carnot, Joule και Helmholtz (Halloun, 2004). Οι μαθητές, ωστόσο, δεν έχουν τη δυνατότητα να γνωρίζουν την ιστορική εξέλιξη των εννοιών αυτών, και γι' αυτό η διδασκαλία πρέπει να μεταφέρει τις έννοιες με τρόπο κατανοητό, εξασφαλίζοντας ότι η επιστημονική σημασία τους κατανοείται πέρα από τις μεταφορές που χρησιμοποιούνται στην καθημερινότητα.

Επιστημολογικά, η έννοια της ενέργειας είναι διαφορετική από την παρατήρηση των φαινομένων. Όπως επισημαίνει ο Kuhn (1977), οι επιστημονικές έννοιες συχνά προϋποθέτουν αναθεώρηση των καθημερινών νοητικών σχημάτων και η ενέργεια αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα όπου οι μαθητές πρέπει να εγκαταλείψουν την ιδέα ότι η ενέργεια «χάνεται» ή ότι συνδέεται μόνο με την κίνηση. Αυτά τα νοητικά σχήματα μπορούν να αναδομηθούν με τη χρήση εκπαιδευτικών στρατηγικών που βασίζονται σε παραδείγματα ή παραστατικές αναπαραστάσεις.

### **2.1.2 Επιστημονική Θεώρηση της Ενέργειας**

Στη Φυσική, η ενέργεια ορίζεται ως μια μέτρηση της ικανότητας ενός συστήματος να προκαλέσει αλλαγές ή να εκτελέσει έργο. Οι κύριες μορφές της ενέργειας είναι η κινητική, που συνδέεται με την κίνηση των σωμάτων, και η δυναμική, που συνδέεται με τη θέση τους σε ένα πεδίο δυνάμεων, όπως το βαρυτικό ή το ελαστικό (McDermott & Redish, 1999). Επιπλέον, η θερμική ενέργεια, η χημική ενέργεια και η ενέργεια λόγω ηλεκτρομαγνητικών

φαινομένων αποτελούν άλλες σημαντικές κατηγορίες που πρέπει να ενταχθούν σε μια ολοκληρωμένη διδασκαλία.

Η αρχή της διατήρησης της ενέργειας αναφέρει ότι η συνολική ενέργεια σε ένα κλειστό σύστημα παραμένει σταθερή, παρά τις μετατροπές που μπορεί να συμβαίνουν μεταξύ διαφορετικών μορφών (Vosniadou, 1994). Αυτή η αρχή αποτελεί θεμέλιο της διδασκαλίας, γιατί επιτρέπει στους μαθητές να συνδέσουν διαφορετικά φαινόμενα και να αναπτύξουν συνεκτικά νοητικά μοντέλα. Η κατανόηση αυτής της αρχής απαιτεί από τους μαθητές να κατανοήσουν ότι η φαινομενική απώλεια ενέργειας, π.χ. λόγω τριβής, δεν σημαίνει πραγματική εξαφάνιση ενέργειας αλλά μετατροπή της σε θερμική μορφή.

### **2.1.3 Διδακτικές Προσεγγίσεις και Προκλήσεις**

Η διδασκαλία της ενέργειας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις. Οι μαθητές έχουν προϋπάρχουσες αντιλήψεις που βασίζονται στην καθημερινή τους εμπειρία, όπως ότι η ενέργεια «χάνεται» ή ότι η ύπαρξή της εξαρτάται από την κίνηση του σώματος (Chi et al., 1981). Η διεθνής βιβλιογραφία μας υποδεικνύει ότι οι εναλλακτικές αντιλήψεις είναι ανθεκτικές και για να μπορέσουν να τροποποιηθούν, πρέπει να χρησιμοποιηθούν στοχευμένες διδακτικές παρεμβάσεις (Treagust & Duit, 2009). Επειδή η απλή μετάδοση της γνώσης δεν αρκεί, απαραίτητη προϋπόθεση για την αποτελεσματική διδασκαλία είναι η αναγνώριση αυτών των αντιλήψεων.

Η χρήση πειραμάτων, διαδραστικών προσομοιώσεων και καθοδηγούμενης ανακάλυψης επιτρέπει στους μαθητές να παρατηρήσουν φαινόμενα που επιβεβαιώνουν τη διατήρηση της ενέργειας και τις μετατροπές μεταξύ των μορφών της (Finkelstein et al., 2005). Οι προσομοιώσεις, όπως οι PhET simulations, δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να δοκιμάσουν υποθέσεις, να παρατηρήσουν αποτελέσματα και να τροποποιήσουν τα νοητικά τους μοντέλα, ενισχύοντας την εννοιολογική αλλαγή και την κατανόηση της έννοιας.

### **2.1.4 Προτεινόμενα Ερευνητικά Εργαλεία**

Η διδακτική της ενέργειας, μπορεί να ενισχυθεί με τη χρήση ερευνητικών εργαλείων που συνδέουν θεωρία και πράξη. Τα πειράματα και οι προσομοιώσεις επιτρέπουν την αναπαράσταση αφηρημένων εννοιών, όπως η κινητική και η δυναμική ενέργεια, καθώς και

την παρατήρηση των μετατροπών τους. Η ενεργή συμμετοχή των μαθητών σε πειραματικές διεργασίες και η συνεργασία σε ομάδες υποστηρίζουν τη διαδικασία οικοδόμησης γνώσης και ενισχύουν τη μεταφορά της μάθησης σε νέα πλαίσια (Delegkos & Koliopoulos, 2020).

Η αποτελεσματικότητα αυτών των εργαλείων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη δυνατότητα των μαθητών να εντοπίσουν και να επεξεργαστούν τις εναλλακτικές αντιλήψεις τους, να πειραματιστούν με διαφορετικές καταστάσεις και να αναδομήσουν τα νοητικά τους μοντέλα, οδηγώντας έτσι στη βαθύτερη κατανόηση της έννοιας της ενέργειας.

## **2.2 Θεωρητικές Προσεγγίσεις της Μάθησης**

Βασική προϋπόθεση για να μπορούμε να σχεδιάσουμε αποτελεσματικές διδακτικές παρεμβάσεις στη Φυσική είναι η κατανόηση των διαδικασιών μάθησης. Το να κατανοήσουμε τους τρόπους με τους οποίους οι μαθητές αποκτούν, αναδομούν και εφαρμόζουν τις έννοιες της Φυσικής επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να σχεδιάζουν διδακτικές παρεμβάσεις που ενισχύουν την εννοιολογική αλλαγή, αλλά και την αναδόμηση των προϋπαρχουσών γνώσεων. Στη βιβλιογραφία διακρίνονται διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις που εστιάζουν στις νοητικές διεργασίες, στα κοινωνικοπολιτισμικά πλαίσια μάθησης και στη σημασία των εμπειρικών δραστηριοτήτων (Bruner, 1966, Vygotsky, 1978, Piaget, 1972). Η κατανόηση των θεωρητικών αυτών προσεγγίσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη διδασκαλία της έννοιας της ενέργειας και της διατήρησής της.

Η μάθηση θεωρείται διαδικασία ενεργής αναδόμησης των γνώσεων και όχι απλή απομνημόνευση πληροφοριών. Οι γνωστικές θεωρίες της μάθησης, όπως περιγράφονται από τον Piaget (1972) και τον Ausubel (1968), υποστηρίζουν ότι οι μαθητές φτιάχνουν νοητικά μοντέλα με βάση τις προηγούμενες γνώσεις τους και τις εμπειρίες τους, και ότι η νέα γνώση ενσωματώνεται με αναδόμηση των προϋπαρχουσών εννοιών. Στο πλαίσιο της Φυσικής, οι μαθητές συχνά χρησιμοποιούν εμπειρίες και «κοινότοπες θεωρίες» για να ερμηνεύσουν φαινόμενα όπως η κίνηση, η δύναμη και η ενέργεια. Η αναγνώριση αυτών των σχημάτων είναι απαραίτητη για την προώθηση της εννοιολογικής αλλαγής.

### **2.2.1 Γνωστικές Προσεγγίσεις της Μάθησης**

Οι γνωστικές προσεγγίσεις δίνουν ιδιαίτερη βάση στη σημασία της αναπαράστασης, της επεξεργασίας πληροφοριών και της κατανόησης εννοιών σε βάθος. Σύμφωνα με τον Chi (2005), οι μαθητές συχνά έχουν ανθεκτικές εναλλακτικές αντιλήψεις που οδηγούν σε παρερμηνείες των φυσικών νόμων. Η διαδικασία της μάθησης αναδομεί ενεργά τις υπάρχουσες αντιλήψεις μέσω δραστηριοτήτων που είναι βασισμένες στην εμπειρία, καθοδηγούμενης ανακάλυψης και συστηματικής επανατροφοδότησης.

Η θεωρία της επεξεργασίας πληροφοριών υποστηρίζει ότι η μάθηση συμβαίνει όταν οι μαθητές επεξεργάζονται ενεργά τις πληροφορίες, δημιουργούν συνδέσεις μεταξύ νέας και ήδη υπάρχουσας γνώσης και οργανώνουν τις έννοιες σε συνεκτικά δίκτυα (Anderson, 2010). Η χρήση εννοιολογικών χαρτών και διαδραστικών προσομοιώσεων βοηθάει στο να κατανοηθούν οι αφηρημένες έννοιες, όπως η διατήρηση της ενέργειας, και βοηθά τους μαθητές να αναγνωρίσουν τις μετατροπές των διαφορετικών μορφών ενέργειας.

### **2.2.2 Κοινωνικοπολιτισμικές Προσεγγίσεις**

Οι κοινωνικοπολιτισμικές θεωρίες, με κύριο εκπρόσωπο τον Vygotsky (1978), τονίζουν τον ρόλο της κοινωνικής αλληλεπίδρασης και της γλώσσας στη μάθηση. Η μάθηση της Φυσικής δεν μπορεί να απομονωθεί από το πλαίσιο στο οποίο πραγματοποιείται, καθώς οι μαθητές αποκτούν νοητικά εργαλεία και έννοιες μέσω συνεργασίας, συζητήσεων και καθοδήγησης από τον εκπαιδευτικό. Ο ρόλος της «Ζώνης Επικείμενης Ανάπτυξης» (Zone of Proximal Development – ZPD) είναι πολύ σημαντικός, καθώς οι μαθητές μπορούν να πετύχουν ανώτερα επίπεδα κατανόησης όταν υποστηρίζονται κατάλληλα από τον διδάσκοντα ή τους συνομηλίκους τους.

Στη διδασκαλία της ενέργειας, οι κοινωνικοπολιτισμικές προσεγγίσεις υποστηρίζουν τη χρήση συνεργατικών δραστηριοτήτων, πειραμάτων σε ομάδες και προσομοιώσεων, όπου οι μαθητές συζητούν τις παρατηρήσεις τους και συγκρίνουν τις αναπαραστάσεις τους με τα επιστημονικά μοντέλα. Αυτή η διαδικασία αποσκοπεί στην ενίσχυση της εννοιολογικής αλλαγής, καθώς οι μαθητές έρχονται αντιμέτωποι με συγκρούσεις μεταξύ των προσωπικών τους νοητικών σχημάτων και των επιστημονικά αποδεκτών θεωριών (Lave & Wenger, 1991).

### **2.2.3 Θεωρία της Εννοιολογικής Αλλαγής**

Η θεωρία της εννοιολογικής αλλαγής (conceptual change) αποτελεί κεντρικό πλαίσιο για τη διδασκαλία της Φυσικής. Σύμφωνα με τους Posner et al. (1982), για να μπορέσουν οι μαθητές να αντιληφθούν ότι οι προηγούμενες αντιλήψεις τους είναι ανεπαρκείς για την εξήγηση των παρατηρούμενων φαινομένων, απαιτείται η αλλαγή των νοητικών σχημάτων τους και η αντικατάσταση αυτών των αντιλήψεων με νέες, επιστημονικά ορθές έννοιες.

Η εννοιολογική αλλαγή δεν είναι μια απλή διαδικασία, καθώς οι μαθητές συχνά επιμένουν στις καθημερινές αντιλήψεις, παρά την παρουσία επιστημονικών δεδομένων. Οι προσομοιώσεις και τα πειράματα παρέχουν ευκαιρίες για «γνωστικές συγκρούσεις», όπου οι μαθητές παρατηρούν φαινόμενα όπου αμφισβητούν τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους, οδηγώντας σε αναδόμηση των νοητικών σχημάτων. Στην περίπτωση της ενέργειας, η παρατήρηση της μετατροπής κινητικής σε δυναμική ή θερμική ενέργεια μέσω πειραμάτων και προσομοιώσεων μπορεί να υποστηρίξει την εννοιολογική αλλαγή (Treagust & Duit, 2009).

### **2.2.4 Εμπλοκή των Μαθητών και Μεταγνωστική Διάσταση**

Η μάθηση της Φυσικής επωφελείται από στρατηγικές που ενισχύουν τη μεταγνωστική συνείδηση των μαθητών. Η ικανότητα των μαθητών να παρακολουθούν και να αξιολογούν όσα έχουν κατανοήσει, να εντοπίζουν αντιφάσεις και να αναδιοργανώνουν τη γνώση τους, θεωρείται κρίσιμη για να αναπτύξουν βαθιά κατανόηση (Schraw, 1998).

Η χρήση καθοδηγούμενων δραστηριοτήτων, αναστοχαστικών ερωτήσεων και συνεργατικών εργασιών προωθεί την ενεργό εμπλοκή των μαθητών, ενισχύει την εννοιολογική αλλαγή και μειώνει τις τυχόν παρανοήσεις. Σε συνδυασμό με τις προσομοιώσεις PhET, οι μαθητές μπορούν να παρατηρήσουν τις συνέπειες των ενεργειών τους, να δοκιμάσουν υποθέσεις και να αναπτύξουν συνεκτικά νοητικά μοντέλα για την ενέργεια και τη διατήρησή της.

### **2.2.5 Οι εναλλακτικές αντιλήψεις και η εννοιολογική αλλαγή στη διδασκαλία της ενέργειας**

Οι θεωρητικές προσεγγίσεις της μάθησης υπογραμμίζουν ότι η διδασκαλία της Φυσικής πρέπει να σχεδιάζεται με γνώμονα τις νοητικές διαδικασίες των μαθητών, τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις τους και τη σημασία της κοινωνικής αλληλεπίδρασης. Οι στρατηγικές διδασκαλίας

έχουν ως στόχο τη δημιουργία πλαισίων, όπου οι μαθητές μπορούν να παρατηρήσουν φαινόμενα, να συγκρίνουν τις αντιλήψεις τους με επιστημονικά μοντέλα και να αναδομήσουν τη γνώση τους (Vosniadou, 1994, Chi, 2005).

Η ένταξη προσομοιώσεων, πειραμάτων και συνεργατικών δραστηριοτήτων καθιστά τη μάθηση ενεργητική και ενισχύει την εννοιολογική αλλαγή. Η αξιοποίηση της μεταγνωστικής διάστασης επιτρέπει στους μαθητές να συνειδητοποιούν τα κενά στις γνώσεις τους και να αναπτύσσουν στρατηγικές για την αντιμετώπισή τους. Οι θεωρητικές αυτές προσεγγίσεις μας παρέχουν ένα ισχυρό πλαίσιο για τον σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων που υποστηρίζουν τη βαθιά και συνεκτική μάθηση της έννοιας της ενέργειας και της διατήρησής της.

## **2.3 Εναλλακτικές Αντιλήψεις των Μαθητών για την Έννοια της Ενέργειας**

Παρότι η ενέργεια είναι μια κεντρική έννοια της Φυσικής, η κατανόησή της παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες για τους μαθητές όλων των βαθμίδων εκπαίδευσης. Η διεθνής βιβλιογραφία έχει δείξει ότι οι μαθητές αναπτύσσουν μια σειρά από ανθεκτικές εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με τη φύση της ενέργειας, τις μορφές της, τις μετατροπές της και κυρίως την αρχή διατήρησής της (Driver et al., 1994, Duit, 2014, Kesidou & Duit, 1993). Οι αντιλήψεις αυτές δεν είναι τυχαίες. Προκύπτουν από καθημερινές εμπειρίες, γλωσσικές συγχύσεις, διδακτικές πρακτικές και συχνά από την προσπάθεια των μαθητών να ερμηνεύσουν πολύπλοκα φαινόμενα με απλές νοητικές αναπαραστάσεις.

Η αναγνώριση των εναλλακτικών αντιλήψεων είναι απαραίτητη, όχι μόνο επειδή εμποδίζουν την εννοιολογική αλλαγή, αλλά επειδή μας καταδεικνύουν τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές προσπαθούν να αποδώσουν νόημα στον φυσικό κόσμο. Η συστηματική μελέτη τους προσφέρει πολύτιμα δεδομένα για την ανάπτυξη αποτελεσματικών διδακτικών στρατηγικών και την επιλογή κατάλληλων μικρόκοσμων και προσομοιώσεων που μπορούν να υποστηρίξουν τη μάθηση (Duit & Treagust, 2003).

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει αναλυτικά τις κυριότερες κατηγορίες εναλλακτικών αντιλήψεων, όπως έχουν καταγραφεί στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία, οργανωμένες σε υποενότητες για σαφέστερη κατανόηση του εύρους και της φύσης τους.

### **2.3.1 Η ενέργεια ως «ύλη» ή «ουσία»**

Μία από τις πιο συχνά αναφερόμενες εναλλακτικές αντιλήψεις είναι ότι η ενέργεια αντιμετωπίζεται ως υλικό αγαθό, ως «ουσία» που μπορεί να μεταφέρεται από αντικείμενο σε αντικείμενο, με τρόπο παρόμοιο με αυτόν που μεταφέρονται τα φυσικά αντικείμενα. Οι μαθητές θεωρούν συχνά ότι η ενέργεια «ρέει», «μεταφέρεται» ως υλικό από το ένα σώμα στο άλλο, ή «περιέχεται» μέσα στα σώματα όπως το νερό σε δοχείο (Watts, 1983).

Η μεταφορά της ενέργειας ως «ουσίας» συνδέεται με το λεγόμενο substance schema, ένα νοητικό σχήμα που χρησιμοποιούν οι μαθητές για να κατανοήσουν τα άυλα αντικείμενα (Chi, 2005). Το σχήμα αυτό επιτρέπει στους μαθητές να οργανώνουν εμπειρίες σε ένα συνεκτικό λογικό πλαίσιο, αλλά ταυτόχρονα οδηγεί σε παρερμηνείες, όπως ότι η ενέργεια μπορεί να «χαθεί» ή να «τελειώσει».

Αρκετοί μαθητές θεωρούν ότι η ενέργεια αποθηκεύεται μέσα στο σώμα και ότι εξαντλείται όπως ένα υλικό απόθεμα. Έτσι, η κινητική ενέργεια αντιμετωπίζεται ως «αποθηκευμένη» ενέργεια που «καταναλώνεται» καθώς το σώμα κινείται, ενώ η ενέργεια δεν θεωρείται ως μέγεθος που σχετίζεται με την κατάσταση του συστήματος, αλλά ως κάποιο υλικό που χάνεται σταδιακά (Solomon, 1985).

Αυτή η κατηγορία εναλλακτικών αντιλήψεων καθιστά πολύ δύσκολη την κατανόηση της αρχής διατήρησης της ενέργειας από τους μαθητές, γιατί ενισχύει τις απόψεις που έχουν ότι η ενέργεια μειώνεται ή εξαφανίζεται, αντί να μετατρέπεται από τη μία μορφή στην άλλη.

### **2.3.2 Η ενέργεια ως «δύναμη» ή ως αιτιοκρατικός παράγοντας**

Συχνά οι μαθητές συγχέουν την ενέργεια με τη δύναμη. Αυτή η σύγχυση προκύπτει εν μέρει από τη γλωσσική επικάλυψη στη Φυσική αλλά και στην καθημερινή γλώσσα, όπου οι λέξεις «δύναμη» και «ενέργεια» χρησιμοποιούνται σχεδόν ως συνώνυμες (Viennot, 2001).

Μαθητές αναφέρουν ότι «η ενέργεια σπρώχνει», «η ενέργεια κάνει τα πράγματα να κινούνται», ή ότι «η μεγαλύτερη δύναμη σημαίνει μεγαλύτερη ενέργεια», δίνοντας έτσι έναν αιτιοκρατικό ρόλο στην έννοια της ενέργειας. Η αντίληψη αυτή οδηγεί σε λανθασμένες εξηγήσεις φαινομένων, όπου η ενέργεια θεωρείται ως άμεση αιτία κίνησης, σε αντίθεση με το

επιστημονικό πλαίσιο, όπου η ενέργεια δεν αποτελεί αιτιοκρατικό παράγοντα αλλά μέτρο της ικανότητας ενός συστήματος να παράγει έργο.

Παράλληλα, οι μαθητές συχνά συγχέουν τη θερμότητα με τη θερμοκρασία· θεωρούν ότι «η θερμότητα είναι ενέργεια που έχει το σώμα» ενώ «η ενέργεια είναι η δύναμη που το ζεσταίνει» (Erickson, 1979). Αυτή η σύγχυση επεκτείνεται και στην ερμηνεία των μετατροπών ενέργειας, οδηγώντας τους μαθητές στην άποψη ότι η θερμική ενέργεια είναι μια «υποδεέστερη» μορφή ενέργειας που σπαταλάται ή χάνεται.

### **2.3.3 Η ενέργεια ως ιδιότητα μόνο των κινούμενων σωμάτων**

Πολλοί μαθητές θεωρούν ότι ενέργεια έχουν μόνο τα σώματα που βρίσκονται σε κίνηση. Η αντίληψη αυτή συνδέεται με τις καθημερινές εμπειρίες των μαθητών, όπου τα κινούμενα αντικείμενα φαίνεται να «κάνουν κάτι», σε αντίθεση με τα ακίνητα, τα οποία δεν φαίνεται να διαθέτουν κάποια «ενεργητική» ιδιότητα (Duit, 2014).

Έτσι η δυναμική ενέργεια, ιδιαίτερα η βαρυτική, δεν γίνεται κατανοητή ως μορφή ενέργειας αλλά ως μια κατάσταση που δεν έχει υλική υπόσταση. Οι μαθητές δυσκολεύονται να αποδεχτούν ότι τα ακίνητα σώματα σε ύψος έχουν ενέργεια και συχνά υποστηρίζουν ότι αυτή η ενέργεια «δημιουργείται» τη στιγμή που το σώμα αρχίζει να πέφτει.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, πιστεύουν ότι η δυναμική ενέργεια είναι απλώς η «προσωρινή απουσία κινητικής ενέργειας» και όχι μια μορφή ενέργειας με δικό της ορισμό (Brook & Wells, 1988). Αυτή η αντίληψη αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για την κατανόηση της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

### **2.3.4 Η πεποίθηση ότι «η ενέργεια χάνεται» ή «καταναλώνεται»**

Μια από τις πιο ανθεκτικές παρανοήσεις είναι η πεποίθηση ότι η ενέργεια χάνεται ή εξαντλείται. Οι μαθητές προσπαθούν συχνά να εξηγήσουν φαινόμενα όπως η μείωση της ταχύτητας λόγω τριβών, λέγοντας ότι «η ενέργεια χάθηκε», «εξαντλήθηκε» ή «σπαταλήθηκε» (Driver et al., 1994).

Η παρανόηση αυτή προκύπτει από τρεις παράγοντες. Πρώτον, η καθημερινή εμπειρία, όπου η κατανάλωση καυσίμων, τροφής ή ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργεί την εντύπωση εξάντλησης. Δεύτερον, η έμφαση της σχολικής διδασκαλίας στην χρήση ενεργειακών πηγών ενισχύει την

ιδέα ότι η ενέργεια «τελειώνει». Τρίτον, η θερμική ενέργεια συχνά θεωρείται ως «απολεσθείσα», καθώς οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται ότι συνολικά η ενέργεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές και δεν χάνεται (Kesidou & Duit, 1993).

Αυτό οδηγεί σε ερμηνείες όπου η ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμική θεωρείται ουσιαστικά χαμένη, παρά την επιστημονική θεώρηση ότι η ενέργεια διατηρείται και απλώς γίνεται λιγότερο διαθέσιμη για παραγωγή έργου.

### **2.3.5 Η εσφαλμένη κατανόηση των ενεργειακών μετατροπών**

Οι ενεργειακές μετατροπές αποτελούν κεντρικό στοιχείο της διδασκαλίας της ενέργειας. Ωστόσο, πολλές έρευνες δείχνουν ότι οι μαθητές δυσκολεύονται να παρακολουθήσουν πώς μετατρέπεται η ενέργεια σε πολύπλοκα συστήματα (Duit, 2014).

Οι μαθητές συχνά θεωρούν ότι οι μετατροπές συμβαίνουν μόνο όταν το αντικείμενο εκτελεί κάποια εμφανή κίνηση. Σε συστήματα όπως μηχανές, εκκρεμή και ηλεκτρικά κυκλώματα, η κατανόηση των μετατροπών συχνά περιορίζεται σε μία μόνο μορφή ενέργειας, αγνοώντας τις παράλληλες μετατροπές σε θερμική ή άλλες μορφές.

Συχνή είναι και η άποψη ότι η ενέργεια μετατρέπεται μόνο σε «ανώτερες» ή «καταλληλότερες» μορφές και ότι η θερμική ενέργεια αποτελεί «τελική κατάσταση» που δεν μπορεί να μετατραπεί ξανά, κάτι που σχετίζεται με τη σύγχυση μεταξύ διατήρησης της ενέργειας και εντροπίας (Brook & Wells, 1988).

### **2.3.6 Η ανακριβής σύνδεση μεταξύ ενέργειας και θερμοκρασίας**

Η θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία αποτελούν έννοιες που συγχέονται από μεγάλο ποσοστό μαθητών. Συχνή είναι η αντίληψη ότι η θερμοκρασία είναι άμεσο μέτρο της ενέργειας ενός σώματος ή ότι σώματα με υψηλή θερμοκρασία διαθέτουν αναγκαστικά μεγαλύτερη ενέργεια από σώματα με χαμηλότερη θερμοκρασία, ανεξαρτήτως μάζας (Erickson, 1979).

Επιπλέον, οι μαθητές δυσκολεύονται να αντιληφθούν ότι η θερμότητα αποτελεί μορφή ενέργειας που μεταφέρεται λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ενώ η θερμοκρασία αποτελεί μέτρο της μέσης κινητικής ενέργειας των μορίων. Αυτή η σύγχυση οδηγεί σε λανθασμένες προβλέψεις σχετικά με τη θερμική αλληλεπίδραση σωμάτων και τη λειτουργία θερμικών μηχανών.

### **2.3.7 Η απουσία κατανόησης της ενέργειας σε μικροσκοπικό επίπεδο**

Ένα σημαντικό μέρος των παρανοήσεων προκύπτει από την αδυναμία των μαθητών να συνδέσουν τη μακροσκοπική θεώρηση της ενέργειας με τη μικροσκοπική, ιδιαίτερα στις θερμικές διεργασίες (Harrison & Treagust, 1996).

Πολλοί μαθητές δεν αναγνωρίζουν ότι η θερμική ενέργεια σχετίζεται με την κίνηση των μορίων και συχνά θεωρούν ότι η θέρμανση «προσθέτει θερμότητα στο σώμα» χωρίς να αντιλαμβάνονται τις διεργασίες που συμβαίνουν μεταξύ των μορίων. Η έλλειψη μικροσκοπικών μοντέλων οδηγεί σε συγχύσεις σχετικά με το πώς η ενέργεια αποθηκεύεται, μετατρέπεται και διατηρείται.

### **2.3.8 Παιδαγωγικές επιπτώσεις και ανάγκη για εννοιολογική αλλαγή**

Το πλήθος και η ανθεκτικότητα των εναλλακτικών αντιλήψεων καθιστούν αναγκαίο τον σχεδιασμό διδακτικών παρεμβάσεων οι οποίες θα στοχεύουν στη δημιουργία γνωστικών συγκρούσεων, στην υποστήριξη στρατηγικών διαδικασιών και στη χρήση πλούσιων αναπαραστάσεων (Treagust & Duit, 2009). Τα σύγχρονα εργαλεία, όπως οι προσομοιώσεις PhET, έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στην απεικόνιση ενεργειακών μετατροπών και στην υποστήριξη της οικοδόμησης επιστημονικά ορθών νοητικών μοντέλων (Wieman et al., 2008).

Η κατανόηση των εναλλακτικών αντιλήψεων δεν αποτελεί μόνο τη βάση για την ανάπτυξη καλύτερων διδακτικών πρακτικών αλλά θεωρείται και απαραίτητο στάδιο ώστε να μπορέσει να ενισχυθεί η επιστημονική σκέψη των μαθητών.

### **2.3.9 Σύνοψη των βασικών εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών για την ενέργεια**

Οι εναλλακτικές αντιλήψεις που παρουσιάσαμε στις προηγούμενες υποενότητες μας δείχνουν ότι η έννοια της ενέργειας δεν είναι για τους μαθητές ένα ενιαίο και αφηρημένο επιστημονικό σχήμα, αλλά ένα πλήθος από αποσπασματικές αναπαραστάσεις, που συχνά θεμελιώνουν μέσα από την εμπειρία τους. Οι αντιλήψεις αυτές έχουν συνοχή και πολλές φορές είναι ανθεκτικές απέναντι στη διδακτική παρέμβαση, γεγονός που καθιστά την εννοιολογική αλλαγή σύνθετη και σταδιακή διαδικασία (Driver et al., 1994, Duit, 2014).

Με βάση όσα περιγράψαμε παραπάνω, θα ήταν χρήσιμο να παρουσιάσουμε συνοπτικά στον πίνακα 2.1, που φαίνεται παρακάτω, τις βασικές κατηγορίες εναλλακτικών αντιλήψεων που καταγράφονται στη βιβλιογραφία.

| Εναλλακτική αντίληψη                        | Περιγραφή                                                                             | Ενδεικτικές βιβλιογραφικές αναφορές |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Ενέργεια ως ουσία ή απόθεμα                 | Η ενέργεια αντιμετωπίζεται ως υλικό που αποθηκεύεται, μεταφέρεται ή καταναλώνεται     | Driver et al., 1994, Duit, 2014     |
| Ενέργεια ως δύναμη                          | Ταύτιση της έννοιας ενέργειας με τη δύναμη ή απόδοση ενεργητικής δράσης στην ενέργεια | Watts, 1983, Solomon, 1985          |
| Η ενέργεια υπάρχει μόνο σε κινούμενα σώματα | Μη αναγνώριση της δυναμικής ενέργειας· σύνδεση ενέργειας αποκλειστικά με κίνηση       | Driver et al., 1994                 |
| Η ενέργεια χάνεται ή καταστρέφεται          | Αντίληψη ότι η ενέργεια εξαφανίζεται σε μηχανικά συστήματα (π.χ. λόγω τριβής)         | Solomon, 1985, Duit, 2014           |
| Δυσκολίες στις ενεργειακές μετατροπές       | Εσφαλμένη κατανόηση μετατροπών μεταξύ δυναμικής και κινητικής ενέργειας               | Watts, 1983                         |
| Σύγχυση θερμότητας και θερμοκρασίας         | Ταύτιση θερμότητας με θερμοκρασία ή μη αναγνώριση της θερμότητας ως μορφής ενέργειας  | Driver et al., 1994                 |

**Πίνακας 2.1:** σύνοψη βασικών εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών για την έννοια της ενέργειας

Οι παραπάνω κατηγορίες εναλλακτικών αντιλήψεων αποτελούν και τη θεωρητική βάση για το σύστημα κωδικοποίησης που αναπτύξαμε και χρησιμοποιήσαμε για να αναλύσουμε τις απαντήσεις των μαθητών στην παρούσα έρευνα.

## **2.4 Διδακτική αξιοποίηση των προσομοιώσεων PhET**

Η χρήση των ψηφιακών προσομοιώσεων τα τελευταία χρόνια έχει θεωρηθεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό εργαλείο στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών, η οποία προσφέρει στους μαθητές δυνατότητες αλληλεπίδρασης και πειραματισμού που συχνά υπερβαίνουν τα όρια του σχολικού εργαστηρίου. Ανάμεσα στις διαθέσιμες πλατφόρμες, οι προσομοιώσεις PhET Interactive Simulations του πανεπιστημίου του Κολοράντο έχουν αποκτήσει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, λόγω της παιδαγωγικής τους τεκμηρίωσης, της επιστημονικής τους εγκυρότητας και της σχεδιαστικής φιλοσοφίας τους, η οποία βασίζεται στις αρχές της εποικοδομητικής μάθησης και της ενεργητικής διερεύνησης. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα ενότητα παρουσιάζει αναλυτικά τη φύση και τα χαρακτηριστικά των προσομοιώσεων PhET, τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους, τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν τη μάθηση εννοιών της ενέργειας και ειδικότερα της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας, καθώς και το θεωρητικό πλαίσιο που τεκμηριώνει την αποτελεσματικότητά τους στη διδασκαλία της Φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση.

### **2.4.1 Εισαγωγή στις PhET και το θεωρητικό τους υπόβαθρο**

Οι προσομοιώσεις PhET Interactive Simulations, που αναπτύχθηκαν στο University of Colorado Boulder από τον Carl Wieman και τους συνεργάτες του, αποτελούν μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες ψηφιακές εκπαιδευτικές πλατφόρμες στο χώρο της Φυσικής (Wieman et al., 2008). Βασίζονται στη λογική της δυναμικής αλληλεπίδρασης, της άμεσης οπτικοποίησης και της ενίσχυσης της εννοιολογικής κατανόησης σε περιβάλλοντα που προσομοιώνουν πραγματικά φαινόμενα, χωρίς όμως τους περιορισμούς που θα έδινε ένα σχολικό εργαστήριο. Το θεωρητικό πλαίσιο των PhET ενσωματώνει βασικές αρχές του εποικοδομισμού, της μάθησης μέσω της διερεύνησης και του γνωστικού ρεαλισμού, υποστηρίζοντας την άποψη ότι η μάθηση ενισχύεται όταν οι μαθητές ενεργούν ως «ερευνητές» σε ασφαλή, διαδραστικά περιβάλλοντα (Adams et al., 2008).

Οι προσομοιώσεις σχεδιάζονται ώστε να συμβαδίζουν με τα εμπειρικά ευρήματα σχετικά με τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών. Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει στους μαθητές να

απαντούν σε κοινές παρανοήσεις, να ενεργοποιεί γνωστικές συγκρούσεις και να τους οδηγεί στην οικοδόμηση επιστημονικά ορθών εννοιών (Podolefsky et al., 2010). Στο πλαίσιο της ενέργειας, οι προσομοιώσεις μας δίνουν ρεαλιστικές απεικονίσεις μετατροπών, μεταβιβάσεων και διατήρησης, επιτρέποντας έτσι την άμεση παρατήρηση των αφηρημένων αυτών ποσοτήτων μέσα από αναπαραστάσεις όπως διαγράμματα, γραφήματα και δυναμικά μοντέλα.

Επιπλέον, οι PhET ενσωματώνουν αρχές της θεωρίας των πολλαπλών αναπαραστάσεων, η οποία υποστηρίζει ότι η κατανόηση ενισχύεται όταν οι μαθητές εκτίθενται σε πλούσια αλλά συνεπή μεταξύ τους μοντέλα του ίδιου φαινομένου (Ainsworth, 2006). Η οπτικοποίηση της δυναμικής ενέργειας, της κινητικής ενέργειας ή της θερμικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο μειώνει το γνωστικό φορτίο και βοηθά στην πιο γρήγορη οικοδόμηση νοητικών μοντέλων που είναι πιο κοντά στις επιστημονικές έννοιες.

Συνολικά, οι PhET δεν είναι απλώς ένα ψηφιακό εργαλείο αλλά μια ολοκληρωμένη παιδαγωγική προσέγγιση, που στηρίζεται σε τεκμηριωμένες θεωρίες μάθησης και σε συστηματικό σχεδιασμό, ο οποίος συνδέεται άμεσα με τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη Φυσική.

#### **2.4.2 Παιδαγωγικές αρχές και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά των PhET**

Η φιλοσοφία σχεδιασμού των PhET στηρίζεται στην αρχή της ενεργειακής μάθησης. Οι μαθητές δεν παρακολουθούν παθητικά την προσομοίωση αλλά παρεμβαίνουν στο σύστημα, μεταβάλλουν παραμέτρους και εξερευνούν σχέσεις αιτίου – αποτελέσματος. Ο διερευνητικός αυτός χαρακτήρας συνάδει με το μοντέλο inquiry – based learning, το οποίο έχει αποδειχθεί ότι ενισχύει την κατανόηση εννοιών στη Φυσική (Zacharia & Olympiou, 2011).

Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι συνδεδεμένα με μια σειρά από σχεδιαστικές αρχές που έχουν αναλυθεί εκτενώς στη βιβλιογραφία. Πρώτον, οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούν ελάχιστο κείμενο και βασίζονται κυρίως σε οπτικές αναπαραστάσεις, μειώνοντας το γνωστικό φορτίο και διευκολύνοντας την πρόσβαση σε μαθητές με διαφορετικά μαθησιακά προφίλ (Adams et al., 2008). Δεύτερον, η ύπαρξη άμεσης ανατροφοδότησης επιτρέπει στους μαθητές να βλέπουν τα αποτελέσματα των επιλογών τους σε πραγματικό χρόνο, χαρακτηριστικό που ενισχύει την εννοιολογική αλλαγή (Clark et al., 2009). Τρίτον, η δυνατότητα αυθεντικής αλληλεπίδρασης – όπως το σύρσιμο αντικειμένων, η αλλαγή κλίσης, η μεταβολή ύψους ή η εισαγωγή τριβής – δημιουργεί μια εμπειρία που μοιάζει πολύ με αυτή του πειραματισμού σε εργαστήριο.

Οι PhET ενσωματώνουν επίσης το πλαίσιο scaffolding, παρέχοντας στους μαθητές υποστήριξη μέσω ενσωματωμένων αναπαραστάσεων, περιορισμού ακατάλληλων επιλογών και χρήσιμων εργαλείων όπως rulers, graphs και energy bar charts. Το scaffolding αυτό επιτρέπει την ομαλή μετάβαση από την αρχική διερεύνηση στην εξαγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων, ενώ παράλληλα προωθεί τη σταδιακή αυτονόμηση των μαθητών (Quintana et al., 2004).

Επιπρόσθετα, οι σχεδιαστές των προσομοιώσεων δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στον φαινομενολογικό ρεαλισμό, δηλαδή στην αναπαράσταση των φαινομένων με τρόπο που να είναι πιστός στις θεμελιώδεις αρχές της Φυσικής, χωρίς όμως να απαιτεί ιδιαίτερες μαθηματικές γνώσεις. Αυτή η ισορροπία μεταξύ απλοποίησης αλλά και επιστημονικής αυστηρότητας είναι καθοριστική, ειδικά όταν η προσομοίωση χρησιμοποιείται για μαθητές λυκείου που βρίσκονται σε στάδιο μετάβασης από την διαισθητική σκέψη στον τυπικό επιστημονικό συλλογισμό.

#### **2.4.3 Προσομοιώσεις PhET και κατανόηση της ενέργειας: Μηχανισμοί ενίσχυσης της μάθησης**

Η έννοια της ενέργειας είναι απαιτητική και πολυδιάστατη. Η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι οι μαθητές συχνά δεν κατανοούν την αφαιρετικότητα της ενέργειας, δυσκολεύονται να αναγνωρίσουν τη μετατροπή και τη μεταβίβασή της και υιοθετούν εναλλακτικές αντιλήψεις όπως η «κατανάλωση» ή η «εξάντληση» της ενέργειας (Driver et al., 1994). Οι προσομοιώσεις PhET μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα ισχυρό εργαλείο για την αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών λόγω τριών βασικών μηχανισμών μάθησης.

Ο πρώτος μηχανισμός αφορά την οπτικοποίηση αφηρημένων μεγεθών. Η δυνατότητα παρακολούθησης της κινητικής και δυναμικής ενέργειας μέσω energy bar charts, energy pie charts και color – coded representations βοηθά τους μαθητές να συνδέσουν τις έννοιες της ενέργειας με τις παρατηρήσιμες αλλαγές στην κίνηση και στη θέση. Το energy skate park simulation αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα, επιτρέποντας την άμεση παρατήρηση της μετατροπής μεταξύ δυναμικής και κινητικής ενέργειας κατά την κίνηση ενός αντικειμένου σε πίστα. Με αυτόν τον τρόπο, οι μαθητές βλέπουν σε πραγματικό χρόνο τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας σε συνθήκες χωρίς τριβές.

Ο δεύτερος μηχανισμός αφορά την ενεργοποίηση γνωστικών συγκρούσεων. Οι μαθητές που πιστεύουν ότι η ενέργεια «χάνεται» σε μια ελεύθερη πτώση μπορούν, μέσω της προσομοίωσης,

να διαπιστώσουν ότι η μείωση της δυναμικής ενέργειας συνοδεύεται από αύξηση της κινητικής ενέργειας, διατηρώντας σταθερό το συνολικό ποσό της. Οι ασυμφωνίες μεταξύ των προβλέψεων των μαθητών και των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης μπορούν να αποτελέσουν κίνητρο για αναθεώρηση των αρχικών τους αντιλήψεων, διαδικασία που συνδέεται με τη θεωρία της εννοιολογικής αλλαγής (Posner et al., 1982).

Ο τρίτος μηχανισμός αφορά την υποστήριξη της μάθησης με πολλαπλές αναπαραστάσεις. Η ταυτόχρονη παρουσία κίνησης, γραφημάτων και ενεργειακών διαγραμμάτων επιτρέπει στους μαθητές τη σύνδεση διαφορετικών μορφών πληροφορίας. Η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι η ικανότητα των μαθητών να μεταφράζουν πληροφορίες μεταξύ διαφορετικών αναπαραστάσεων αποτελεί κρίσιμο δείκτη εννοιολογικής κατανόησης (Ainsworth, 2006). Οι PhET διευκολύνουν αυτή τη διαδικασία, μειώνοντας τα εμπόδια που συχνά εμφανίζονται σε μαθητές που δυσκολεύονται να κατανοήσουν διαγράμματα ή αλγεβρικές σχέσεις.

#### **2.4.4 Διδακτικές στρατηγικές αξιοποίησης των PhET στο μάθημα της ενέργειας**

Η ένταξη των PhET σε ένα μάθημα Φυσικής μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορες διδακτικές στρατηγικές, ανάλογα με τους μαθησιακούς στόχους, το επίπεδο του μαθητικού πληθυσμού και τη διδακτική φιλοσοφία του εκπαιδευτικού. Στη διεθνή βιβλιογραφία οι κυριότερες στρατηγικές ένταξης είναι οι εξής: η καθοδηγούμενη διερεύνηση, η ανοιχτή διερεύνηση, η συνεργατική μάθηση και τα συνδυαστικά μοντέλα.

Η καθοδηγούμενη διερεύνηση (guided inquiry) αποτελεί τη συχνότερα εφαρμοζόμενη προσέγγιση, καθώς συνδυάζει την ελευθερία της εξερεύνησης με τη δομημένη υποστήριξη μέσω φύλλων εργασίας, ερωτήσεων πρόβλεψης και στοχευμένων δραστηριοτήτων (Finkelstein et al., 2015). Σε αυτή την προσέγγιση, ο εκπαιδευτικός δίνει τις απαραίτητες οδηγίες ώστε οι μαθητές να επικεντρωθούν στις κρίσιμες μεταβλητές του φαινομένου και να αποφύγουν τις περιττές πληροφορίες.

Η ανοιχτή διερεύνηση (open inquiry), αν και πιο απαιτητική, ευνοεί την ανάπτυξη επιστημονικών δεξιοτήτων, όπως ο σχεδιασμός πειράματος, ο έλεγχος μεταβλητών και η σύνθεση συμπερασμάτων. Η χρήση των PhET σε περιβάλλον ανοιχτής διερεύνησης είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όταν οι μαθητές έχουν προηγούμενη εμπειρία με αντίστοιχα εργαλεία ή όταν διδάσκονται σε πλαίσιο ενισχυμένης ψηφιακής κουλτούρας.

Η συνεργατική μάθηση μέσω PhET περιλαμβάνει τη χρήση ζευγών ή μικρών ομάδων μαθητών που συζητούν, προβλέπουν και ερμηνεύουν φαινόμενα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Έρευνες έχουν δείξει ότι η συνεργασία βοηθά στην εννοιολογική κατανόηση, καθώς οι μαθητές εκφράζουν τις ιδέες τους, συγκρίνουν τα νοητικά μοντέλα τους και αναστοχάζονται πάνω στις παρανοήσεις τους (Finkelstein et al., 2005).

Τα συνδυαστικά μοντέλα, στα οποία οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με εργαστηριακά πειράματα, προσφέρουν εικονική και αλλά και ταυτόχρονα πραγματική πειραματική εμπειρία. Η ενότητα της ενέργειας είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τέτοιου τύπου διδασκαλία, καθώς οι προσομοιώσεις βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση αφηρημένων εννοιών, ενώ τα πραγματικά πειράματα ενισχύουν τη δεξιότητα των μαθητών να χειρίζονται όργανα, αλλά τους δίνει και την ικανότητα να τεκμηριώνουν εμπειρικά τις απόψεις τους.

#### **2.4.5 Ερευνητικά ευρήματα για την αποτελεσματικότητα των PhET στη διδασκαλία της ενέργειας**

Τα τελευταία χρόνια έχουν δημοσιευθεί αρκετές μελέτες που εξετάζουν κατά πόσο είναι αποτελεσματικές οι προσομοιώσεις PhET στη διδασκαλία της ενέργειας. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι προσομοιώσεις συμβάλλουν σημαντικά στην εννοιολογική αλλαγή, στην ενίσχυση την κατανόησης και στην αύξησης της μαθησιακής απόδοσης (Rutten et al., 2012). Ειδικά στην ενότητα της ενέργειας, τα αποτελέσματα είναι εντυπωσιακά.

Οι Finkelstein et al. (2005) διαπίστωσαν ότι οι μαθητές που χρησιμοποίησαν προσομοίωση σε μάθημα μηχανικής ενέργειας παρουσίασαν σημαντικά υψηλότερες επιδόσεις σε τεστ εννοιολογικής κατανόησης σε σύγκριση με μαθητές που διδάχθηκαν αποκλειστικά με εργαστηριακό εξοπλισμό. Οι συγγραφείς θεωρούν ότι η άμεση οπτικοποίηση μετατροπών ενέργειας και η δυνατότητα ελέγχου μεταβλητών αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τα παραπάνω αποτελέσματα.

Άλλες μελέτες έδειξαν ότι οι PhET μειώνουν τις εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με τη διατήρηση της ενέργειας (Podolefsky et al., 2010). Για παράδειγμα, μαθητές που αρχικά πίστευαν ότι η ενέργεια «εξαφανίζεται» όταν ένα σώμα φτάνει σε χαμηλότερο σημείο της κίνησης, μετά τη χρήση προσομοιώσεων υιοθέτησαν επιστημονικά έγκυρες εξηγήσεις.

Επιπλέον, έρευνες σε ελληνικό εκπαιδευτικό πλαίσιο έδειξαν ότι οι PhET μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στη βελτίωση των επιδόσεων των μαθητών, στην αύξηση των κινήτρων και στη θετική στάση απέναντι στη Φυσική (Finkelstein et al., 2005). Ειδικότερα, στη διδασκαλία της ενέργειας, οι μαθητές έδειξαν σημαντικά μεγαλύτερη κατανόηση της διατήρησης της ενέργειας, της σχέσης μεταξύ ύψους και δυναμικής ενέργειας και της επίδρασης της τριβής.

#### **2.4.6 Προκλήσεις, περιορισμοί και κίνδυνοι λανθασμένης χρήσης των PhET**

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα, η χρήση των PhET έχει και αυτή δυσκολίες και πιθανά διδακτικά προβλήματα. Μία βασική πρόκληση έχει να κάνει με την πιθανότητα οι μαθητές να παρερμηνεύσουν τις αναπαραστάσεις ή να επικεντρωθούν σε δευτερεύουσες λεπτομέρειες, παραγνωρίζοντας τις θεμελιώδεις έννοιες. Επίσης, σε περιβάλλον ανεπαρκούς καθοδήγησης, οι μαθητές μπορεί να αναπτύξουν λανθασμένα συμπεράσματα ή να επιβεβαιώσουν τις ήδη υπάρχουσες εναλλακτικές αντιλήψεις τους.

Ο ρόλος του εκπαιδευτικού είναι επομένως ιδιαίτερα καθοριστικός. Χωρίς κατάλληλο scaffolding, οι προσομοιώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε γνωστική υπερφόρτωση, ειδικά για μαθητές που δεν έχουν εμπειρία με ψηφιακά εργαλεία ή δυσκολεύονται να διαβάσουν γραφήματα. Επιπλέον, η απουσία της «χειρωνακτικής» εμπειρίας των πραγματικών εργαστηριακών οργάνων μπορεί να στερήσει από τους μαθητές δεξιότητες πειραματισμού και μέτρησης, γι' αυτό και δεν συνίσταται η πλήρης αντικατάσταση του παραδοσιακού εργαστηρίου (de Jong et al., 2013).

Ένας ακόμη περιορισμός αφορά την υπεραπλούστευση ορισμένων φαινομένων. Για παράδειγμα, η ενέργεια αποδίδεται με απλές ράβδους ή γραφήματα που μπορεί να μην αποτυπώνουν την πολυπλοκότητα των πραγματικών φαινομένων, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει την ψευδαίσθηση της «εύκολης κατανόησης» χωρίς όμως να υπάρξει πραγματική εμβάθυνση στις έννοιες που μελετώνται.

#### **2.4.7 Συμπεράσματα για την παιδαγωγική αξία των PhET**

Συνολικά, οι προσομοιώσεις PhET αποτελούν ένα ισχυρό διδακτικό εργαλείο για την καλλιέργεια βαθιάς εννοιολογικής κατανόησης της ενέργειας και της διατήρησής της.

Ενισχύουν την ενεργητική μάθηση, τη γνωστική σύγκρουση, τη μεταφορά μεταξύ αναπαραστάσεων, τη μαθησιακή εμπλοκή και τη θετική στάση απέναντι τη Φυσική. Όταν αξιοποιούνται με κατάλληλη καθοδήγηση, μπορούν να βοηθήσουν ουσιαστικά στην αντιμετώπιση των εναλλακτικών αντιλήψεων και στη δημιουργία σταθερών εννοιολογικών δομών.

### **3. Μεθοδολογία**

Το παρόν κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας που υιοθετήθηκε για τη διεξαγωγή της έρευνας, η οποία εξετάζει σε βάθος τη διδασκαλία και τη μάθηση της έννοιας της μηχανικής ενέργειας και της αρχής διατήρησής της στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η επιλογή της ερευνητικής μεθοδολογίας είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για την επιστημονική εγκυρότητα της μελέτης, καθώς καθορίζει τόσο τον τρόπο συλλογής των δεδομένων όσο και το πλαίσιο ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

Η έρευνα σχεδιάστηκε έχοντας λάβει υπόψη τις θεωρητικές προσεγγίσεις μάθησης και τις ερευνητικές διαπιστώσεις που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, σύμφωνα με τις οποίες η κατανόηση της έννοιας της ενέργειας συνδέεται άμεσα με τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών και απαιτεί στοχευμένες διδακτικές παρεμβάσεις. Στο πλαίσιο αυτό, επιλέχθηκε μικτή ερευνητική προσέγγιση, με τη συμμετοχή ομάδας ελέγχου και πειραματικής ομάδας, προκειμένου να διερευνηθεί τόσο η μαθησιακή επίδοση όσο και οι εννοιολογικές αλλαγές που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα της μελέτης, το ερευνητικό πλαίσιο και ο σχεδιασμός της έρευνας, τα χαρακτηριστικά του δείγματος, τα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, η διδακτική παρέμβαση που εφαρμόστηκε στις δύο ομάδες, η διαδικασία συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων, καθώς και τα ζητήματα εγκυρότητας, αξιοπιστίας και δεοντολογίας.

#### **3.1 Σκοπός της έρευνας και ερευνητικά ερωτήματα**

Η παρούσα έρευνα έχει ως σκοπό τη διερεύνηση της κατανόησης της έννοιας της μηχανικής ενέργειας και της αρχής διατήρησής της από μαθητές της Α' λυκείου, με ιδιαίτερη έμφαση στις εναλλακτικές αντιλήψεις που αναπτύσσουν πριν και μετά τη διδασκαλία. Όπως έχουμε δει και στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία, η έννοια της ενέργειας αποτελεί ένα από τα πιο απαιτητικά και δύσκολα αντικείμενα της σχολικής Φυσικής, καθώς οι μαθητές συχνά αποδίδουν στην ενέργεια ιδιότητες υλικής οντότητας, τη συνδέουν αποκλειστικά με την κίνηση

ή θεωρούν ότι «χάνεται» κατά τη διάρκεια φυσικών διεργασιών (Driver et al., 1994, Duit & Treagust, 2003, Neumann et al., 2013).

Πέρα από την καταγραφή των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών, βασικός στόχος της έρευνας είναι να αξιολογηθεί η επίδραση διαφορετικών διδακτικών προσεγγίσεων στη μαθησιακή διαδικασία. Συγκεκριμένα, η έρευνα επιχειρεί να συγκρίνει την αποτελεσματικότητα μιας παραδοσιακής διδασκαλίας με εκείνη μιας διδασκαλίας που αξιοποιεί διαδραστικές προσομοιώσεις PhET, ως προς τη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης αλλά και τη μείωση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών.

Η επιλογή των προσομοιώσεων PhET βασίζεται στη δυνατότητά τους να προσφέρουν δυναμικές και πολλαπλές αναπαραστάσεις των φυσικών φαινομένων, να υποστηρίζουν τον πειραματισμό με μεταβλητές και να ενισχύουν την ενεργή συμμετοχή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία (Wieman et al., 2010, Perkins et al., 2006). Γι' αυτό το λόγο, η έρευνα δεν περιορίζεται στην αξιολόγηση της επίδοσης, αλλά επεκτείνεται στη διερεύνηση των στάσεων και αντιλήψεων των μαθητών απέναντι στη χρήση των ψηφιακών εργαλείων στη διδασκαλία της Φυσικής.

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα μελέτη επιχειρεί να απαντήσει στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα:

Το πρώτο ερευνητικό ερώτημα αφορά τις εναλλακτικές αντιλήψεις που διαθέτουν οι μαθητές της Α' λυκείου σχετικά με τη μηχανική ενέργεια και την αρχή διατήρησής της πριν τη διδακτική παρέμβαση.

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα διερευνά κατά πόσο η διδασκαλία της έννοιας της ενέργειας, τόσο μέσω παραδοσιακής προσέγγισης όσο και μέσω αξιοποίησης προσομοιώσεων PhET, συμβάλλει στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης.

Το τρίτο ερευνητικό ερώτημα εξετάζει αν και σε ποιο βαθμό διαφοροποιείται η πειραματική ομάδα σε σχέση με την ομάδα ελέγχου ως προς τη μείωση των εναλλακτικών αντιλήψεων και την υιοθέτηση επιστημονικά αποδεκτών ερμηνειών.

Το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα εξετάζει ποιες εναλλακτικές αντιλήψεις παραμένουν μετά το πέρας της διδασκαλίας και σε ποια από τις δύο μορφές διδακτικής παρέμβασης παρουσιάζεται μεγαλύτερη ανθεκτικότητα.

### **3.2 Ερευνητικό πλαίσιο και ερευνητικός σχεδιασμός**

Η παρούσα έρευνα εντάσσεται στο πεδίο της Διδακτικής της Φυσικής και ειδικότερα στη μελέτη της μάθησης εννοιών της κλασικής μηχανικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Το ερευνητικό πλαίσιο διαμορφώθηκε με βάση τις σύγχρονες θεωρητικές προσεγγίσεις της μάθησης, οι οποίες αναγνωρίζουν πως ο μαθητής έχει ενεργό ρόλο στη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης, όπως και τον καθοριστικό ρόλο που διαδραματίζουν οι προϋπάρχουσες αντιλήψεις στη διαμόρφωση της εννοιολογικής κατανόησης (Driver et al., 1994, Duit & Treagust, 2003). Παράλληλα, ο σχεδιασμός της έρευνας λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες του σχολικού περιβάλλοντος και τους περιορισμούς που απορρέουν από τη διεξαγωγή εκπαιδευτικής έρευνας σε πραγματικές συνθήκες τάξης.

Ο σχεδιασμός της έρευνας επιδιώκει αφενός να μπορέσουν να καταγραφούν οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας και αφετέρου να διερευνηθεί η επίδραση των διαφορετικών διδακτικών προσεγγίσεων στη μαθησιακή διαδικασία. Για τον λόγο αυτό, επιλέχθηκε ένας σχεδιασμός που συνδυάζει ποσοτικά και ποιοτικά στοιχεία και επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ των δύο ομάδων μαθητών που διδάχθηκαν το ίδιο γνωστικό αντικείμενο με διαφορετικά μέσα διδασκαλίας.

#### **3.2.1 Επιστημολογικές και παιδαγωγικές παραδοχές της έρευνας**

Η έρευνα βασίζεται στις βασικές αρχές του εποικοδομητισμού, σύμφωνα με τις οποίες δεν υπάρχει παθητική μετάδοση της γνώσης από τον εκπαιδευτικό στον μαθητή, αλλά μέσα από την αλληλεπίδρασή του με το φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον της μάθησης, ο μαθητής οικοδομεί ενεργά τη γνώση (Piaget, 1972, Von Glasersfeld, 1995). Εξάλλου, η σχολική γνώση προσεγγίζεται αφού οι μαθητές έχουν ήδη διαμορφώσει τις δικές τους ιδέες και ερμηνείες για τα φυσικά φαινόμενα, οι οποίες επηρεάζουν κατά πολύ τον τρόπο που αφομοιώνουν τις νέες πληροφορίες.

Οι εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών για την ενέργεια και τη διατήρησή της δεν μπορούν να θεωρηθούν ως απλά λανθασμένες απαντήσεις, αλλά αποτελούν γνωστικά σχήματα τα οποία έχουν εσωτερική λογική αλλά διαδραματίζουν και λειτουργικό ρόλο στη σκέψη των μαθητών

(Driver et al., 1985, Vosniadou, 2013). Το πιο βασικό εμπόδιο για να μπορέσουν οι μαθητές να κατανοήσουν τις έννοιες της Φυσικής είναι η ανθεκτικότητα αυτών των αντιλήψεων.

Σε αυτή την έρευνα χρησιμοποιείται μια παιδαγωγική προσέγγιση η οποία δίνει έμφαση στην δημιουργία μαθησιακών συνθηκών οι οποίες ευνοούν τον αναστοχασμό αλλά και τη γνωστική σύγκρουση, οδηγώντας με αυτό τον τρόπο σταδιακά στην εννοιολογική αλλαγή (Posner et al., 1982). Η χρήση διδακτικών εργαλείων που προσφέρουν πολλαπλές αναπαραστάσεις είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς βοηθούν τις διαισθητικές εμπειρίες των μαθητών να γίνουν επιστημονικά αποδεκτές.

### **3.2.2 Επιλογή μικτής ερευνητικής προσέγγισης**

Επειδή το συγκεκριμένο ερευνητικό αντικείμενο είναι αρκετά σύνθετο, επιλέχθηκε η μικτή ερευνητική προσέγγιση, που συνδυάζει ποσοτικές και ποιοτικές μεθόδους συλλογής και ανάλυσης δεδομένων. Η μικτή μέθοδος είναι κατάλληλη για τη διδακτική έρευνα, γιατί έτσι μπορούμε να διερευνήσουμε ολοκληρωμένα τόσο τα μαθησιακά αποτελέσματα όσο και τη γνωστική διεργασία που τα συνοδεύει (Johnson & Onwuegbuzie, 2004, Creswell & Plano Clark, 2018).

Η ποσοτική μέθοδος συλλογής των δεδομένων έχει ως σκοπό να μετρήσουμε τη μαθησιακή επίδοση των μαθητών αλλά και να μπορέσουμε να συγκρίνουμε στατιστικά τα αποτελέσματα πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση, τόσο στην ομάδα ελέγχου όσο και στην πειραματική ομάδα. Παράλληλα, η ποιοτική μέθοδος μας επιτρέπει να διερευνήσουμε σε βάθος τις εννοιολογικές μεταβολές των μαθητών, αναλύοντας τις αιτιολογήσεις, τις γραπτές απαντήσεις και τις παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας.

Συνδυάζοντας αυτές τις δύο μεθόδους, ενισχύεται η ερμηνευτική ισχύς της έρευνας και η εγκυρότητα, η πληρότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, βοηθώντας έτσι στο να κατανοηθούν καλύτερα τα ερευνητικά ευρήματα αλλά και να μειωθεί ο κίνδυνος να βγουν μεροληπτικά ή αποσπασματικά συμπεράσματα.

### **3.2.3 Ημipeιραματικός σχεδιασμός και σύγκριση ομάδων**

Η παρούσα μελέτη ακολουθεί ημipeιραματικό σχεδιασμό, αφού η έρευνα έγινε σε πραγματικό σχολικό περιβάλλον και με υφιστάμενα σχολικά τμήματα, χωρίς να γίνει τυχαία κατανομή των

μαθητών στις ομάδες. Η επιλογή αυτή έγινε λόγω των περιορισμών που θέτει το εκπαιδευτικό πλαίσιο, είναι όμως και επιστημονικά αποδεκτή και χρησιμοποιείται ευρέως στη διδακτική έρευνα στις Φυσικές Επιστήμες (Cohen et al., 2018, Fraenkel et al., 2012).

Στην έρευνα συμμετείχαν μία ομάδα ελέγχου και μία πειραματική ομάδα μαθητών της Α' λυκείου, οι οποίες διδάχθηκαν το ίδιο γνωστικό αντικείμενο στον ίδιο χρόνο και είχαν κοινούς διδακτικούς στόχους. Η βασική διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο ομάδες ήταν η διδακτική προσέγγιση και τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν. Στην ομάδα ελέγχου εφαρμόστηκε παραδοσιακή διδασκαλία, που βασίστηκε στη μετωπική παρουσίαση της θεωρίας και στην επίλυση ασκήσεων, ενώ στην πειραματική ομάδα χρησιμοποιήθηκαν προσομοιώσεις PhET για τη διερεύνηση των εννοιών της ενέργειας και της διατήρησής της.

Αυτός ο σχεδιασμός επιτρέπει να συγκρίνουμε τα μαθησιακά αποτελέσματα και των δύο ομάδων και να διερευνήσουμε την επίδραση της χρήσης των προσομοιώσεων στη μαθησιακή διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται η εγκυρότητα της έρευνας σε σημείο που είναι εφικτό σε συνθήκες σχολικής τάξης.

### **3.3 Δείγμα έρευνας και εκπαιδευτικό πλαίσιο**

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τα ερευνητικά αποτελέσματα και να τα γενικεύσουμε, είναι απαραίτητη η περιγραφή του δείγματος της έρευνας, καθώς και του εκπαιδευτικού πλαισίου στο οποίο διεξάχθηκε. Στην εκπαιδευτική έρευνα και κυρίως στη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, το σχολικό πλαίσιο και τα χαρακτηριστικά των μαθητών που συμμετέχουν σε αυτή, επηρεάζουν τόσο τη μαθησιακή διαδικασία όσο και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Cohen et al., 2018, Fraenkel et al., 2012).

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε πραγματικές συνθήκες σχολικής τάξης, γεγονός που ενισχύει την εγκυρότητά της αλλά επιβάλλει και περιορισμούς ως προς τον έλεγχο όλων των μεταβλητών που μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα.

### **3.3.1 Χαρακτηριστικά του δείγματος**

Το δείγμα της έρευνας αποτελείται από 108 μαθητές της Α΄ λυκείου δημοσίου σχολείου της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η επιλογή της συγκεκριμένης βαθμίδας δεν είναι τυχαία, γιατί στην Α΄ λυκείου εισάγονται πιο ουσιαστικά οι έννοιες της μηχανικής ενέργειας και η αρχή διατήρησής της στο πλαίσιο του αναλυτικού προγράμματος σπουδών. Επιπλέον οι μαθητές αυτής της ηλικίας βρίσκονται σε μεταβατικό στάδιο από την υποχρεωτική στη μη υποχρεωτική εκπαίδευση.

Στην έρευνα συμμετείχαν τέσσερα τμήματα της ίδιας σχολικής μονάδας, τα οποία συγκρότησαν την ομάδα ελέγχου και την πειραματική ομάδα. Στην εκπαιδευτική έρευνα είναι πολύ σύνηθες να χρησιμοποιούνται υφιστάμενα σχολικά τμήματα, καθώς σε συνθήκες σχολικής πραγματικότητας δεν είναι συχνά εφικτό οι μαθητές να κατανέμονται τυχαία σε ομάδες (Fraenkel et al., 2012). Οι μαθητές των δύο αυτών ομάδων έχουν παρόμοια ηλικιακά και εκπαιδευτικά χαρακτηριστικά, ενώ δεν έχουν ακόμη διδαχθεί την έννοια της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.

### **3.3.2 Σχολικό και διδακτικό πλαίσιο της έρευνας**

Η έρευνα έγινε σε πλαίσια κανονικής σχολικής λειτουργίας, κατά τη διάρκεια των ωρών διδασκαλίας του μαθήματος της Φυσικής. Το διδακτικό περιεχόμενο, η χρονική διάρκεια της παρέμβασης και οι διδακτικοί στόχοι ήταν κοινοί και για τις δύο ομάδες, πάντα σε συμφωνία με το ισχύον αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών και το σχολικό βιβλίο.

Η διδασκαλία πραγματοποιήθηκε από την ίδια εκπαιδευτικό και στις δύο ομάδες, για να περιοριστούν οι εξωγενείς παράγοντες όπως το διδακτικό ύφος ή η εμπειρία του εκπαιδευτικού. Η ομάδα ελέγχου διδάχθηκε με παραδοσιακή προσέγγιση, η οποία βασίζεται στη μετωπική διδασκαλία, στην ανάλυση θεωρητικών εννοιών και στην επίλυση ασκήσεων, ενώ η πειραματική ομάδα διδάχθηκε αξιοποιώντας τις προσομοιώσεις PhET, μέσα από διερευνητικές δραστηριότητες και φύλλα εργασίας.

Το γεγονός ότι η έρευνα εντάχθηκε στο κανονικό σχολικό πρόγραμμα ενισχύει τη σαφήνεια των αποτελεσμάτων με την εκπαιδευτική πράξη, ταυτόχρονα όμως περιορίζει τη δυνατότητα να ελεγχθούν πλήρως όλες οι μεταβλητές, όπως ο διαθέσιμος χρόνος ή οι μαθησιακές ιδιαιτερότητες των μαθητών.

### **3.3.3 Ζητήματα σύγκρισης των ομάδων**

Για να υπάρξει εγκυρότητα των συμπερασμάτων σε ημι-πειραματικούς σχεδιασμούς, πρέπει να υπάρξει σύγκριση ανάμεσα στην ομάδα ελέγχου και στην πειραματική ομάδα (Cohen et al., 2018). Στην παρούσα έρευνα, προσπαθήσαμε να περιορίσουμε τις διαφορές των δύο ομάδων, επιλέγοντας τμήματα της ίδιας σχολικής μονάδας με κοινή διδακτέα ύλη και εφαρμόζοντας τη διδακτική παρέμβαση στον ίδιο χρόνο.

Η χορήγηση του pre – test και στις δύο ομάδες πριν την έναρξη της διδακτικής παρέμβασης επέτρεψε τη διερεύνηση των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών και του επιπέδου κατανόησής τους. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του pre – test και του post – test, σε συνδυασμό με την ποιοτική ανάλυση των απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές, μας βοηθά να σχηματίσουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την επίδραση της διδακτικής παρέμβασης.

Παρά τα μέτρα που λήφθηκαν, οφείλεται να αναγνωριστεί ότι σε έρευνες που διεξάγονται σε αυθεντικό σχολικό περιβάλλον δεν μπορούμε να εξαλείψουμε πλήρως όλους τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματά μας. Το να μπορέσουμε να αναγνωρίσουμε αυτούς τους περιορισμούς είναι ένα βασικό στοιχείο για την επιστημονική εγκυρότητα της έρευνας.

### **3.4 Ερευνητικά εργαλεία συλλογής δεδομένων**

Τα ερευνητικά εργαλεία που επιλέχθηκαν διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εγκυρότητα και την αξιοπιστία της εκπαιδευτικής έρευνας, γιατί συνδέουν τα ερευνητικά ερωτήματα με τα δεδομένα που συλλέγονται (Cohen et al., 2018). Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός ερευνητικών εργαλείων, για να μπορέσουμε να διερευνήσουμε τόσο τις εννοιολογικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας, όσο και τις στάσεις τους απέναντι στην εκπαιδευτική διαδικασία και στη χρήση ψηφιακών εργαλείων.

Η χρήση πολλαπλών ερευνητικών εργαλείων συνάδει με τη μικτή μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, επιτρέποντας τη διασταύρωση των δεδομένων και διασφαλίζοντας την

εγκυρότητα των αποτελεσμάτων (Creswell & Plano Clark, 2018). Τα βασικά ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το εννοιολογικό pre – test και post – test, τα φύλλα εργασίας που αξιοποιήθηκαν κατά τη διδακτική παρέμβαση και το ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων των μαθητών.

### **3.4.1 Εννοιολογικό pre – test και post – test**

Τα εννοιολογικά pre – test (βλ. Παράρτημα Β) και post – test (βλ. Παράρτημα Ε) σχεδιάστηκαν με σκοπό να διερευνηθούν οι αρχικές και οι τελικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με τη μηχανική ενέργεια και την αρχή διατήρησής της. Η χρήση των pre – test και post – test είναι μια διαδεδομένη πρακτική στη διδακτική έρευνα, αφού επιτρέπει να καταγράψουμε την μαθησιακή εξέλιξη των μαθητών και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση (Fraenkel et al., 2012).

Τα συγκεκριμένα τεστ περιλαμβάνουν ερωτήσεις κλειστού και ανοικτού τύπου, ώστε να μπορέσουμε να καταγράψουμε όχι μόνο τις επιλογές απάντησης των μαθητών αλλά και την αιτιολόγησή τους. Οι ερωτήσεις σχεδιάστηκαν σύμφωνα με τα ερευνητικά ευρήματα της βιβλιογραφίας για τις συχνότερες εναλλακτικές αντιλήψεις για την ενέργεια, όπως η αντίληψη πως η ενέργεια «χάνεται», πως αποτελεί ιδιότητα των σωμάτων ή πως συνδέεται αποκλειστικά με την κίνηση (Driver et al., 1994, Duit & Treagust, 2003).

Δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διατύπωση των ερωτήσεων, για να είναι κατανοητές σε μαθητές Α΄ λυκείου και να συμβαδίζουν με το γνωστικό επίπεδο και το περιεχόμενο του σχολικού αναλυτικού προγράμματος. Το post – test είναι ισοδύναμο με το pre– test ως προς τη δομή και τη δυσκολία, για να μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Στην συγκεκριμένη έρευνα, διαμορφώσαμε με τέτοιο τρόπο τις ερωτήσεις των εννοιολογικών τεστ, έτσι ώστε κάθε επιλογή απάντησης να αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες εναλλακτικές αντιλήψεις που είναι καταγεγραμμένες στη διεθνή βιβλιογραφία. Με αυτό τον τρόπο, προσπαθήσαμε να εξασφαλίσουμε ότι θα εντοπίσουμε τις προϋπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών μέσα από την απάντηση που εκείνοι επέλεξαν, ακόμα και αν δεν δώσουν εκτενή γραπτή αιτιολόγηση. Χρησιμοποιήσαμε τις γραπτές αιτιολογήσεις, όπου αυτές δόθηκαν, συμπληρωματικά, για να μπορέσουμε να επιβεβαιώσουμε την ερμηνεία των απαντήσεων αλλά και να ενισχύσουμε την εγκυρότητα της ανάλυσης.

### **3.4.2 Φύλλα εργασίας και διδακτικά σενάρια**

Βασικό εργαλείο της διδακτικής παρέμβασης είναι τα φύλλα εργασίας, τα οποία σχεδιάστηκαν με σκοπό οι μαθητές να εμπλακούν ενεργά στη μαθησιακή διαδικασία. Στην ομάδα ελέγχου χρησιμοποιήθηκε σχέδιο μαθήματος (βλ. Παράρτημα Γ) που υποστηρίζει την παραδοσιακή διδασκαλία, δίνοντας έμφαση στην εφαρμογή θεωρητικών εννοιών και στην επίλυση απλών προβλημάτων. Δεν δόθηκαν φύλλα εργασίας, καθώς κάτι τέτοιο δεν συνηθίζεται στον παραδοσιακό τρόπο διδασκαλίας. Στην πειραματική ομάδα, τα φύλλα εργασίας (βλ. Παράρτημα Δ) σχεδιάστηκαν με βάση διερευνητικές δραστηριότητες, χρησιμοποιώντας ως εργαλείο διερεύνησης τις προσομοιώσεις PhET.

Η χρήση φύλλων εργασίας με διερευνητικό χαρακτήρα μπορεί να βοηθήσει στην εννοιολογική κατανόηση και να οικοδομήσει νέα γνώση, ειδικά με τον συνδυασμό τους με ψηφιακά περιβάλλοντα που αναπαριστούν δυναμικά τα φυσικά φαινόμενα (Perkins et al., 2006, Wieman et al., 2010). Τα φύλλα εργασίας που προορίζονται για την πειραματική ομάδα συνδέουν την κατανόηση των φυσικών φαινομένων που μελέτησαν οι μαθητές με τις μαθηματικές σχέσεις που τα διέπουν. Με αυτόν τον τρόπο, ενθαρρύνουν τους μαθητές να διατυπώσουν τις προβλέψεις τους, να ελέγξουν την ορθότητα των υποθέσεών τους μέσα από την προσομοίωση και να αναστοχαστούν πάνω στα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους πειραματισμούς τους.

### **3.4.3 Ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων των μαθητών**

Για να μπορέσουμε να διερευνήσουμε τις στάσεις και τις αντιλήψεις των μαθητών απέναντι στη διδασκαλία της ενέργειας και στη χρήση των προσομοιώσεων PhET, χρησιμοποιήσαμε ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων (βλ. Παράρτημα ΣΤ). Τα ερωτηματολόγια είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται συχνά στην εκπαιδευτική έρευνα, γιατί μας επιτρέπουν να συλλέξουμε δεδομένα από μεγάλο αριθμό συμμετεχόντων με έναν σύντομο και συστηματικό τρόπο (Cohen et al., 2018).

Το ερωτηματολόγιο αποτελείται από δηλώσεις τύπου Likert, μέσα από τις οποίες οι μαθητές καλούνται να εκφράσουν το πόσο συμφωνούν με τη χρησιμότητα της διδασκαλίας, την κατανόηση των εννοιών της ενέργειας και τη συμβολή των προσομοιώσεων στη μαθησιακή

διαδικασία. Οι κλίμακες Likert επιτρέπουν να αποτυπώσουμε ποσοτικά τη στάση των μαθητών και να αναλύσουμε στατιστικά τα δεδομένα (Likert, 1932).

Το συγκεκριμένο ερωτηματολόγιο δόθηκε και στις δύο ομάδες μαθητών, προκειμένου να διερευνήσουμε συγκριτικά τις απόψεις τους για τη διδασκαλία της ενέργειας. Στην πειραματική ομάδα συμπεριλάβαμε επιπλέον ερωτήσεις που αφορούσαν ειδικά τη χρήση των προσομοιώσεων PhET.

### **3.5 Διδακτική παρέμβαση**

Η διδακτική παρέμβαση αποτελεί το κεντρικό σημείο της έρευνας, γιατί μέσα από αυτή μας δίνεται η δυνατότητα να διερευνήσουμε την επίδραση που έχουν οι διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις στην κατανόηση της έννοιας της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας από μαθητές της Α' λυκείου. Ο σχεδιασμός της παρέμβασης είχε ως σκοπό να εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή συγκρισιμότητα μεταξύ της ομάδας ελέγχου και της πειραματικής ομάδας, καθώς διαφοροποιείται μόνο ως προς τη διδακτική μεθοδολογία και όχι ως προς το περιεχόμενο που διδάσκεται ή τον χρόνο που αφιερώνεται στη διδασκαλία (Fraenkel et al., 2012).

Η διδασκαλία υλοποιήθηκε στα πλαίσια του επίσημου αναλυτικού προγράμματος της Φυσικής της Α' λυκείου και για τις δύο ομάδες και αφορούσε έννοιες της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας, καθώς και την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας σε απλά μηχανικά συστήματα.

#### **3.5.1 Χρονική διάρκεια και οργανωτικό πλαίσιο της παρέμβασης**

Η διδακτική παρέμβαση πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις διδακτικές ώρες, από δύο διδακτικές ώρες για κάθε ομάδα. Και για τις δύο ομάδες ακολουθήσαμε το ίδιο χρονοδιάγραμμα, για να μπορέσουμε να ελαχιστοποιήσουμε οποιαδήποτε επίδραση από εξωτερικούς παράγοντες στη μαθησιακή διαδικασία. Πριν από την έναρξη της διδακτικής παρέμβασης, δόθηκε στους μαθητές το εννοιολογικό pre – test, ενώ μετά την ολοκλήρωσή της δόθηκε το post – test και το ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων.

Η διδασκαλία πραγματοποιήθηκε από την ίδια εκπαιδευτικό, για να αποφύγουμε τις διαφοροποιήσεις στο διδακτικό ύφος ή στην διδακτική εμπειρία, ώστε να ενισχυθεί η εγκυρότητα της έρευνας (Cohen et al., 2018).

### **3.5.2 Διδακτική προσέγγιση στην ομάδα ελέγχου (παραδοσιακή διδασκαλία)**

Στην ομάδα ελέγχου εφαρμόσαμε την παραδοσιακή διδακτική προσέγγιση, δηλαδή αυτή που συνηθίζεται στη διδασκαλία της Φυσικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Η διδασκαλία αυτή είχε ως βάση τη μετωπική παρουσίαση των εννοιών από την εκπαιδευτικό, χρησιμοποιώντας το σχολικό εγχειρίδιο και τον πίνακα, αλλά και την επίλυση κάποιων ενδεικτικών ασκήσεων.

Αρχικά, η έννοια της ενέργειας παρουσιάστηκε μέσα από ορισμούς και μαθηματικές σχέσεις, ενώ στη συνέχεια εφαρμόστηκε η αρχή της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας μέσα από τυπικά παραδείγματα, όπως η ελεύθερη πτώση των σωμάτων και η κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο απουσίας τριβών. Οι μαθητές έπρεπε να λύσουν ασκήσεις εφαρμόζοντας αλγοριθμικές διαδικασίες, χωρίς να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στο να διερευνηθούν οι αρχικές τους αντιλήψεις ή να προβλέψουν το τι θα συμβεί σε κάθε περίπτωση.

Η συγκεκριμένη προσέγγιση δείχνει με ποιο τρόπο διδάσκεται η έννοια της ενέργειας στο σχολικό πλαίσιο, κάτι που καθιστά την ομάδα ελέγχου ένα κατάλληλο σημείο αναφοράς για να συγκρίνουμε τα μαθησιακά αποτελέσματα (Driver et al., 1994).

### **3.5.3 Διδακτική προσέγγιση στην πειραματική ομάδα (χρήση προσομοιώσεων PhET)**

Στην πειραματική ομάδα εφαρμόσαμε διδακτική προσέγγιση με διερευνητικό χαρακτήρα, αξιοποιώντας τις διαδραστικές προσομοιώσεις PhET, και συγκεκριμένα την προσομοίωση «Energy Skate Park». Οι μαθητές εργάστηκαν σε μικρές ομάδες, παρατηρώντας την προσομοίωση που έγινε από την εκπαιδευτικό και συμπληρώνοντας το φύλλο εργασίας που τους δόθηκε. Η διδασκαλία περιλάμβανε δραστηριότητες που ενθάρρυναν τους μαθητές να έχουν ενεργή αλληλεπίδραση με τις προσομοιώσεις, να διατυπώσουν υποθέσεις, να μπορούν να ελέγξουν τις προβλέψεις τους και να αναστοχαστούν πάνω στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία.

Η συγκεκριμένη προσομοίωση επιλέχθηκε λόγω της συνάφειάς της με το διδακτικό αντικείμενο και γιατί μπορεί να αναπαραστήσει δυναμικά τη μετατροπή και τη διατήρηση της

μηχανικής ενέργειας. Οι μαθητές παρατήρησαν σε πραγματικό χρόνο τις μεταβολές των μορφών ενέργειας και συνέδεσαν τις μαθηματικές σχέσεις με φυσικές διαδικασίες, μέσα από την οπτικοποίηση της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας (Wieman et al., 2010).

Η διδακτική παρέμβαση σχεδιάστηκε με σκοπό να αντιμετωπίζει άμεσα τις εναλλακτικές αντιλήψεις που καταγράφονται στη βιβλιογραφία, όπως αντιλήψεις ότι η ενέργεια «χάνεται» ή εξαρτάται μόνο από την κίνηση του σώματος (Duit & Treagust, 2003). Η καθοδήγηση των μαθητών έγινε μέσα από φύλλα εργασίας, τα οποία λειτούργησαν ως γνωστικό στήριγμα και προωθούσαν τη σταδιακή οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης.

### **3.5.4 Ρόλος της εκπαιδευτικού και των μαθητών**

Στην ομάδα ελέγχου, ο ρόλος της εκπαιδευτικού ήταν κυρίως καθοδηγητικός και μεταδοτικός, με τους μαθητές να έχουν περιορισμένο βαθμό ενεργής συμμετοχής. Αντίθετα, στην πειραματική ομάδα, η εκπαιδευτικός είχε το ρόλο του συντονιστή της εκπαιδευτικής διαδικασίας, παρέχοντας υποστήριξη όπου αυτή ήταν απαραίτητη, χωρίς όμως να δίνει άμεσα τις απαντήσεις.

Η διαφοροποίηση αυτή μας δείχνει τις βασικές αρχές των εποικοδομητικών θεωριών μάθησης, σύμφωνα με τις οποίες οι μαθητές οικοδομούν ενεργά την γνώση καθώς αλληλεπιδρούν με το μαθησιακό περιβάλλον (Von Glasersfeld, 1995).

### **3.6 Διαδικασία συλλογής και ανάλυσης δεδομένων**

Η διαδικασία συλλογής και ανάλυσης των δεδομένων σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να δώσει απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα αυτής της μελέτης και αξιοποιεί τα πλεονεκτήματα της μικτής ερευνητικής προσέγγισης. Η συνδυαστική ανάλυση τόσο των ποσοτικών όσο και των ποιοτικών δεδομένων μας επιτρέπει να κατανοήσουμε τα μαθησιακά αποτελέσματα αλλά και τις στάσεις και τις αντιλήψεις των μαθητών απέναντι στη διδακτική παρέμβαση (Creswell & Plano Clark, 2018).

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε διακριτά στάδια, τα οποία ακολουθούν τη λογική του ημιπειραματικού σχεδιασμού, για να μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε τη συστηματικότητα και τη διαφάνεια της ερευνητικής διαδικασίας.

### **3.6.1 Στάδια συλλογής δεδομένων**

Σε πρώτο στάδιο, πριν ξεκινήσει η διδακτική παρέμβαση, χορηγήσαμε σε όλους τους μαθητές το εννοιολογικό pre – test, το οποίο είχε ως στόχο την καταγραφή των αρχικών τους αντιλήψεων σχετικά με τη μηχανική ενέργεια και τη διατήρησή της. Η συμπλήρωσή του έγινε σε συνθήκη σχολικής τάξης και χωρίς να προηγηθεί κάποια συζήτηση για το περιεχόμενό του, με σκοπό να αποτυπωθούν αυθεντικά οι προϋπάρχουσες γνώσεις και αντιλήψεις των μαθητών. Στην συνέχεια ακολούθησε η διδακτική παρέμβαση και στις δύο ομάδες, όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα.

Αφού ολοκληρώθηκε η διδακτική παρέμβαση, δόθηκε στους μαθητές το εννοιολογικό post – test, το οποίο είναι ισοδύναμο με το pre – test, καθώς και το ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων. Η παραπάνω διαδικασία μας επιτρέπει να συγκρίνουμε τα δεδομένα πριν και μετά τη διδασκαλία και να διερευνήσουμε πιθανές μεταβολές στις αντιλήψεις και στάσεις των μαθητών (Fraenkel et al., 2012).

Οι ερωτήσεις που περιλαμβάνουν αυτά τα δύο εννοιολογικά τεστ, έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε κάθε απάντηση να αντιστοιχεί στις εναλλακτικές αντιλήψεις της βιβλιογραφίας, όπως τις παρουσιάσαμε στην ενότητα 2.3. Αυτό έγινε για να εξασφαλίσουμε ότι, ακόμα και αν οι μαθητές δεν δώσουν κάποια γραπτή αιτιολόγηση για την απάντησή τους, θα μπορούμε να διακρίνουμε την εναλλακτική αντίληψη που προϋπάρχει, μέσα από την απάντηση που θα επιλέξουν.

### **3.6.2 Ποσοτική ανάλυση δεδομένων**

Τα δεδομένα που προέκυψαν από τα pre-test, post-test και τα ερωτηματολόγια στάσεων αναλύθηκαν με ποσοτικές μεθόδους. Αρχικά πραγματοποιήσαμε περιγραφική στατιστική ανάλυση που περιλαμβάνει υπολογισμούς μέσων όρων, τυπικές αποκλίσεις και ποσοστά επιτυχίας, ώστε να μπορέσουμε να αποτυπώσουμε συνοπτικά την επίδοση των μαθητών και στις δύο ομάδες.

Στη συνέχεια, έγινε συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των pre-test και post-test μεταξύ της ομάδας ελέγχου και της πειραματικής ομάδας. Η σύγκριση αυτή μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε τη μαθησιακή εξέλιξη των μαθητών και να διερευνήσουμε τη χρήση των προσομοιώσεων PhET στη διδασκαλία της ενέργειας. Οι συγκεκριμένες στατιστικές αναλύσεις επιλέχθηκαν με βάση το μέγεθος του δείγματος και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων, εφόσον είναι καθιερωμένες πρακτικές που χρησιμοποιούνται ευρέως στην εκπαιδευτική έρευνα (Cohen et al., 2018).

Τα δεδομένα που λήφθηκαν από το ερωτηματολόγιο στάσεων, αναλύθηκαν με κωδικοποίηση των απαντήσεων της κλίμακας Likert και εξαγωγή συνολικών δεικτών στάσεων, ώστε να μπορέσουμε να διερευνήσουμε τις απόψεις των μαθητών σχετικά με τη διδακτική προσέγγιση που ακολουθήθηκε.

### **3.6.3 Ποιοτική ανάλυση δεδομένων και σύστημα κωδικοποίησης**

Τα ποιοτικά δεδομένα που συλλέξαμε, τόσο από τις ανοιχτές απαντήσεις των μαθητών, όπου αυτές υπήρχαν, όσο και από τα πρότυπα επιλογών στις ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες εναλλακτικών αντιλήψεων, αναλύθηκαν με ποιοτική ανάλυση περιεχομένου. Η ενσωμάτωση των ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής στον ποιοτικό έλεγχο, έγινε για να εξασφαλίζει ότι θα μπορέσουμε να εντοπίσουμε τις κυρίαρχες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, ακόμα και αν μας δοθεί περιορισμένη έως καθόλου γραπτή αιτιολόγηση.

Για να αναλύσουμε τις απαντήσεις χρησιμοποιήσαμε ένα σύστημα κωδικοποίησης, το οποίο βασίστηκε στις κατηγορίες των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών την ενέργεια, όπως αυτές παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2.3 αλλά και στη διεθνή βιβλιογραφία. Οι βασικές κατηγορίες είναι επιστημονικά αποδεκτή αντίληψη, ενέργεια ως ουσία ή απόθεμα, ενέργεια ως δύναμη, η ενέργεια υπάρχει μόνο σε κινούμενα σώματα, η ενέργεια χάνεται ή καταναλώνεται, λανθασμένες αντιλήψεις για ενεργειακές μετατροπές και σύγχυση θερμότητας και θερμοκρασίας. Το σύστημα κωδικοποίησης παρουσιάζεται στον πίνακα 3.1, που φαίνεται παρακάτω.

| Κωδικός | Κατηγορία                                   | Περιγραφή                                                                                      | Σύνδεση με Κεφ. 2.3 |
|---------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| A       | Επιστημονικά αποδεκτή αντίληψη              | Απάντηση σύμφωνη με την επιστημονική ερμηνεία της μηχανικής ενέργειας και της αρχής διατήρησης | —                   |
| B       | Ενέργεια ως ουσία / απόθεμα                 | Η ενέργεια αντιμετωπίζεται ως υλικό που αποθηκεύεται, μεταφέρεται ή καταναλώνεται              | 2.3.1               |
| C       | Ενέργεια ως δύναμη                          | Ταύτιση ή σύγχυση της έννοιας της ενέργειας με τη δύναμη                                       | 2.3.2               |
| D       | Η ενέργεια υπάρχει μόνο σε κινούμενα σώματα | Απόδοση ενέργειας αποκλειστικά σε σώματα που βρίσκονται σε κίνηση                              | 2.3.3               |
| E       | Η ενέργεια χάνεται / καταστρέφεται          | Αντίληψη ότι η ενέργεια εξαφανίζεται ή παύει να υπάρχει                                        | 2.3.4               |
| G       | Λανθασμένες ενεργειακές μετατροπές          | Εσφαλμένη κατανόηση μετατροπών μεταξύ δυναμικής και κινητικής ενέργειας                        | 2.3.5               |
| H       | Σύγχυση θερμότητας και θερμοκρασίας         | Ταύτιση της θερμότητας με θερμοκρασία ή μη αναγνώριση της θερμότητας ως μορφής ενέργειας       | 2.3.6               |
| X       | Μη αξιολογήσιμη απάντηση                    | Κενή, ασαφής ή μη σχετική απάντηση                                                             | —                   |

Πίνακας 3.1: Σύστημα κωδικοποίησης απαντήσεων μαθητών βάσει των εναλλακτικών αντιλήψεων

Η αναλυτική αντιστοίχιση των επιμέρους επιλογών των ερωτήσεων του pre-test και του post-test στις παραπάνω κατηγορίες παρουσιάζεται στο παράρτημα Α.

Αντιστοιχήσαμε κάθε επιλογή των ερωτήσεων πολλαπλής επιλογής του pre-test και του post-test σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες, με βάση το περιεχόμενο της κάθε απάντησης.

Χρησιμοποιήσαμε τις ανοιχτές αιτιολογήσεις των μαθητών ενισχυτικά, όπου κρίθηκε απαραίτητο, για να μπορέσουμε να επιβεβαιώσουμε ή να διευκρινίσουμε την κατηγορία στην οποία εντάξαμε την κάθε απάντηση.

Εφαρμόσαμε το ίδιο σύστημα κωδικοποίησης τόσο στα δεδομένα του pre-test όσο και του post-test, ώστε να μπορέσουμε να συγκρίνουμε τις αντιλήψεις των μαθητών πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Έτσι, μπορέσαμε να διερευνήσουμε για πιθανές μεταβολές, όχι μόνο ως προς τη σωστή απάντηση, αλλά κυρίως ως προς την εννοιολογική μεταβολή που εμφανίζουν οι μαθητές. Αυτή η διαδικασία κατηγοριοποίησης των απαντήσεων ενισχύει την διαφάνεια της ανάλυσης και βοηθάει στο να διασφαλίσουμε την ερευνητική εγκυρότητα.

### **3.6.4 Διασφάλιση εγκυρότητας και αξιοπιστίας**

Για να μπορέσουμε να διασφαλίσουμε την εγκυρότητα και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, λάβαμε υπόψη πολλές παραμέτρους. Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση των ισοδύναμων pre – test και post – test, τα οποία περιλάμβαναν τις ίδιες εννοιολογικές κατηγορίες, για να είναι πιο εύκολη η συγκριτική ανάλυση πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση, την εφαρμογή της ίδιας χρονικής διάρκειας διδασκαλίας και στις δύο ομάδες και τη διδασκαλία από την ίδια εκπαιδευτικό.

Το προκαθορισμένο σύστημα κωδικοποίησης που χρησιμοποιήσαμε, το οποίο ήταν ίδιο και στις δύο φάσεις της έρευνας, εξαιτίας του γεγονότος ότι ήταν βασισμένο στη διεθνή βιβλιογραφία, μείωσε την πιθανότητα να ερμηνευτούν αυθαίρετα τα δεδομένα και επιπλέον βοήθησε στη διαφάνεια και τη συστηματικότητα της ανάλυσης,

Επιπρόσθετα, η χρήση διαφορετικών ερευνητικών εργαλείων για τη διασταύρωση των δεδομένων ενισχύει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων, εφόσον μας επιτρέπει να διασταυρώσουμε τα ευρήματα από διάφορες πηγές (Cohen et al., 2018). Τέλος, η σαφής περιγραφή της μεθοδολογίας και της διαδικασίας ανάλυσης που ακολουθήσαμε καθιστά την έρευνα επιστημονικά τεκμηριωμένη.

## **4. Παρουσίαση και Ανάλυση των Αποτελεσμάτων**

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα της εμπειρικής έρευνας που πραγματοποιήσαμε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η ανάλυση έχει βασιστεί στα δεδομένα που προέκυψαν από τα εννοιολογικά pre-test και post-test, καθώς και από το ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων των μαθητών. Σκοπός της είναι να διερευνήσουμε τη μαθησιακή εξέλιξη των μαθητών σχετικά με την μηχανική ενέργεια και την αρχή της διατήρησής της, αλλά και να εξετάσουμε αν η χρήση των προσομοιώσεων PhET στη διδασκαλία αυτών των εννοιών συμβάλλει σε αυτό.

Αρχικά, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα του pre-test, τα οποία μας δείχνουν τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών πριν τη διδακτική παρέμβαση. Η ανάλυση αυτή μας επιτρέπει να εντοπίσουμε τις βασικές εναλλακτικές αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές για την ενέργεια και τη διατήρησή της, όπως έχουν καταγραφεί αυτές και στη σχετική βιβλιογραφία (Driver et al., 1994, Duit & Treagust, 2003).

Στη συνέχεια, εξετάζουμε τα αποτελέσματα του post-test, για να μπορέσουμε να διερευνήσουμε τη μεταβολή των αντιλήψεων των μαθητών μετά την ολοκλήρωση της διδακτικής παρέμβασης. Γίνεται ανάλυση τόσο για την ομάδα ελέγχου, όσο και για την πειραματική ομάδα, γεγονός που μας επιτρέπει να διερευνήσουμε συγκριτικά τη μαθησιακή εξέλιξη και στις δύο διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις.

Επιπρόσθετα, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα του εννοιολογικού τεστ ανά ερώτηση, για να μπορέσουμε να εντοπίσουμε σε ποιες εννοιολογικές περιοχές παρατηρείται μεγαλύτερη βελτίωση, αλλά και ποιες εναλλακτικές αντιλήψεις είναι πιο ανθεκτικές. Τέλος, παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου στάσεων και αντιλήψεων των μαθητών, για να διερευνήσουμε την άποψή τους σχετικά με τη μαθησιακή διαδικασία, αλλά και τη διδακτική παρέμβαση που εφαρμόσαμε.

### **4.1 Αρχικές αντιλήψεις των μαθητών (αποτελέσματα pre-test)**

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τα αποτελέσματα του εννοιολογικού pre-test, το οποίο και δώσαμε στους μαθητές πριν από την έναρξη της

διδασκτικής παρέμβασης. Σκοπός μας είναι να αποτυπώσουμε τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών για τη μηχανική ενέργεια και τη διατήρησή της, αλλά και να συγκρίνουμε τις δύο ομάδες πριν τη διδασκαλία.

Τα αποτελέσματα του pre-test δείχνουν ότι και στις δύο ομάδες, οι μαθητές έχουν παρόμοιο επίπεδο αρχικής κατανόησης αυτών των εννοιών. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος της ομάδα ελέγχου διαμορφώθηκε στο 58,73%, ενώ ο αντίστοιχος μέσος όρος της πειραματικής ομάδας σε 50,07% (σε σύνολο 15 ερωτήσεων). Αυτή η πολύ μικρή διαφορά καταδεικνύει ότι οι μαθητές ξεκινούν από σχεδόν ισοδύναμο γνωστικό επίπεδο, άρα μας επιτρέπεται να αξιολογήσουμε συγκριτικά τα αποτελέσματα της εκάστοτε διδασκτικής παρέμβασης.

Σε ποσοστό επιτυχίας, παρατηρούμε ότι περίπου οι μισές απαντήσεις των μαθητών είναι σωστές, γεγονός που μας δείχνει ότι υπάρχει μερική κατανόηση των εννοιών που συνδέονται με τη μηχανική ενέργεια, συνεπώς υπάρχουν και σημαντικά περιθώρια βελτίωσης. Ενδεικτικά, θα παρουσιάσουμε παρακάτω στον πίνακα 4.1 τα ποσοστά (%) των ορθών απαντήσεων σε κάθε εννοιολογική κατηγορία ανά ερώτηση και για τις δύο ομάδες.

| Εννοιολογική κατηγορία         | Ερώτηση | Ομάδα Ελέγχου | Πειραματική ομάδα |
|--------------------------------|---------|---------------|-------------------|
| Η έννοια της ενέργειας         | Q1      | 64            | 63                |
|                                | Q2      | 59            | 68                |
|                                | Q3      | 59            | 74                |
| Κινητική και Δυναμική Ενέργεια | Q4      | 76            | 26                |
|                                | Q5      | 53            | 5                 |
|                                | Q6      | 24            | 26                |
| Ενεργειακές μετατροπές         | Q7      | 59            | 63                |
|                                | Q8      | 53            | 47                |
|                                | Q9      | 64            | 47                |

| Εννοιολογική κατηγορία                          | Ερώτηση | Ομάδα Ελέγχου | Πειραματική ομάδα |
|-------------------------------------------------|---------|---------------|-------------------|
| Διατήρηση Μηχανικής Ενέργειας<br>(χωρίς τριβές) | Q10     | 59            | 42                |
|                                                 | Q11     | 71            | 63                |
|                                                 | Q12     | 64            | 58                |
| Ρόλος της Τριβής                                | Q13     | 53            | 37                |
|                                                 | Q14     | 76            | 79                |
|                                                 | Q15     | 47            | 53                |

**Πίνακας 4.1: Ποσοστά ορθών απαντήσεων στις ερωτήσεις του pre-test**

Για να αναλύσουμε τα δεδομένα κάναμε ποιοτική κατηγοριοποίηση των αιτιολογήσεων των μαθητών, με βάση το περιεχόμενό τους, με σκοπό να αναδείξουμε τα κυρίαρχα νοητικά σχήματα που χρησιμοποιούν για να ερμηνεύσουν τα συγκεκριμένα φαινόμενα.

Η ανάλυση των αιτιολογήσεων που δόθηκαν από τους μαθητές στο pre-test ανάδειξε την ύπαρξη σημαντικών εναλλακτικών αντιλήψεων σχετικά με την έννοια της ενέργειας και τη διατήρησή της. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με τη διεθνή βιβλιογραφία, σύμφωνα με την οποία οι μαθητές αποδίδουν στην ενέργεια χαρακτηριστικά δύναμης, ουσίας ή μιας καταναλωμένης ποσότητας (Driver et al., 1994, Duit, 2014).

#### **4.1.1 Αρχικές αντιλήψεις για την έννοια της ενέργειας**

Στις ερωτήσεις 1 έως 3 που αφορούν τη βασική έννοια της ενέργειας, ένα σημαντικό ποσοστό μαθητών (περίπου 40%) δεν διαθέτει κατανόηση που θεωρείται επιστημονικά αποδεκτή, συνεπώς επιβεβαιώνεται η ύπαρξη εναλλακτικών νοητικών σχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, στην ερώτηση 3 που πραγματεύεται το τι συμβαίνει με την ενέργεια όταν ένα σώμα σταματά να κινείται, ένα σημαντικό μέρος των μαθητών υιοθετεί την αντίληψη ότι η ενέργεια «χάνεται» ή «εξαφανίζεται» όταν το σώμα παύει να κινείται. Ενδεικτικές απαντήσεις όπως «η ενέργεια χάνεται αφού σταματήσει» δείχνουν πως οι μαθητές δεν είναι σε θέση να αντιληφθούν τη διατήρηση της ενέργειας και τη μετατροπή της σε άλλες μορφές (Driver et al., 1994).

Παράλληλα, παρατηρούμε πως οι μαθητές συνδέουν έντονα την ενέργεια αποκλειστικά με την κίνηση. Απαντήσεις όπως «η ενέργεια γίνεται ακινησία» ή «η ενέργεια απελευθερώνεται όταν ξεκινάει να κινείται» δείχνουν πως οι μαθητές θεωρούν ότι η ύπαρξη της ενέργειας εξαρτάται από την παρουσία της κίνησης, αγνοώντας μορφές ενέργειας όπως η δυναμική. Εμφανίζονται επίσης απαντήσεις που βασίζονται στην καθημερινή εμπειρία, όπως η παρομοίωση της ενέργειας με τη μετατροπή της τροφής σε λίπος στο ανθρώπινο σώμα. Εδώ βλέπουμε την προσπάθειά τους να ερμηνεύσουν τη ενέργεια με βάση τα βιώματά τους, τα οποία όμως τους οδηγούν σε εξηγήσεις που δεν είναι επιστημονικά αποδεκτές.

Τέλος, βλέπουμε τη σύγχυση μεταξύ της ενέργειας και της δύναμης, καθώς κάποιοι μαθητές αναφέρονται σε δυνάμεις και όχι σε ενεργειακές μεταβολές (Duit, 2014).

#### **4.1.2 Αρχικές αντιλήψεις για την Κινητική και τη Δυναμική ενέργεια**

Ιδιαίτερα έντονη δυσκολία παρατηρείται στην κατανόηση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας. Οι μαθητές φαίνεται να μπερδεύουν έντονα αυτές τις δύο έννοιες, γεγονός που αποτυπώνεται στα πολύ μικρά ποσοστά σωστών απαντήσεων. Περίπου το 60% των μαθητών απάντησε λανθασμένα, ειδικά η πειραματική ομάδα σε ερώτηση που αφορά την κινητική ενέργεια (ποσοστό επιτυχίας μόλις 5%).

Πιο συγκεκριμένα στην ερώτηση 4 που αφορά την κινητική ενέργεια, βλέπουμε πως οι μαθητές αντιλαμβάνονται αποσπασματικά τους παράγοντες που την επηρεάζουν, δίνοντας μονομερή σημασία, είτε στη μάζα είτε σε άλλους παράγοντες, όπως η τριβή ακόμα και η θέση του σώματος. Ενδεικτικά, απαντήσεις όπως «η κινητική ενέργεια επηρεάζεται από την τριβή» ή «η θέση παίζει ρόλο» δείχνουν ότι υπάρχει σύγχυση μεταξύ των διαφορετικών μορφών ενέργειας.

Στην ερώτηση 6 που αφορά τη δυναμική ενέργεια, οι μαθητές δεν αναγνωρίζουν ότι εξαρτάται από τη θέση, αλλά τη συνδέουν με την ταχύτητα ή τη δύναμη. Οι αιτιολογήσεις που δόθηκαν περιλαμβάνουν αρκετές αναφορές στην ταχύτητα («όσο πιο γρήγορα κινείται») ή στη δύναμη («μας ενδιαφέρει το είδος της δύναμης»), ενώ βλέπουμε και κάποια σχήματα δράσης – αντίδρασης, τα οποία και μεταφέρονται με λάθος τρόπο στην ερμηνεία της ενέργειας (Duit, 2014).

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι μαθητές μεταφέρουν χαρακτηριστικά από τη μία μορφή ενέργειας στην άλλη, δίνοντας στην κινητική ενέργεια ιδιότητες της δυναμικής και αντίστροφα. Επιπρόσθετα, στην πειραματική ομάδα, η πλειονότητα των μαθητών επέλεξε τη δύναμη ως καθοριστικό παράγοντα της κινητικής ενέργειας, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σύγχυση ανάμεσα στην ενέργεια και στη δύναμη.

#### **4.1.3 Αρχικές αντιλήψεις για τις ενεργειακές μετατροπές**

Σημαντικές δυσκολίες παρατηρούμε και στην κατανόηση των ενεργειακών μετατροπών. Τα σχετικά χαμηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων δείχνουν ότι ένα σημαντικό μέρος των μαθητών δεν μπορεί να αντιληφθεί επαρκώς τη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας από τη μία μορφή στην άλλη.

Αρχικά, μεγάλο μέρος των μαθητών φαίνεται να αρνείται την ύπαρξη των ενεργειακών μετατροπών, θεωρώντας ότι «η ενέργεια δεν αλλάζει» ή ότι «έχει πάντα την ίδια μορφή». Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει αδυναμία στην κατανόηση της δυναμικής φύσης της ενέργειας και της μετάβασής της μεταξύ των διαφορετικών μορφών της. Παράλληλα, εμφανίζονται πολύ οι αντιλήψεις ότι η ενέργεια είτε «χάνεται» είτε «παράγεται» κατά τη διάρκεια της κίνησης, όπως προκύπτει από απαντήσεις του τύπου «η ενέργεια σιγά σιγά εξαφανίζεται» ή «παράγεται νέα ενέργεια». Αυτές οι αντιλήψεις έρχονται σε άμεση αντίθεση με την αρχή διατήρησης της ενέργειας και ενισχύουν την αντίληψη ότι η ενέργεια είναι ένα μέγεθος που δημιουργείται ή καταναλώνεται (Driver et al., 1994).

Παρατηρούμε και σε αυτή την κατηγορία τη σύγχυση μεταξύ ενέργειας και δύναμης, εφόσον κάποιοι μαθητές θεωρούν ότι η ενέργεια «μετατρέπεται σε δύναμη». Αυτή η σύγχυση εμφανίζεται διαχρονικά στις απαντήσεις των μαθητών και είναι ένα βασικό εμπόδιο στην κατανόηση των φυσικών εννοιών. Τέλος, βρήκαμε και κάποιες απαντήσεις που δείχνουν μερική αλλά ελλιπή κατανόηση των μετατροπών, αφού γίνεται σύνδεση της αλλαγής μορφής ενέργειας με συγκεκριμένες συνθήκες, όπως η παρουσία τριβής και η αλλαγή της κίνησης, χωρίς όμως οι μαθητές να αναγνωρίζουν τη γενικότητα του φαινομένου (Papadouris & Constantinou, 2011).

Συνολικά, παρατηρούμε πως οι μαθητές δεν έχουν οικοδομήσει την έννοια της ενεργειακής μετατροπής ως τον βασικό μηχανισμό που συνδέει μεταξύ τους τις διαφορετικές μορφές

ενέργειας. Αυτή η δυσκολία επηρεάζει και την κατανόηση της αρχής διατήρησης της ενέργειας.

#### **4.1.4 Αρχικές αντιλήψεις για την Αρχή Διατήρησης της μηχανικής ενέργειας**

Αντίστοιχες δυσκολίες παρατηρούμε και στην κατανόηση της διατήρησης της μηχανικής ενέργειας σε συνθήκες απουσίας τριβών. Τα σχετικά χαμηλά ποσοστά σωστών απαντήσεων μας δείχνουν ότι οι μαθητές δεν έχουν οικοδομήσει την έννοια της διατήρησης ως μια γενική αρχή.

Οι αιτιολογήσεις που δίνονται από τους μαθητές μας αποκαλύπτουν ότι οι μαθητές συχνά θεωρούν την μηχανική ενέργεια ως ένα μεταβαλλόμενο μέγεθος, το οποίο εξαρτάται από παράγοντες όπως ο χρόνος («όσο περνάει η ώρα μειώνεται»), η ταχύτητα («αν κινείται γρήγορα αυξάνεται») ή η παρουσία εμποδίων. Επιπλέον, κάποιοι μαθητές πιστεύουν ότι η μηχανική ενέργεια εξαρτάται από τη διαδρομή, συγχέοντάς την έτσι με την έννοια του έργου.

Παράλληλα, παρατηρούμε για ακόμη μια φορά έντονη σύνδεση της ενέργειας με τις δυνάμεις και τους νόμους της κίνησης. Οι μαθητές δίνουν αιτιολογήσεις με τη «δράση – αντίδραση» ή με τη συνεχή κίνηση των σωμάτων, όταν δεν ασκούνται δυνάμεις σε αυτά. Όλα αυτά μας δείχνουν πως οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας σαν μια θεμελιώδη αρχή, αλλά την ερμηνεύουν μέσα από διαισθητικά σχήματα που σχετίζονται με την κίνηση και τις δυνάμεις.

#### **4.1.5 Αρχικές αντιλήψεις για τον ρόλο της τριβής**

Σημαντικές εναλλακτικές αντιλήψεις αναδείχθηκαν και από τις ερωτήσεις που εξετάζουν τον ρόλο της τριβής στη μηχανική ενέργεια. Περίπου το 45% των μαθητών δείχνει να μην αντιλαμβάνεται πώς η τριβή επηρεάζει τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας.

Αρχικά, πολλοί από τους μαθητές θεωρούν ότι η μηχανική ενέργεια «χάνεται» ή «εξαφανίζεται» λόγω τριβής, όπως προκύπτει από απαντήσεις του τύπου «η μηχανική ενέργεια χάνεται εντελώς» ή «χάνεται σταδιακά εξαιτίας της τριβής». Αυτό μας δείχνει ότι δεν έχουν κατανοήσει τη μετατροπή της σε άλλες μορφές και συγκεκριμένα στη θερμική ενέργεια, που εδώ δείχνουν να αγνοούν την ύπαρξή της. Παράλληλα, αρκετοί μαθητές αναφέρουν ότι

«χρειαζόμαστε μεγαλύτερη ενέργεια σε πάτωμα με τριβή», ενισχύοντας την ιδέα της ενέργειας ως ένα καύσιμο που εξαντλείται, από την καθημερινή εμπειρία.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και απαντήσεις όπου η τριβή θεωρείται ότι έχει ενεργό ρόλο στην παραγωγή κίνησης. Απαντήσεις όπως «η τριβή δίνει κίνηση» ή «το σώμα συνεχίζει να κινείται λόγω τριβής» μας δείχνουν ότι υπάρχει σοβαρή παρανόηση του ρόλου των δυνάμεων. Η τριβή, επιπλέον, ερμηνεύεται και ως παράγοντας που «δημιουργεί» ή «καταστρέφει» ενέργεια, χωρίς όμως να γίνεται κάποια αναφορά στις ενεργειακές μετατροπές.

Όλα τα παραπάνω ευρήματα μας δείχνουν ότι οι μαθητές αντιμετωπίζουν δυσκολίες όχι μόνο με τις επιμέρους μορφές ενέργειας, αλλά και στη μετάβαση μεταξύ τους και στη διατήρησή της, γεγονός που δείχνει πως υπάρχει αποσπασματική και μη συστημική κατανόηση της έννοιας της ενέργειας και μας επιβεβαιώνει ότι οι μαθητές κάνουν χρήση εναλλακτικών νοητικών σχημάτων προκειμένου να ερμηνεύσουν τα φυσικά φαινόμενα.

## **4.2 Ποσοτική ανάλυση επιδόσεων**

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε την ποσοτική ανάλυση των επιδόσεων των μαθητών, για να μπορέσουμε να διερευνήσουμε την επίδραση της διδακτικής παρέμβασης στην κατανόηση των εννοιών της μηχανικής ενέργειας και της διατήρησής της.

Η ανάλυση βασίστηκε σε περιγραφικά στατιστικά στοιχεία και συγκεκριμένα σε μέσους όρους και στα ποσοστά ορθών απαντήσεων των μαθητών στο pre-test και στο post-test, τόσο για την ομάδα ελέγχου όσο και για την πειραματική ομάδα. Θεωρήσαμε πιο κατάλληλη τη χρήση περιγραφικών στατιστικών, γιατί έτσι θα αποτυπωθεί καλύτερα η συνολική εικόνα επίδοσης των μαθητών και η σύγκριση μεταξύ των δύο ομάδων (Cohen et al., 2018). Αρχικά, παρουσιάζονται τα συνολικά αποτελέσματα των δύο ομάδων και ακολουθεί αναλυτικότερη εξέταση των επιδόσεων ανά ερώτηση και ανά εννοιολογική κατηγορία.

#### 4.2.1 Συνολική επίδοση των ομάδων

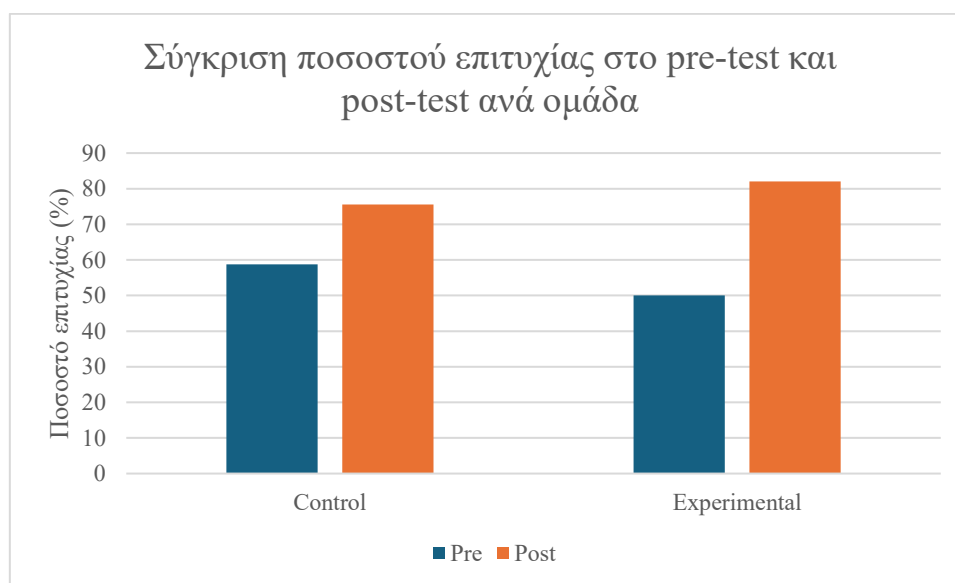
Ξεκινάμε με την παρουσίαση της συνολικής επίδοσης των μαθητών της ομάδας ελέγχου και της πειραματικής ομάδας στο pre-test και στο post-test, με στόχο να διερευνήσουμε την επίδραση που είχε η κάθε διδακτική παρέμβαση.

Στον πίνακα 4.2 που φαίνεται παρακάτω, θα παρουσιάσουμε τους μέσους όρους των δύο ομάδων πριν και μετά τη διδασκαλία, καθώς και τη μεταβολή της επίδοσής τους.

| Ομάδα             | Pre-test | Post-test | Μεταβολή |
|-------------------|----------|-----------|----------|
| Ομάδα Ελέγχου     | 58,73    | 75,53     | +16,8    |
| Πειραματική Ομάδα | 50,07    | 82        | +31,93   |

Πίνακας 4.2: Συνολική επίδοση μαθητών στα pre-test και post-test

Από τα δεδομένα του πίνακα διαπιστώνουμε ότι και οι δύο ομάδες παρουσίασαν βελτίωση στην επίδοσή τους μετά τη διδασκαλία. Πιο συγκεκριμένα, η ομάδα ελέγχου αύξησε τον μέσο όρο της κατά 16,8%, ενώ η πειραματική ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη αύξηση, κατά 31,93%. Ενώ και οι δύο ομάδες ξεκίνησαν με σχεδόν ισοδύναμο επίπεδο στο pre-test, η πειραματική ομάδα είχε υψηλότερη τελική επίδοση στο post-test σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου.



Διάγραμμα 4.1: μέσοι όροι ποσοστών επιτυχίας ανά ομάδα σε pre-test και post-test

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.1, και οι δύο ομάδες παρουσιάζουν αύξηση στο ποσοστό επιτυχίας από το pre-test στο post-test. Ωστόσο, η πειραματική ομάδα εμφανίζει μεγαλύτερη βελτίωση σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου, γεγονός που δείχνει την αυξημένη αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης.

Αυτά τα αποτελέσματα μας δείχνουν πως η διδακτική παρέμβαση συμβάλει στη βελτίωση της κατανόησης των εννοιών της μηχανικής ενέργειας και της διατήρησής της, με την πειραματική ομάδα να παρουσιάζει μεγαλύτερη πρόοδο.

#### 4.2.2 Ανάλυση επιδόσεων ανά ερώτηση

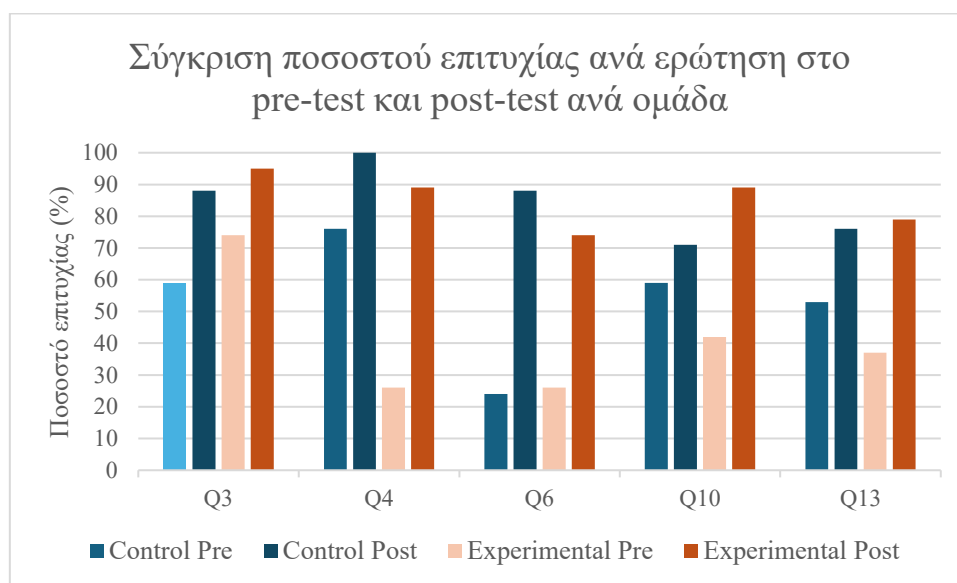
Σε αυτή την υποενότητα θα παρουσιάσουμε αναλυτικά την επίδοση των μαθητών ανά ερώτηση στο post-test, στοχεύοντας στο να αποτυπώσουμε πλήρως την επίδραση της διδακτικής παρέμβασης σε επιμέρους εννοιολογικά σημεία. Αναλύσαμε τα ποσοστά των σωστών απαντήσεων και διαπιστώσαμε ότι η πειραματική ομάδα παρουσίασε υψηλότερη επίδοση σε έναν σημαντικό αριθμό ερωτήσεων σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, γεγονός που μας δείχνει ότι υπήρξε βελτίωση στην κατανόηση των εξεταζόμενων εννοιών.

Στον πίνακα 4.3 που φαίνεται παρακάτω θα παρουσιάσουμε τα ποσοστά (%) των ορθών απαντήσεων ανά ερώτηση και στις δύο ομάδες από το post-test.

| Εννοιολογική κατηγορία         | Ερώτηση | Ομάδα Ελέγχου | Πειραματική ομάδα |
|--------------------------------|---------|---------------|-------------------|
| Η έννοια της ενέργειας         | Q1      | 100           | 100               |
|                                | Q2      | 64            | 89                |
|                                | Q3      | 88            | 95                |
| Κινητική και Δυναμική Ενέργεια | Q4      | 100           | 89                |
|                                | Q5      | 59            | 58                |
|                                | Q6      | 88            | 74                |
| Ενεργειακές μετατροπές         | Q7      | 64            | 84                |

| Εννοιολογική κατηγορία                          | Ερώτηση | Ομάδα Ελέγχου | Πειραματική ομάδα |
|-------------------------------------------------|---------|---------------|-------------------|
|                                                 | Q8      | 94            | 95                |
|                                                 | Q9      | 76            | 84                |
|                                                 | Q10     | 71            | 89                |
| Διατήρηση Μηχανικής Ενέργειας<br>(χωρίς τριβές) | Q11     | 35            | 57                |
|                                                 | Q12     | 18            | 63                |
|                                                 | Q13     | 76            | 79                |
| Ρόλος της Τριβής                                | Q14     | 94            | 95                |
|                                                 | Q15     | 71            | 79                |

Πίνακας 4.3: Ποσοστά ορθών απαντήσεων στις ερωτήσεις του post-test



Διάγραμμα 4.2: Σύγκριση ποσοστού επιτυχίας ανά ερώτηση στο pre-test και post-test ανά ομάδα

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.2, παρατηρούμε πως υπάρχει συνολική αύξηση του ποσοστού επιτυχίας και στις δύο ομάδες σε όλες τις εξεταζόμενες ερωτήσεις. Ωστόσο, η πειραματική

ομάδα παρουσιάζει μεγαλύτερη βελτίωση σε ερωτήσεις που σχετίζονται με πιο σύνθετες έννοιες, όπως η διατήρηση της ενέργειας (Q10) και οι ενεργειακές μετατροπές (Q6), γεγονός που υποδηλώνει βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση. Αντίθετα, σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. Q4), η ομάδα ελέγχου εμφανίζει επίσης σημαντική βελτίωση, στοιχείο που μας δείχνει ότι η μαθησιακή πρόοδος δεν είναι μονοδιάστατη, αλλά εξαρτάται από τη φύση της έννοιας.

Πιο συγκεκριμένα, στις ερωτήσεις που αφορούν τη βασική έννοια της ενέργειας (Q1-Q3), και οι δύο ομάδες παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά επιτυχίας, με την πειραματική ομάδα να εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλή επίδοση (έως και 95% στις Q2 και Q3). Αυτό μας δείχνει ότι υπάρχει ουσιαστική κατανόηση της έννοιας της ενέργειας ως ικανότητα παραγωγής έργου και της διατήρησής της.

Στις ερωτήσεις που σχετίζονται με την κινητική και δυναμική ενέργεια (Q4-Q6), παρατηρούμε σημαντική βελτίωση σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα, παρατηρώντας πως και οι δύο ομάδες παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά σε βασικές έννοιες, όπως ότι η κινητική ενέργεια εξαρτάται από τη μάζα και την ταχύτητα (Q4: 89 % στην πειραματική ομάδα και 100% στην ομάδα ελέγχου) και το ότι η δυναμική ενέργεια συνδέεται με τη θέση (Q6: 74% στην πειραματική ομάδα και 88% στην ομάδα ελέγχου). Ωστόσο, διαπιστώνουμε πως ακόμη υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες, συνεπώς αυτές οι έννοιες εξακολουθούν να παραμένουν απαιτητικές για τους μαθητές.

Στις ερωτήσεις που αφορούν τις ενεργειακές μετατροπές (Q7-Q9), η πειραματική ομάδα εξακολουθεί να εμφανίζει υψηλότερες επιδόσεις (για παράδειγμα στην Q7: 84% έναντι 64% και στην Q9: 84% έναντι 76%). Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι οι μαθητές που ανήκουν στην πειραματική ομάδα κατανόησαν καλύτερα τη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας από τη μία μορφή στην άλλη.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα στις ερωτήσεις που αφορούν τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας χωρίς τριβές (Q10-Q12). Η πειραματική ομάδα παρουσίασε σημαντικά υψηλότερα ποσοστά επιτυχίας (Q10: 89% έναντι 71%, Q12: 63% έναντι 18%). Υπάρχει δηλαδή ουσιαστική βελτίωση στην κατανόηση της αρχής διατήρησης. Αντιθέτως, η ομάδα ελέγχου εμφανίζει χαμηλότερη επίδοση, ειδικά στην ερώτηση Q12, που σημαίνει πως η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας παραμένει δυσνόητη χωρίς να υπάρχει στοχευμένη διδακτική παρέμβαση.

Τέλος, στις ερωτήσεις που αφορούν τον ρόλο της τριβής (Q13-Q15), έχουμε υψηλές επιδόσεις και στις δύο ομάδες, με την πειραματική ομάδα να έχει λίγο πιο υψηλά ποσοστά σε σχέση με την ομάδα ελέγχου (για παράδειγμα Q15: 79% έναντι 71%). Αυτό μας δείχνει πως οι μαθητές έχουν κατανοήσει σε ικανοποιητικό βαθμό ότι η ενέργεια δεν διατηρείται παρουσία τριβών, αλλά μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας.

Στο σύνολο, βλέπουμε πως η πειραματική ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση σε κρίσιμες εννοιολογικές περιοχές, ιδιαίτερα στις ενεργειακές μετατροπές και στη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας, κάτι που ενισχύει την υπόθεσή μας πως η διδακτική παρέμβαση συμβάλλει ουσιαστικά στην καλύτερη κατανόηση από τους μαθητές.

### 4.3 Ανάλυση εναλλακτικών αντιλήψεων

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε την ποιοτική ανάλυση των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών, όπως αυτές προκύπτουν από τα pre-test και post-test. Αντί να καταγράψουμε απλώς τις σωστές και λανθασμένες απαντήσεις των μαθητών, εμβαθύνουμε περισσότερο βασίζοντας την ανάλυση στην αντιστοίχιση κάθε απάντησης πολλαπλής με συγκεκριμένες εναλλακτικές αντιλήψεις, οι οποίες βασίστηκαν στην κατηγοριοποίηση που έγινε στο κεφάλαιο 2.3. Στόχος μας είναι να διερευνήσουμε την εξέλιξη των νοητικών σχημάτων των μαθητών, όπως και το βαθμό που η διδακτική παρέμβαση οδήγησε στη μεταβολή ή στον περιορισμό αυτών των εναλλακτικών αντιλήψεων.

Στον πίνακα 4.4 που βλέπουμε παρακάτω, παραθέτουμε την αναλυτική παρουσίαση των ποσοστών εμφάνισης των εναλλακτικών αντιλήψεων.

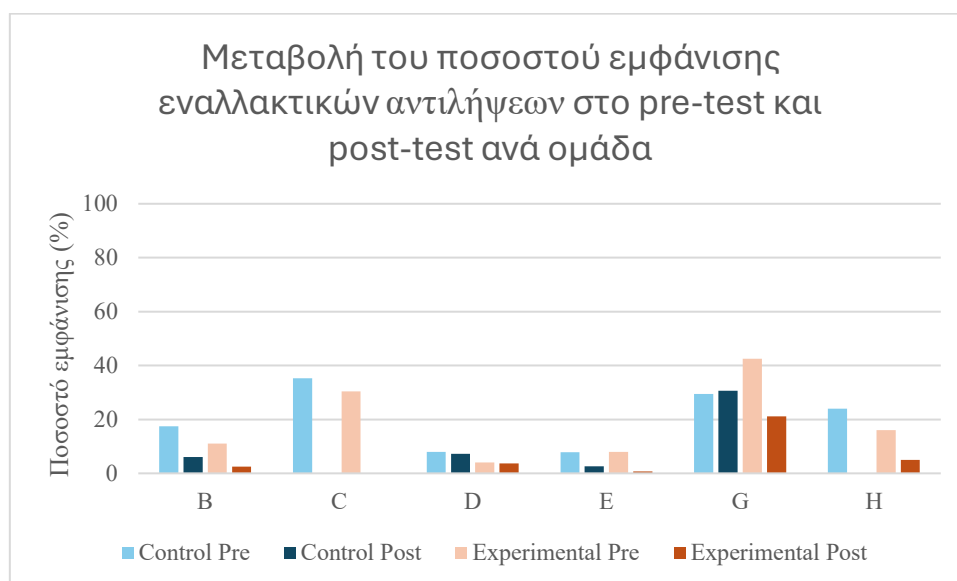
| Αντίληψη | Control Pre (%) | Control Post (%) | Experimental Pre (%) | Experimental Post (%) | Μεταβολή Control | Μεταβολή Experimental |
|----------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| B        | 17,5            | 6                | 11                   | 2,5                   | -11,5            | -8,5                  |
| C        | 35,3            | 0                | 30,4                 | 0                     | -35,3            | -30,4                 |

| Αντίληψη | Control Pre (%) | Control Post (%) | Experimental Pre (%) | Experimental Post (%) | Μεταβολή Control | Μεταβολή Experimental |
|----------|-----------------|------------------|----------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| D        | 8               | 7,3              | 4                    | 3,7                   | -0,7             | -0,3                  |
| E        | 7,8             | 7,6              | 8                    | 0,7                   | -0,2             | -7,3                  |
| G        | 29,5            | 30,6             | 42,5                 | 21,1                  | +1,1             | -21,4                 |
| H        | 24              | 0                | 16                   | 4                     | -24              | -12                   |

Πίνακας 4.4: Ποσοστό εμφάνισης εναλλακτικών αντιλήψεων στο pre-test και post-test ανά ομάδα

Από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει ότι παρατηρούνται διαφοροποιήσεις ως προς τη μεταβολή των εναλλακτικών αντιλήψεων ανάμεσα στις δύο ομάδες, τόσο ως προς την ένταση όσο και ως προς τη φύση των αλλαγών. Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε ότι ορισμένες αντιλήψεις μειώνονται σημαντικά και στις δύο ομάδες, ενώ άλλες εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα ή διαφοροποιημένη πορεία στη μεταβολή τους.

Για να οπτικοποιήσουμε καλύτερα τα αποτελέσματα αλλά και να απεικονίσουμε συγκριτικά τις μεταβολές, παρουσιάζουμε το παρακάτω διάγραμμα που δείχνει την εξέλιξη των ποσοστών εμφάνισης των εναλλακτικών αντιλήψεων στο pre-test και το post-test ανά ομάδα.



Διάγραμμα 4.3: Μεταβολή του ποσοστού εμφάνισης εναλλακτικών αντιλήψεων στο pre-test και post-test ανά ομάδα

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4.3, παρατηρούμε ότι υπάρχει συνολική μείωση των εναλλακτικών αντιλήψεων και στις δύο ομάδες, με διαφοροποιήσεις ως προς την ένταση της μεταβολής. Συγκεκριμένα, η αντίληψη της «ενέργειας ως δύναμη» (C) εξαλείφεται πλήρως και στις δύο ομάδες, άρα πρόκειται για μια λιγότερο ανθεκτική παρανόηση.

Αντίθετα, σε πιο σύνθετες έννοιες, όπως οι ενεργειακές μετατροπές (G), η πειραματική ομάδα παρουσιάζει σημαντική μείωση, σε αντίθεση με την ομάδα ελέγχου στην οποία η συγκεκριμένη αντίληψη παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Από αυτό το εύρημα αντιλαμβανόμαστε πως η διδακτική προσέγγιση επιδρά σημαντικά στην κατανόηση πιο απαιτητικών εννοιών.

Ωστόσο, η βελτίωση σε όλες τις αντιλήψεις δεν είναι ομοιογενής. Για παράδειγμα, στη σύγχυση ενέργειας – θερμότητας (H), η μείωση είναι μεγαλύτερη στην ομάδα ελέγχου. Αυτό μας δείχνει ότι ανάλογα με το είδος της εννοιολογικής δυσκολίας, τα αποτελέσματα της κάθε διδακτικής παρέμβασης είναι διαφορετικά.

Στο σύνολό τους, επιβεβαιώνεται πως κάποιες εναλλακτικές αντιλήψεις είναι πιο ανθεκτικές και δεν εξαλείφονται στον ίδιο βαθμό από όλες τις διδακτικές προσεγγίσεις.

#### **4.3.1 Εναλλακτικές αντιλήψεις για την έννοια της ενέργειας ως ουσία ή απόθεμα**

Η αντίληψη ότι η ενέργεια είναι μια «ουσία» που αποθηκεύεται, μεταφέρεται ή καταναλώνεται είναι από τις πιο διαδεδομένες εναλλακτικές αντιλήψεις που υπάρχουν στην διεθνή βιβλιογραφία. Στην συγκεκριμένη έρευνα, βλέπουμε την συγκεκριμένη αντίληψη να εμφανίζεται στο pre-test σε ποσοστό 17,5% στην ομάδα ελέγχου και 11% στην πειραματική ομάδα, κάτι που μας δείχνει ότι ένα σημαντικό μέρος των μαθητών πιστεύει πως η ενέργεια είναι ένα «υλικό» μέγεθος, γεγονός που προκύπτει κυρίως από την καθημερινή γλώσσα.

Στο post – test παρατηρούμε πως υπάρχει μια σημαντική μείωση των ποσοστών αυτών (6% και 2,5% αντίστοιχα), κάτι που μας δείχνει ότι οι μαθητές ξεκινούν να μετακινούνται προς μια πιο επιστημονικά αποδεκτή αντίληψη. Βλέπουμε ωστόσο, ότι η συγκεκριμένη αντίληψη επιμένει σε ένα μικρό ποσοστό μαθητών, συνεπώς η εννοιολογική μεταβολή δεν είναι πλήρης.

Η μείωση και στις δύο ομάδες μας δείχνει ότι η συγκεκριμένη αντίληψη τροποποιείται σχετικά εύκολα. Ωστόσο, παρατηρείται μεγαλύτερη τελική στην ομάδα ελέγχου μας δείχνει ότι η

διδασκτική παρέμβαση βοήθησε περισσότερο στο να μεταβούν οι μαθητές προς μια πιο επιστημονική κατανόηση της ενέργειας ως αφηρημένο φυσικό μέγεθος.

#### **4.3.2 Η ενέργεια ως δύναμη**

Μια από τις πιο θεμελιώδεις εναλλακτικές αντιλήψεις είναι η σύγχυση μεταξύ ενέργειας και δύναμης, αφού οι μαθητές δυσκολεύονται να διακρίνουν τα διάφορα φυσικά μεγέθη. Σε αυτή την έρευνα, η συγκεκριμένη αντίληψη εμφανίζεται με ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά στο pre-test (35,3% στην ομάδα ελέγχου και 30,4% στην πειραματική ομάδα).

Στο post-test παρατηρούμε ότι αυτή η αντίληψη εξαλείφεται πλήρως και στις δύο ομάδες. Αυτό αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εύρημα, αφού μας υποδηλώνει πως οι μαθητές κατάφεραν να αναδομήσουν ένα πολύ βασικό στοιχείο του εννοιολογικού τους πλαισίου. Είναι πολύ πιθανό αυτή η μεταβολή να συνδέεται με τη ρητή διάκριση μεταξύ δύναμης και ενέργειας που υπήρχε κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας.

Βλέποντας την πλήρη εξάλειψη και στις δύο ομάδες, παρατηρούμε ότι η συγκεκριμένη έννοια μπορεί να αντιμετωπιστεί επαρκώς τόσο σε παραδοσιακό, όσο και σε διαδραστικό διδακτικό πλαίσιο. Συνεπώς, κάτω από τις κατάλληλες διδακτικές συνθήκες, ακόμα και ισχυρές εναλλακτικές αντιλήψεις, δεν είναι απαραίτητα ανθεκτικές, αλλά μπορούν να μετασχηματιστούν όταν αμφισβητηθούν.

#### **4.3.3 Η ενέργεια ως αποκλειστικό χαρακτηριστικό της κίνησης**

Η αντίληψη ότι η ενέργεια υπάρχει μόνο όταν ένα σώμα κινείται συνδέεται άμεσα με τη μονοδιάστατη κατανόηση της κινητικής ενέργειας. Αν και σε αυτή την έρευνα εμφανίζεται σε σχετικά χαμηλά ποσοστά στο pre-test (8% στην ομάδα ελέγχου και 4% στην πειραματική ομάδα), παρατηρείται και περιορισμένη μεταβολή στο post-test (της τάξης του 0,7% και 0,3% αντίστοιχα), η οποία και υποδηλώνει ότι η συγκεκριμένη δυσκολία παραμένει ως ένα βαθμό.

Η αντίληψη αυτή επιμένει γιατί οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν την δυναμική ενέργεια, εφόσον δεν συνδέεται άμεσα με την παρατηρήσιμη κίνηση. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι μαθητές δίνουν μεγαλύτερη προτεραιότητα σε φαινόμενα που αντιλαμβάνονται άμεσα, με αποτέλεσμα να υποτιμούν τις μορφές ενέργειας που δεν είναι ορατές (Driver et al., 1994). Η κίνηση είναι ένα εμφανές χαρακτηριστικό, αντίθετα με τη

δυναμική ενέργεια, που δεν είναι άμεσα αντιληπτή. Αυτό έχει και ως αποτέλεσμα οι μαθητές να έχουν την τάση να συνδέουν την ύπαρξη ενέργειας αποκλειστικά με την κίνηση.

#### **4.3.4 Η ενέργεια χάνεται ή καταστρέφεται**

Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια στην κατανόηση της αρχής διατήρησης της ενέργειας είναι η αντίληψη ότι η ενέργεια «χάνεται» ή «καταστρέφεται». Σε αυτή την έρευνα, η αντίληψη αυτή εμφανίζεται σε σχετικά μικρό ποσοστό και στις δύο ομάδες (7,8% στην ομάδα ελέγχου και 8% στην πειραματική ομάδα). Στο post-test, παρατηρούμε σημαντική μείωση της αντίληψης αυτής και στις δύο ομάδες (της τάξης του 5,2% και 7,3% αντίστοιχα), με την πειραματική ομάδα να δείχνει τη μεγαλύτερη μείωση.

Η μεγαλύτερη μείωση που παρατηρείται στην πειραματική ομάδα μας δείχνει ότι οι μαθητές που παρακολούθησαν την διδακτική παρέμβαση με PhET ξεκινούν να αναγνωρίζουν την γενική αρχή της διατήρησης της ενέργειας, χωρίς όμως να είμαστε βέβαιοι ότι έχουν κατανοήσει πλήρως τη μετατροπή της σε άλλες μορφές, όπως η θερμική ενέργεια. Αν δεν γνωρίζουν αυτές τις μετατροπές, είναι πιθανό να ερμηνεύσουν την μείωση της μηχανικής ενέργειας ως «απώλεια». Όμως, η δυναμική απεικόνιση των ενεργειακών μεταβολών βοηθά ουσιαστικά ώστε να κατανοήσουν την διατήρηση της ενέργειας.

#### **4.3.5 Δυσκολίες στην κατανόηση των ενεργειακών μετατροπών**

Μια από τις πιο απαιτητικές εννοιολογικές περιοχές είναι η κατανόηση των ενεργειακών μετατροπών. Εδώ παρατηρούμε μια σαφή διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο ομάδες: στην ομάδα ελέγχου δεν παρατηρούμε καμία ουσιαστική βελτίωση, ενώ στην πειραματική ομάδα υπάρχει σημαντική μείωση της σχετικής εναλλακτικής αντίληψης (μείωση κατά 21,4% στην πειραματική ομάδα, έναντι αύξησης 1,1% στην ομάδα ελέγχου).

Με αυτό το εύρημα αντιλαμβανόμαστε ότι οι ενεργειακές μετατροπές είναι μια αρκετά απαιτητική έννοια σε γνωστικό επίπεδο, που δεν οικοδομείται εύκολα μέσα από μια απλή λεκτική περιγραφή. Η σημαντική βελτίωση αυτής της αντίληψης που παρατηρείται στην πειραματική ομάδα μας δείχνει πως τέτοιου είδους αντιλήψεις οικοδομούνται πιο εύκολα μέσα από διδακτικές προσεγγίσεις που αναπαριστούν δυναμικά τις ενεργειακές μετατροπές.

#### **4.3.6 Σύγχυση ενέργειας και θερμοκρασίας**

Η σύγχυση μεταξύ ενέργειας (με τη μορφή θερμότητας) και θερμοκρασίας είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δυσκολίας που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στο να διακρίνουν διάφορες μορφές ενέργειας. Σε αυτή την έρευνα, η αντίληψη αυτή εμφανίζεται σε σημαντικό ποσοστό στο pre-test (24% στην ομάδα ελέγχου και 16% στην πειραματική ομάδα), ενώ στο post-test παρατηρείται σημαντική μείωση (0% και 5% αντίστοιχα).

Βλέπουμε πως η συγκεκριμένη αντίληψη έχει εξαλειφθεί πλήρως στην ομάδα ελέγχου και στην πειραματική ομάδα έχει μειωθεί σημαντικά. Αυτό συνέβη πιθανόν γιατί κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας γίνεται σαφής εννοιολογική διάκριση μεταξύ των δύο εννοιών. Ωστόσο, το γεγονός ότι εμφανίζεται μια τέτοια αντίληψη, μας δείχνει τη δυσκολία των μαθητών να διακρίνουν έννοιες που είναι συναφείς μεταξύ τους, αλλά αντιστοιχούν σε διαφορετικά φυσικά μεγέθη.

#### **4.3.7 Συγκριτική αποτίμηση και ερμηνεία της εννοιολογικής μεταβολής**

Η συγκριτική ανάλυση των δύο ομάδων μας δείχνει ότι δεν υπάρχει ομοιόμορφη εννοιολογική αλλαγή, αλλά εξαρτάται άμεσα από τη φύση της εναλλακτικής αντίληψης. Αντιλήψεις που έχουν σχέση με εννοιολογικές συγχύσεις, όπως ενέργεια-δύναμη ή ενέργεια – θερμοκρασία, μεταβάλλονται πιο εύκολα σε σχέση με εκείνες τις αντιλήψεις που αφορούν δυναμικές διαδικασίες, όπως οι ενεργειακές μετατροπές, οι οποίες παρουσιάζονται και ως πιο ανθεκτικές.

Αν και η πειραματική ομάδα παρουσιάζει μεγαλύτερη βελτίωση στη συνολική της εικόνα, ιδιαίτερα σε εννοιολογικές περιοχές που θεωρούνται σύνθετες, όπως οι ενεργειακές μετατροπές και η διατήρηση της ενέργειας, παρατηρούμε ότι υπάρχουν περιπτώσεις που η ομάδα ελέγχου εμφανίζει μεγαλύτερη μείωση συγκεκριμένων αντιλήψεων. Το εύρημα αυτό μας δείχνει ότι η αποτελεσματικότητα μιας διδακτικής παρέμβασης δεν είναι απόλυτη, αλλά σχετίζεται άμεσα με το είδος της γνώσης που καλείται να οικοδομήσει. Πιο συγκεκριμένα, βλέπουμε πως οι παραδοσιακές διδακτικές προσεγγίσεις είναι πιο αποτελεσματικές όταν έχουμε να κάνουμε με επιφανειακές ή λιγότερο σύνθετες αντιλήψεις, ενώ οι διαδραστικές προσεγγίσεις είναι περισσότερο αποτελεσματικές όταν τις χρησιμοποιούμε για την κατανόηση σύνθετων και αφηρημένων εννοιών.

Επιπλέον, η σύγχυση μεταξύ των εννοιών έργου και ενέργειας φαίνεται έμμεσα από τις αιτιολογήσεις των μαθητών, ιδιαίτερα σε ερωτήσεις που αφορούν στη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας. Αιτιολογήσεις της μορφής «η ενέργεια εξαρτάται από τη διαδρομή», μας δείχνουν ότι οι μαθητές δίνουν χαρακτηριστικά έργου στη μηχανική ενέργεια. Αυτή η μη διάκριση των δύο εννοιών είναι ένα σημαντικό εννοιολογικό εμπόδιο γιατί οι μαθητές δεν μπορούν να ξεχωρίσουν ότι η ενέργεια είναι κατάσταση ενός συστήματος ενώ το έργο είναι διαδικασία μεταφοράς ενέργειας. Η διάκριση αυτών των δύο εννοιών είναι κρίσιμη για την κατανόηση της αρχής διατήρησης της ενέργειας (Driver et al., 1994).

Συνολικά, τα αποτελέσματα μας επιβεβαιώνουν πως η εννοιολογική αλλαγή είναι μια σταδιακή και διαφοροποιημένη διαδικασία, που δεν πραγματοποιείται με τον ίδιο τρόπο για όλες τις έννοιες (Posner et al., 1982, Duit, 2014).

#### **4.4 Ανάλυση Ερωτηματολογίου Likert**

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου τύπου Likert, που δόθηκε στους μαθητές αφού ολοκληρώθηκε η διδακτική παρέμβαση, στοχεύοντας στο να διερευνήσουμε τις στάσεις τους, τις αντιλήψεις τους και την αντιλαμβανόμενη κατανόησή τους σε σχέση με τη μαθησιακή διαδικασία που παρακολούθησαν. Οι κλίμακες Likert χρησιμοποιούνται ευρέως στην εκπαιδευτική έρευνα, γιατί μας επιτρέπουν να ποσοτικοποιήσουμε διάφορες υποκειμενικές παραμέτρους, όπως οι στάσεις και οι πεποιθήσεις των μαθητών (Likert, 1932, Cohen et al., 2018).

Βασίσαμε την ανάλυση στον υπολογισμό των μέσων όρων (Μ.Ο.) των απαντήσεων, τόσο ανά ερώτηση όσο και ανά θεματική κατηγορία. Ερμηνεύσαμε τις τιμές με βάση την πενταβάθμια κλίμακα (1 = διαφωνώ απόλυτα έως 5 = συμφωνώ απόλυτα), με τις τιμές που είναι μεγαλύτερες του 4 να αντιστοιχούν στη θετική στάση των μαθητών.

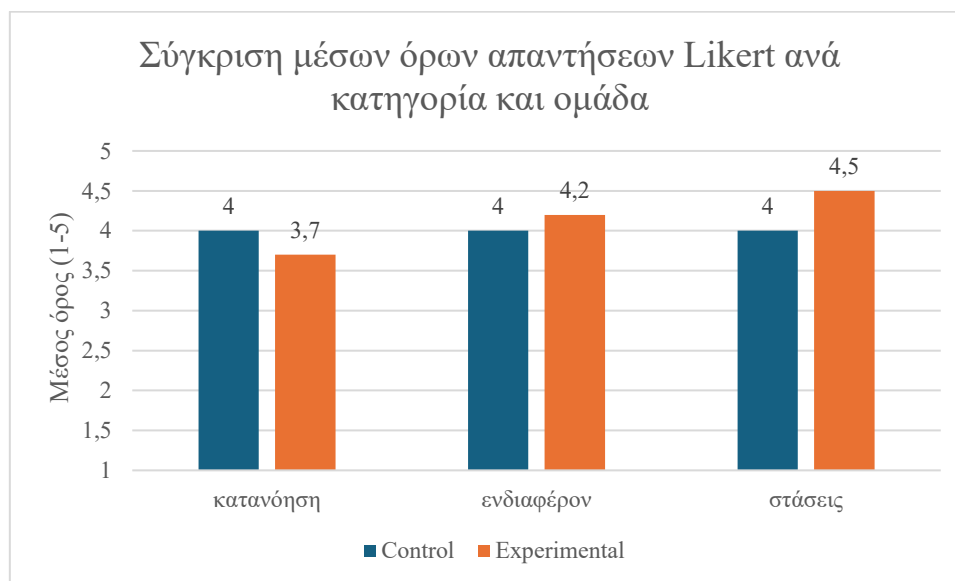
##### **4.4.1 Συνολική αποτύπωση των αποτελεσμάτων**

Στον πίνακα 4.5 που βλέπουμε παρακάτω, παρουσιάζουμε τους μέσους όρους των απαντήσεων ανά κατηγορία και για τις δύο ομάδες.

| Κατηγορία            | Ομάδα Ελέγχου | Πειραματική Ομάδα |
|----------------------|---------------|-------------------|
| Κατανόηση (Μέρος Α)  | 4,0           | 3,7               |
| Ενδιαφέρον (Μέρος Β) | 4,0           | 4,2               |
| Στάσεις (Μέρος Γ)    | 4,0           | 4,5               |
| PhET (Μέρος Δ)       | —             | 4,5               |

Πίνακας 4.5: Μέσοι όροι απαντήσεων στο ερωτηματολόγιο Likert

Για να διευκολύνουμε τη σύγκριση ανάμεσα στις δύο ομάδες ως προς τις βασικές κατηγορίες του ερωτηματολογίου, τα δεδομένα του Πίνακα 4.5 απεικονίζονται και γραφικά στο παρακάτω διάγραμμα 4.4.



Διάγραμμα 4.4: Σύγκριση μέσων όρων απαντήσεων Likert ανά κατηγορία και ομάδα

Από τα δεδομένα προκύπτει ότι και οι δύο ομάδες εμφανίζουν παρόμοια επίπεδα στην κατηγορία της κατανόησης, με την ομάδα ελέγχου να εμφανίζει ελαφρώς υψηλότερο μέσο όρο. Αντίθετα, στην κατηγορία του ενδιαφέροντος και ιδιαίτερα στις στάσεις, η πειραματική ομάδα εμφανίζει υψηλότερες τιμές, άρα και πιο θετική αντίληψη απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία.

#### **4.4.2 Αντιλαμβανόμενη κατανόηση**

Στην κατηγορία της αντιλαμβανόμενης κατανόησης, ο μέσος όρος της ομάδα ελέγχου είναι ελαφρώς υψηλότερος (M.O. = 4,0) σε σχέση με την πειραματική ομάδα (M.O. = 3,7). Αυτό το εύρημα μας δείχνει ότι οι μαθητές που συμμετείχαν στην ομάδα ελέγχου πιστεύουν ότι κατανόησαν σε ικανοποιητικό βαθμό τις έννοιες που διδάχθηκαν.

Αυτή η διαφορά στους μέσους όρους των δύο ομάδων είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα, ειδικά αν συγκριθεί με τα αποτελέσματα του post-test, όπου η πειραματική ομάδα έδειξε μεγαλύτερη βελτίωση στην εννοιολογική κατανόηση. Παρατηρούμε ότι εδώ υπάρχει απόκλιση μεταξύ υποκειμενικής και αντικειμενικής κατανόησης, γεγονός που θεωρείται κρίσιμο στοιχείο της μαθησιακής διαδικασίας με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία (Pintrich et al., 1993). Οι μαθητές συχνά πιστεύουν ότι έχουν κατανοήσει κάποια έννοια γιατί νιώθουν ότι είναι απλή ή ότι έχουν εξοικειωθεί με αυτή, γεγονός που δεν συνάδει απαραίτητα με την επιστημονικά ορθή κατανόηση.

#### **4.4.3 Ενδιαφέρον και μαθησιακή εμπλοκή**

Σε αυτή την κατηγορία, η πειραματική ομάδα παρουσιάζει υψηλότερο μέσο όρο (M.O. = 4,2) σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου (M.O. = 4,0). Αυτό το αποτέλεσμα μας δείχνει ότι η χρήση της προσομοίωσης βοήθησε στην αύξηση της μαθησιακής εμπλοκής των μαθητών.

Η εμπλοκή των μαθητών είναι ένας βασικός παράγοντας στη μάθηση, αφού έχει άμεση σύνδεση με την ενεργή επεξεργασία της πληροφορίας και την οικοδόμηση της γνώσης (Fredricks et al., 2004). Οι διαδραστικές προσεγγίσεις, όπως οι προσομοιώσεις PhET, κάνουν τους μαθητές να συμμετέχουν στην μαθησιακή διαδικασία πιο ενεργά και δημιουργούν ένα πιο ελκυστικό μαθησιακό περιβάλλον.

#### **4.4.4 Στάσεις απέναντι στη μάθηση της Φυσικής**

Στην κατηγορία των στάσεων παρατηρούμε σημαντική διαφοροποίηση, με την πειραματική ομάδα να εμφανίζει υψηλότερο μέσο όρο (M.O. = 4,5) σε σχέση με την ομάδα ελέγχου (M.O. = 4,0). Αυτό μας δείχνει ότι η διδακτική παρέμβαση με τη χρήση προσομοιώσεων PhET βοήθησε στη διαμόρφωση μιας πιο θετικής στάσης απέναντι στο μάθημα της Φυσικής.

Η μεγάλη σημασία των στάσεων στη μάθηση έχει μελετηθεί εκτενώς, καθώς αυτές επηρεάζουν τόσο το ενδιαφέρον των μαθητών, όσο και τη μετέπειτα μακροχρόνια ενασχόλησή τους με το αντικείμενο (Osborne et al., 2003). Η θετική στάση που αναπτύσσουν οι μαθητές απέναντι στο μάθημα της φυσικής μπορεί να λειτουργήσει καταλυτικά για να μπορούν να κατανοήσουν βαθύτερα αλλά και να αναπτύξουν επιστημονική σκέψη.

#### **4.4.5 Αξιολόγηση της χρήσης της προσομοίωσης (PhET)**

Η συγκεκριμένη κατηγορία αφορά αποκλειστικά την πειραματική ομάδα και παρουσιάζει έναν ιδιαίτερα υψηλό μέσο όρο ( $M.O. = 4,5$ ), κάτι που μας δείχνει πως οι μαθητές αξιολόγησαν πολύ θετικά τη χρήση της προσομοίωσης.

Οι μαθητές δείχνουν να αντιλαμβάνονται ότι η προσομοίωση τους βοήθησε ουσιαστικά στο να κατανοήσουν έννοιες και ότι βελτίωσε τη μαθησιακή τους εμπειρία. Αυτό το εύρημα επιβεβαιώνει τις έρευνες που δείχνουν πόσο βοηθούν οι διαδραστικές προσομοιώσεις στο να επιτευχθεί η εννοιολογική κατανόηση και η ενεργός μάθηση (Wieman et al., 2008).

Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό να επισημάνουμε πως το γεγονός ότι οι μαθητές αξιολόγησαν θετικά την προσομοίωση είναι καθαρά υποκειμενικό και δεν τεκμηριώνει από μόνο του το πόσο αποτελεσματική ήταν η μαθησιακή διαδικασία. Λειτουργεί όμως συμπληρωματικά με τα ποσοτικά δεδομένα που παρουσιάσαμε, ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

#### **4.4.6 Συνολική αποτίμηση**

Στο σύνολό τους, τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου Likert δείχνουν ότι η χρήση μιας προσομοίωσης, όπως η προσομοίωση PhET, αυξάνει το ενδιαφέρον των μαθητών, δημιουργεί μια θετικότερη στάση απέναντι στο μάθημα της Φυσικής και έχει υψηλότερη αποδοχή σε σχέση με μια παραδοσιακή διδασκαλία. Ταυτόχρονα, παρατηρούμε πως είναι πολύ σημαντικό να διακρίνουμε την αντιλαμβανόμενη από την πραγματική κατανόηση, γι' αυτό το λόγο και είναι απαραίτητο να χρησιμοποιούνται μικτές μέθοδοι για να υπάρχει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα ως προς το κατά πόσο οι μαθητές έχουν όντως κατανοήσει τις έννοιες της ενέργειας και της διατήρησής της.

Το γεγονός ότι τα δεδομένα από το ερωτηματολόγιο, το post-test και την ανάλυση των εναλλακτικών αντιλήψεων συγκλίνουν, επιβεβαιώνει την ισχυρή εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Αυτό μας δείχνει ότι η διδακτική παρέμβαση επηρέασε τόσο τη γνωστική όσο και τη συναισθηματική διάσταση της μάθησης.

## 4.5 Σύνοψη Βασικών Ευρημάτων

Σε αυτή την ενότητα θα συνοψίσουμε τα βασικά ευρήματα της έρευνας, όπως αυτά προκύπτουν από την ποσοτική ανάλυση των επιδόσεων των μαθητών, την ανάλυση των εναλλακτικών αντιλήψεων και τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου Likert. Από τον συνδυασμό δεδομένων διαφορετικού τύπου θα μπορέσουμε να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση της μαθησιακής διαδικασίας, ενώ παράλληλα ενισχύεται και η εγκυρότητα των συμπερασμάτων (Cohen et al., 2018).

Αρχικά, τα αποτελέσματα του pre-test μας δείχνουν πως και οι δύο ομάδες ξεκινούν με παρόμοιο επίπεδο εννοιολογικής κατανόησης, το οποίο και μας επιτρέπει να αξιολογήσουμε συγκριτικά τις δύο διδακτικές παρεμβάσεις. Οι χαμηλές επιδόσεις που είχαν οι μαθητές σε συγκεκριμένες ερωτήσεις μας δείχνουν ότι υπάρχουν σημαντικές εναλλακτικές αντιλήψεις σχετικά με την έννοια της ενέργειας, τις ενεργειακές μετατροπές και τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας. Όλα αυτά τα ευρήματα συμφωνούν με τα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας, τα οποία και λένε πως οι μαθητές αναπτύσσουν συχνά αντιλήψεις για την ενέργεια με βάση τη διαισθητική τους εμπειρία, οι οποίες και αποκλίνουν από την επιστημονική γνώση (Driver et al., 1994, Duit, 2014).

Στη συνέχεια, από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των post-test προκύπτει ότι και οι δύο ομάδες παρουσιάζουν βελτίωση στην επίδοσή τους, γεγονός που μας δείχνει ότι, ανεξαρτήτως μεθόδου διδασκαλίας, οι μαθητές κατανοούν τις βασικές έννοιες της ενέργειας. Ωστόσο, η πειραματική ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη συνολική μεταβολή σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, συνεπώς η χρήση προσομοίωσης PhET στη διδασκαλία ήταν πιο αποτελεσματική.

Από την ανάλυση των εναλλακτικών αντιλήψεων προέκυψαν ιδιαίτερα σημαντικά ευρήματα. Ορισμένες εναλλακτικές αντιλήψεις, όπως η σύγχυση των εννοιών της δύναμης και της ενέργειας, μειώθηκαν σε σημαντικό βαθμό και στις δύο ομάδες, άρα μπορούν να

αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μέσα από τη διδασκαλία. Αντίθετα, αντιλήψεις που είναι πιο σύνθετες, όπως η δυσκολία στην κατανόηση των ενεργειακών μετατροπών και της διατήρησης της ενέργειας, είναι περισσότερο ανθεκτικές, γεγονός που επιβεβαιώνει πως η εννοιολογική αλλαγή είναι μια απαιτητική διαδικασία που συμβαίνει σταδιακά (Posner et al., 1982).

Παρατηρούμε επίσης ότι η διδακτική παρέμβαση με χρήση προσομοίωσης PhET βοήθησε περισσότερο στο να μειωθούν ορισμένες εναλλακτικές αντιλήψεις που θεωρούνται σύνθετες, ιδιαίτερα εκείνες που σχετίζονται με τη δυναμική φύση της ενέργειας. Αυτό συμβαίνει γιατί οι προσομοιώσεις επιτρέπουν στους μαθητές να οπτικοποιούν αφηρημένες έννοιες και να μελετούν τα διάφορα φαινόμενα σε ένα διαδραστικό περιβάλλον, διευκολύνοντας έτσι την εννοιολογική κατανόηση (Wieman et al., 2008).

Είναι πολύ σημαντικό να επισημάνουμε ότι η βελτίωση στις εναλλακτικές αντιλήψεις δεν είναι ομοιόμορφη σε όλες τις κατηγορίες. Υπήρχαν συγκεκριμένες περιπτώσεις που η ομάδα ελέγχου παρουσίασε μεγαλύτερη μείωση σε συγκεκριμένες εναλλακτικές αντιλήψεις. Αυτό μας δείχνει ότι η αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας δεν εξαρτάται μόνο από το διδακτικό εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε αλλά και από τη φύση της έννοιας. Καταλήγουμε λοιπόν πως η εννοιολογική αλλαγή δεν επιτυγχάνεται με έναν συγκεκριμένο τρόπο, αλλά χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν διάφορες διδακτικές προσεγγίσεις (Duit, 2014).

Τα αποτελέσματα από το ερωτηματολόγιο Likert συμπληρώνουν την εικόνα που έχουμε από την ανάλυση των επιδόσεων των μαθητών. Οι μαθητές της πειραματικής ομάδας έδειξαν περισσότερο ενδιαφέρον και είχαν πιο θετική στάση απέναντι στο μάθημα της Φυσικής, ενώ αξιολόγησαν πολύ θετικά τη χρήση της προσομοίωσης. Παράλληλα, μέσα από τα αποτελέσματα παρατηρήσαμε ότι οι μαθητές σε κάποιες περιπτώσεις νομίζουν ότι έχουν κατανοήσει τις διδασκόμενες έννοιες, χωρίς όμως να τις έχουν κατανοήσει πραγματικά, άρα η χρήση πολλαπλών εργαλείων αξιολόγησης κρίνεται απαραίτητη (Pintrich et al., 1993).

Συνολικά, τα ευρήματα που προκύπτουν από την έρευνα μας δείχνουν ότι οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν ευκολότερα βασικές έννοιες αλλά και να διαμορφώσουν μια θετική στάση απέναντι στο μάθημα της Φυσικής, όταν χρησιμοποιούνται διαδραστικές προσομοιώσεις κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Βέβαια, το πόσο αποτελεσματική είναι μια διδασκαλία δεν εξαρτάται μόνο από το μέσο που χρησιμοποιούμε, αλλά και από τον τρόπο που θα το ενσωματώσουμε στη μαθησιακή διαδικασία. Η εννοιολογική αλλαγή είναι μια σύνθετη

διαδικασία, που για να επιτευχθεί χρειάζονται στοχευμένες διδακτικές παρεμβάσεις αλλά και ενεργή συμμετοχή από τους μαθητές.

Όλα τα παραπάνω ευρήματα θα αποτελέσουν τη βάση για τη συζήτηση που θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο, όπου εκεί θα επιχειρήσουμε να τα ερμηνεύσουμε σε σχέση με το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας και θα εξάγουμε και παιδαγωγικά συμπεράσματα.

## **5. Ερμηνεία και Συζήτηση των Αποτελεσμάτων**

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα επιχειρήσουμε την ερμηνεία των ευρημάτων της έρευνας, βασιζόμενοι στο θεωρητικό πλαίσιο που παρουσιάσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια και κυρίως με τη βιβλιογραφία που αφορά τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και την εννοιολογική αλλαγή. Δεν θα περιορίσουμε την ανάλυση στην περιγραφή των αποτελεσμάτων, αλλά θα επιχειρήσουμε να εστιάσουμε στην ερμηνεία τους, για να αναδείξουμε τους μηχανισμούς που επηρεάζουν τη μάθηση της έννοιας της ενέργειας.

Αρχικά, θα συζητηθούν οι βασικές εναλλακτικές αντιλήψεις που εντοπίστηκαν στους μαθητές, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο αυτές άλλαξαν μετά τη διδακτική παρέμβαση. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε το κατά πόσο ήταν αποτελεσματικές οι διδακτικές προσεγγίσεις που εφαρμόσαμε, δίνοντας έμφαση στις ψηφιακές προσομοιώσεις. Θα λάβουμε υπόψη μας και τις στάσεις των μαθητών για τη διδασκαλία, όπως τις καταγράψαμε μέσα από το ερωτηματολόγιο Likert.

Το κεφάλαιο θα ολοκληρωθεί διατυπώνοντας τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας, αναδεικνύοντας τους περιορισμούς της και παρουσιάζοντας προτάσεις για μελλοντική έρευνα και παιδαγωγικές εφαρμογές. Με αυτό τον τρόπο, θα συνδέσουμε τα ερευνητικά ευρήματα με τη διδακτική πράξη και κατά πόσο αυτά συμβάλλουν στην κατανόηση της διδασκαλίας της ενέργειας στο πλαίσιο της σχολικής τάξης.

### **5.1 Συζήτηση των αποτελεσμάτων**

Σε αυτή την ενότητα θα επιχειρήσουμε να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα της έρευνας, βασίζοντάς τα στο θεωρητικό πλαίσιο που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 2. Θα εστιάσουμε την ανάλυση στις αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, στη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και στον ρόλο της διδακτικής παρέμβασης, λαμβάνοντας υπόψη μας τόσο τα ποσοτικά δεδομένα που προέκυψαν από την έρευνα, όσο και τις στάσεις των μαθητών απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία.

### **5.1.1 Αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών**

Μέσα από τα αποτελέσματα του pre-test καταφέραμε να αναδείξουμε την ύπαρξη ενός μεγάλου φάσματος εναλλακτικών αντιλήψεων σχετικά με την έννοια της ενέργειας και τη διατήρησή της. Οι μαθητές δείχνουν να προσεγγίζουν την έννοια της ενέργειας μέσα από διαισθητικά σχήματα, που προκύπτουν από την καθημερινή ζωή και όχι από την επιστημονικά τεκμηριωμένη γνώση. Αντιλαμβάνονται την ενέργεια ως «ουσία» που αποθηκεύεται ή καταναλώνεται και τη συνδέουν αποκλειστικά με την κίνηση, ευρήματα που αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων νοητικών μοντέλων.

Τα ευρήματά μας συμφωνούν με τη διεθνή βιβλιογραφία, όπου μέσα από αυτή βλέπουμε πως οι μαθητές συχνά δίνουν στην ενέργεια ιδιότητες που έχει ένα υλικό μέγεθος, εφόσον την αντιλαμβάνονται σαν ένα «καύσιμο» που εξαντλείται (Driver et al., 1994, Duit, 2014). Επιπρόσθετα, σε σημαντικό ποσοστό των μαθητών παρατηρήσαμε έντονη σύγχυση μεταξύ των εννοιών της ενέργειας και της δύναμης. Αυτή η σύγχυση έχει καταγραφεί ως ένα από τα πιο ανθεκτικά γνωστικά εμπόδια στη διδασκαλία της Φυσικής (Watts, 1983).

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η αντίληψη ότι η ενέργεια «χάνεται» ή «εξαφανίζεται», που εμφανίζεται σε αρκετές απαντήσεις των μαθητών. Η αντίληψη αυτή δείχνει πως οι μαθητές αδυνατούν να κατανοήσουν την αρχή διατήρησης της ενέργειας και το πώς αυτή μετατρέπεται από τη μία μορφή στην άλλη. Σύμφωνα με τον Duit (2014), αυτές οι αντιλήψεις δεν θεωρούνται απλώς λάθη, αλλά για τους μαθητές είναι δομημένα γνωστικά σχήματα, που για αυτούς βγάζουν απόλυτο νόημα.

### **5.1.2 Εννοιολογική αλλαγή και ανθεκτικότητα των αντιλήψεων**

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των pre-test και post-test μας έδειξε ότι η διδασκαλία βοήθησε να βελτιωθεί η εννοιολογική κατανόηση των μαθητών σε σημαντικό βαθμό. Ωστόσο, δεν παρατηρούμε ομοιόμορφη μεταβολή των εναλλακτικών αντιλήψεων, κάτι που μας επιβεβαιώνει πως η εννοιολογική αλλαγή είναι μια σύνθετη και σταδιακή διαδικασία.

Με βάση το μοντέλο της εννοιολογικής αλλαγής των Posner et al. (1982), για να μπορέσει μια εναλλακτική αντίληψη να αντικατασταθεί, πρέπει ο μαθητής να βιώσει μια γνωστική σύγκρουση και να μεταβεί σε ένα καινούριο εννοιολογικό σχήμα που για εκείνον θα είναι πιο κατανοητό και πειστικό. Σε αυτή την έρευνα, βλέπουμε ότι κάποιες αντιλήψεις, όπως η

σύγχυση ενέργειας – δύναμης, μειώθηκαν σε πολύ σημαντικό βαθμό ή εξαλείφθηκαν, συνεπώς και μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μέσα από τη διδασκαλία.

Αντίθετα, ορισμένες αντιλήψεις που είναι πιο σύνθετες, όπως αυτές που αφορούν τις ενεργειακές μετατροπές και την διατήρηση της ενέργειας, παρουσίασαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα. Οι μαθητές συνεχίζουν να δυσκολεύονται στο να συνδέσουν τις διάφορες μορφές ενέργειας και στο να θεωρήσουν ότι η ενέργεια είναι ένα μέγεθος που διατηρείται. Αυτό το εύρημα συμφωνεί με τις έρευνες που δείχνουν ότι οι αφηρημένες έννοιες της Φυσικής χρειάζονται περισσότερο χρόνο και κατάλληλες διδακτικές στρατηγικές για να οικοδομηθούν (Duit, 2014).

Επιπλέον, μέσα από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εναλλακτικές αντιλήψεις μειώθηκαν περισσότερο στην ομάδα ελέγχου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η σύγχυση ανάμεσα στην ενέργεια και τη θερμότητα, η οποία δεν μειώθηκε στον ίδιο βαθμό και στις δύο ομάδες. Αυτό μας δείχνει πως η εννοιολογική αλλαγή είναι μία πολύπλοκη διαδικασία που δεν εξαρτάται αποκλειστικά από το διδακτικό μέσο. Επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες, όπως ο τρόπος διδασκαλίας, η αλληλεπίδραση με τους μαθητές στην τάξη και τα γνωστικά σχήματα που ήδη υπάρχουν σε αυτούς.

### **5.1.3 Ρόλος της διδακτικής παρέμβασης και των προσομοιώσεων**

Συγκρίνοντας τις δύο ομάδες, παρατηρούμε πως η πειραματική ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη συνολική βελτίωση στην επίδοσή της, συνεπώς η χρήση της προσομοίωσης βοήθησε πολύ θετικά στη μαθησιακή διαδικασία. Οι προσομοιώσεις μας επιτρέπουν να οπτικοποιούμε αφηρημένες έννοιες και να απεικονίζουμε δυναμικά τα φυσικά φαινόμενα, διευκολύνοντας τους μαθητές να κατανοήσουν έννοιες όπως η μετατροπή και η διατήρηση της ενέργειας.

Αυτά τα αποτελέσματα συμβαδίζουν με τη βιβλιογραφία, σύμφωνα με την οποία οι διαδραστικές προσομοιώσεις PhET έχουν την ικανότητα να ενισχύουν την εννοιολογική κατανόηση, ειδικά όταν αυτές ενσωματώνονται σε ένα διερευνητικό μαθησιακό περιβάλλον (Wieman et al., 2008). Παράλληλα, όταν οι μαθητές έχουν την δυνατότητα να πειραματιστούν σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον, μπορούν να διερευνήσουν διαφορετικά σενάρια και να οικοδομήσουν πιο ενεργά την γνώση τους.

Παρόλα αυτά, βλέπουμε μέσα από τα αποτελέσματα ότι η χρήση της προσομοίωσης δεν προκαλεί αυτόματη εννοιολογική αλλαγή σε όλες τις κατηγορίες των εννοιών. Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως η σύγχυση ενέργειας και θερμότητας, παρατηρούμε πως ο παραδοσιακός τρόπος διδασκαλίας είναι εξίσου ή και περισσότερο αποτελεσματικός όσον αφορά έννοιες που χρειάζονται έναν σαφή ορισμό καθώς και άμεση καθοδήγηση. Αυτό ενισχύεται από την άποψη ότι η αποτελεσματικότητα ενός ψηφιακού εργαλείου εξαρτάται και από τον παιδαγωγικό σχεδιασμό, αλλά και το πώς θα ενσωματωθεί αυτό στη διδασκαλία (de Jong & van Joolingen, 1998).

#### **5.1.4 Ρόλος των στάσεων και της μαθησιακής εμπλοκής**

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το ερωτηματολόγιο Likert δείχνουν ότι οι μαθητές που συμμετείχαν στην πειραματική ομάδα εμφάνισαν υψηλότερα ποσοστά ενδιαφέροντος και πιο θετική στάση απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία. Αυτή η θετική στάση μπορεί να οφείλεται στη διαδραστική φύση της προσομοίωσης, η οποία έκανε το μάθημα πιο ελκυστικό και παρακίνησε τους μαθητές να συμμετάσχουν περισσότερο σε αυτό.

Η εμπλοκή των μαθητών στη μαθησιακή διαδικασία είναι πολύ χρήσιμη για την αποτελεσματικότητα της ίδιας της διδασκαλίας, εφόσον έχει άμεση συσχέτιση με το πώς οι μαθητές επεξεργάζονται μια πληροφορία και την κατανοούν πιο βαθιά (Fredricks et al., 2004). Επιπλέον, όταν οι μαθητές δείχνουν θετική στάση απέναντι στη Φυσική, δείχνουν και περισσότερο ενδιαφέρον για αυτήν αλλά και μεγαλύτερη διάθεση για μάθηση (Osborn et al., 2003).

Παράλληλα, οι μαθητές της πειραματικής ομάδας δείχνουν να έχουν ελαφρώς χαμηλότερη αντιλαμβανόμενη κατανόηση σε σύγκριση με τους μαθητές της ομάδας ελέγχου, κάτι που μας δείχνει ότι η αντιλαμβανόμενη και η πραγματική μάθηση είναι δύο τελείως διαφορετικά πράγματα. Οι μαθητές δείχνουν να πιστεύουν πως κατανοούν καλύτερα μέσα από μια διδασκαλία που είναι πιο καθοδηγούμενη, σε αντίθεση με τις διερευνητικές προσεγγίσεις, που ενώ είναι πιο αποτελεσματικές σε γνωστικό επίπεδο, τους δημιουργούν κάποιες φορές μια αίσθηση αβεβαιότητας (Pintrich et al., 1993).

### **5.1.5 Συνολική ερμηνεία των ευρημάτων**

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της έρευνας μας δείχνουν ότι οι μαθητές προσεγγίζουν την έννοια της ενέργειας, μέσα από ισχυρά εναλλακτικά νοητικά σχήματα που δεν μεταβάλλονται εύκολα. Η διδασκαλία βοηθά στη βελτίωση της κατανόησης, παρόλα αυτά η εννοιολογική αλλαγή είναι επιλεκτική και εξαρτάται κυρίως από τη φύση της έννοιας.

Η χρήση των προσομοιώσεων PhET φαίνεται πως ενισχύει τη μαθησιακή διαδικασία, ιδιαίτερα όταν έχουμε να κάνουμε με κατανόηση δυναμικών και αφηρημένων εννοιών αλλά και με τη διαμόρφωση μιας πιο θετικής στάσης απέναντι στη μάθηση. Παράλληλα, είναι πολύ σημαντικό να κατανοήσουμε πως πρέπει να συνδυάζονται διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις για να μπορέσουμε να αντιμετωπίσουμε αποτελεσματικά τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών.

Όλα αυτά μας επιβεβαιώνουν πως η μάθηση της Φυσικής δεν είναι μια απλή διαδικασία μέσα από την οποία μεταδίδονται οι γνώσεις, αλλά μια σύνθετη διαδικασία που αναδομεί τις αντιλήψεις των μαθητών που υπάρχουν ήδη.

## **5.2 Συμπεράσματα της έρευνας**

Από την ανάλυση των δεδομένων που προηγήθηκε, προκύπτουν κάποια συμπεράσματα σχετικά με τον τρόπο που οι μαθητές κατανοούν την ενέργεια, τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και την αποτελεσματικότητα της διδακτικής παρέμβασης.

Αρχικά, η έρευνα επιβεβαιώνει πως οι μαθητές εισέρχονται στη διδασκαλία της ενέργειας με ήδη διαμορφωμένα εναλλακτικά νοητικά σχήματα, που έχουν εσωτερική συνοχή και πηγάζουν από την καθημερινή ζωή. Τέτοιες αντιλήψεις, όπως είναι η θεώρηση της ενέργειας ως «καύσιμο», η αποκλειστική σύνδεσή της με την κίνηση και η σύγχυσή της με τη δύναμη, δεν είναι απλές παρανοήσεις. Είναι γνωστικά σχήματα που είναι δομημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να επηρεάζουν τη μαθησιακή διαδικασία. Το συγκεκριμένο εύρημα το βρίσκουμε και στη βιβλιογραφία για τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών, όπου και αναφέρεται πόσο καθοριστικός είναι ο ρόλος των ήδη υπάρχουσών αντιλήψεων στη μάθηση (Driver et al., 1994, Duit, 2014).

Τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι για να μπορέσει να βελτιωθεί η εννοιολογική κατανόηση των μαθητών, η διδασκαλία έχει πρωτεύοντα ρόλο, χωρίς όμως να μπορεί να αναδομήσει πλήρως όλες τις εναλλακτικές αντιλήψεις τους. Η εννοιολογική αλλαγή είναι επιλεκτική και δεν γίνεται με τον ίδιο τρόπο για όλες τις έννοιες. Οι αντιλήψεις που είναι πιο απλές ή λιγότερο εδραιωμένες δείχνουν να μεταβάλλονται πιο εύκολα, αντίθετα με πιο σύνθετες έννοιες, όπως οι ενεργειακές μετατροπές και η διατήρηση της ενέργειας, που φαίνεται να είναι πιο ανθεκτικές. Αυτό το εύρημα ενισχύει και την άποψη ότι η εννοιολογική αλλαγή είναι μια απαιτητική διαδικασία που συμβαίνει σταδιακά και δεν μπορεί απλά να ολοκληρωθεί μέσα σε μόνο μία διδακτική παρέμβαση (Posner et al., 1982, Duit, 2014).

Μέσα από τη σύγκριση των δύο διδακτικών προσεγγίσεων, προκύπτει ότι η προσομοίωση είχε θετική επίδραση στη μαθησιακή διαδικασία, καθώς η χρήση της οδήγησε σε μεγαλύτερη συνολική βελτίωση στην επίδοση των μαθητών. η προσομοίωση PhET έδωσε τη δυνατότητα οπτικοποίησης και δυναμικής αναπαράστασης των φυσικών φαινομένων, κάτι που δείχνει να διευκόλυνε πολύ την κατανόηση αφηρημένων εννοιών, όπως είναι η μετατροπή και η διατήρηση της ενέργειας. Ωστόσο, βλέπουμε πως η αποτελεσματικότητα της προσομοίωσης δεν είναι καθολική, αφού η παραδοσιακή διδασκαλία αποδείχθηκε σε κάποιες περιπτώσεις εξίσου ή και λίγο περισσότερο αποτελεσματική για κάποιες έννοιες. Άρα ένα διδακτικό εργαλείο δεν μπορούμε να πούμε πως υπερέχει απόλυτα, αλλά ο τρόπος που αυτό θα αξιοποιηθεί καθώς και η φύση του γνωστικού αντικειμένου είναι παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η αποτελεσματικότητά του (de Jong & van Joolingen, 1998).

Επιπρόσθετα, μέσα από το ερωτηματολόγιο Likert για την στάση και το ενδιαφέρον των μαθητών, παρατηρούμε πως η πειραματική ομάδα συμμετείχε περισσότερο και έδειξε πιο θετική στάση απέναντι στη μαθησιακή διαδικασία, κάτι που αποτελεί σημαντικό παράγοντα για το πόσο αποτελεσματική είναι η μάθηση. Διαπιστώνουμε επίσης, τη μη ταύτιση της αντιλαμβανόμενης από την πραγματική κατανόηση των μαθητών, γεγονός που τονίζει πόσο σημαντική είναι η χρήση πολλαπλών εργαλείων αξιολόγησης (Pintrich et al., 1993).

Συνολικά, καταλήγουμε πως η μάθηση της έννοιας της ενέργειας είναι μια πολύπλοκη διαδικασία, που μπορεί να επηρεαστεί τόσο από τις εναλλακτικές ιδέες που έχουν ήδη οι μαθητές, όσο και από τα χαρακτηριστικά της διδακτικής παρέμβασης. Για να μπορέσει μια διδασκαλία να είναι αποτελεσματική, πρέπει να είμαστε σε θέση να συνδυάσουμε διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις, όχι μόνο για να μεταδώσουμε τη γνώση, αλλά κυρίως

για να αναδομήσουμε τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και να βοηθήσουμε να αναπτύξουν πιο βαθιά εννοιολογική κατανόηση.

### 5.3 Περιορισμοί της έρευνας

Παρόλο που προέκυψαν ενδιαφέροντα ευρήματα από αυτή την έρευνα, πρέπει να αναγνωρίσουμε και κάποιους περιορισμούς, που μπορεί να επηρεάσουν την ερμηνεία και τη καθολικότητα των αποτελεσμάτων. Το να είμαστε σε θέση να αναγνωρίσουμε τους περιορισμούς είναι βασικό στοιχείο της ερευνητικής διαδικασίας, καθώς βοηθά στο να αποτιμήσουμε πιο ορθά τα συμπεράσματα και ταυτόχρονα ενισχύει την επιστημονική εγκυρότητα της μελέτης (Cohen et al., 2018).

Αρχικά, ένας σημαντικός περιορισμός είναι το μέγεθος και η φύση του δείγματος. Η μελέτη έγινε σε περιορισμένο αριθμό μαθητών και σε συγκεκριμένο εκπαιδευτικό πλαίσιο, οπότε δεν υπήρξε και γενίκευση των αποτελεσμάτων στον ευρύτερο πληθυσμό. Επιπλέον, δεν επιλέξαμε το δείγμα τυχαία, αλλά χρησιμοποιήσαμε τα τμήματα που ήταν διαθέσιμα, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την εξωτερική εγκυρότητα της έρευνας.

Ένας ακόμη περιορισμός είναι ότι επειδή τηρήθηκε η ανωνυμία των συμμετεχόντων, δεν μπορούμε να έχουμε ατομικά δεδομένα μεταξύ pre-test και post-test. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να βασίσουμε την ανάλυση σε σύγκριση σε επίπεδο ομάδας και όχι σε ατομικό επίπεδο και έτσι δεν έχουμε τη δυνατότητα να διερευνήσουμε την πορεία της εννοιολογικής αλλαγής για κάθε μαθητή ξεχωριστά. Αυτή η προσέγγιση, αν και επέτρεψε να εξάγουμε γενικά αποτελέσματα, δεν μπορεί να αποτυπώσει τη διαφοροποίηση κάθε μαθητή στη μαθησιακή εξέλιξη.

Η χρονική διάρκεια της παρέμβασης είναι ένας ακόμα παράγοντας που πιθανόν να επηρεάσει τα αποτελέσματα. Για σύνθετες έννοιες, όπως είναι η ενέργεια και η διατήρησή της, η εννοιολογική αλλαγή πρέπει να είναι μια διαδικασία χρόνια και συστηματική. Η περιορισμένη διάρκεια που είχε η διδακτική παρέμβαση είναι πιθανό να μην επαρκεί για να μπορέσουμε να αναδομήσουμε τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών (Duit, 2014).

Τα ερωτηματολόγια Likert που χρησιμοποιήθηκαν για τη διερεύνηση των στάσεων και των αντιλήψεων των μαθητών βασίζονται κυρίως στην αυτοαναφορά και οι απαντήσεις μπορούν να επηρεαστούν από υποκειμενικούς παράγοντες, όπως η τάση που έχουν οι μαθητές να δίνουν «αναμενόμενες» απαντήσεις ή η επιθυμία για κοινωνική αποδοχή. Μπορεί αυτά τα εργαλεία να χρησιμοποιούνται συχνά στην εκπαιδευτική έρευνα, πρέπει όμως τα αποτελέσματα να ερμηνεύονται με προσοχή και συνδυαστικά με άλλα δεδομένα (Cohen et al., 2018).

Τέλος, θα πρέπει να επισημάνουμε πως το πόσο αποτελεσματική θα είναι μια διδακτική παρέμβαση δεν εξαρτάται μόνο από το εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε, αλλά και από το πώς θα εφαρμοστεί αυτό κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, τον ρόλο του εκπαιδευτικού και τη δυναμική της τάξης. Η διδακτική εμπειρία, η καθοδήγηση που δώσαμε στους μαθητές και το πόσο αυτοί συμμετείχαν είναι παράγοντες που μπορεί να επηρέασαν τα αποτελέσματα, χωρίς να μπορούμε να τους απομονώσουμε πλήρως σε αυτή την έρευνα.

Στο σύνολό τους, οι παραπάνω περιορισμοί δεν αναιρούν την αξία που έχουν τα ευρήματά μας, αλλά ενισχύουν την άποψη ότι πρέπει αυτά να ερμηνευτούν προσεκτικά και ότι είναι πολύ σημαντική μια περαιτέρω διερεύνηση του θέματος μέσα από πιο εκτεταμένες και πολυδιάστατες διδακτικές προσεγγίσεις.

## **5.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Τα ευρήματα αυτής της έρευνας δείχνουν πόσο πολύπλοκη είναι τόσο η κατανόηση της έννοιας της ενέργειας, όσο και η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, γεγονός που υπογραμμίζει ότι η περαιτέρω διερεύνηση του θέματος είναι αναγκαία. Έτσι, θα διατυπώσουμε ορισμένες προτάσεις για μελλοντική έρευνα, οι οποίες θα μπορούσαν να βοηθήσουν στο να εμβαθύνουμε και να επεκτείνουμε τα αποτελέσματά μας.

Αρχικά, η έρευνα αυτή θα μπορούσε να επαναληφθεί σε μεγαλύτερο και πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα μαθητών, ώστε να μπορέσουμε να γενικεύσουμε τα ευρήματα. Αν αυτή η μελέτη εφαρμοζόταν σε διαφορετικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και σε διαφορετικές εκπαιδευτικές βαθμίδες, θα υπήρχε η δυνατότητα να αναδείξουμε τις πιθανές διαφοροποιήσεις που θα υπήρχαν στην ανάπτυξη και τη μεταβολή των εναλλακτικών αντιλήψεων.

Επιπλέον, προτείνουμε να διεξαχθούν μακροχρόνιες έρευνες (longitudinal studies), που θα μας επιτρέψουν να παρακολουθήσουμε την μεταβολή των εναλλακτικών αντιλήψεων των μαθητών σε βάθος χρόνου. Μια τέτοια προσέγγιση θα μας έδινε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, η οποία σύμφωνα με τον Duit (2014), είναι μια διαδικασία που απαιτεί χρόνο.

Ιδιαίτερη σημασία θα είχε και να χρησιμοποιήσουμε μικτές μεθοδολογικές προσεγγίσεις (mixed methods), οι οποίες θα συνδυάζουν ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα. Αυτό θα το πετυχαίναμε με ημιδομημένες συνεντεύξεις ή ομάδες εστίασης (focus groups), ώστε να μπορούσαμε να κατανοήσουμε σε βάθος τις νοητικές διεργασίες των μαθητών και να αναδείξουμε πτυχές που δεν μπορούμε να αποτυπώσουμε πλήρως με τα ερωτηματολόγια (Cohen et al., 2018).

Μεγάλο ενδιαφέρον θα είχε επίσης να διερευνήσουμε την επίδραση που έχουν διαφορετικές διδακτικές προσεγγίσεις στη μεταβολή των εναλλακτικών αντιλήψεων, εκτός από τη χρήση των προσομοιώσεων PhET. Αν είμαστε σε θέση να συγκρίνουμε τη διερευνητική μάθηση, τις συνεργατικές δραστηριότητες και την παραδοσιακή διδασκαλία, θα μπορούσαμε να δούμε ποιοι συνδυασμοί διδακτικών στρατηγικών είναι πιο αποτελεσματικοί για να μπορούμε να οικοδομήσουμε την εννοιολογική κατανόηση.

Επιπρόσθετα, θα μπορούσαμε να διερευνήσουμε τον ρόλο που έχουν οι ψηφιακές προσομοιώσεις και τα υπόλοιπα ψηφιακά εργαλεία, όχι μόνο στο πόσο αποτελεσματικές είναι αλλά και στο πώς θα μπορούσαν να ενσωματωθούν στη διδασκαλία. Σε μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσαμε να εξετάσουμε τις διαφορετικές χρήσεις των προσομοιώσεων (για παράδειγμα καθοδηγούμενη αντί για ανοιχτή διερεύνηση), με σκοπό να εντοπίσουμε τις ιδανικές συνθήκες που οδηγούν στην εννοιολογική αλλαγή (de Jong & van Joolingen, 1998).

Τέλος, θα ήταν πολύ σημαντικό να διερευνήσουμε τη σχέση των γνωστικών και των συναισθηματικών παραγόντων στη μαθησιακή διαδικασία. Αν μελετήσουμε τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδρούν οι στάσεις, τα ενδιαφέροντα και η εννοιολογική κατανόηση των μαθητών, θα είχαμε μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση για τη μάθηση της Φυσικής, δείχνοντας με αυτό τον τρόπο όλους τους παράγοντες που συμβάλλουν στο να επιτευχθεί αυτή (Osborne et al, 2003).

Στο σύνολό τους, όλες οι παραπάνω προτάσεις δείχνουν έντονα την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα που θα συνδυάζει διαφορετικές μεθοδολογικές και διδακτικές μεθόδους, που θα έχουν

ως στόχο να κατανοήσουμε καλύτερα αλλά και να υποστηρίξουμε τη μαθησιακή διαδικασία στις Φυσικές Επιστήμες.

## **5.5 Παιδαγωγικές προεκτάσεις**

Τα ευρήματα αυτής της έρευνας έχουν σημαντικές παιδαγωγικές προεκτάσεις για τη διδασκαλία της ενέργειας στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, δείχνοντας την ανάγκη για αναστοχασμό και αναπροσαρμογή των διδακτικών πρακτικών.

Αρχικά, πρέπει να καταστήσουμε σαφές ότι οι μαθητές δεν εισέρχονται στη μαθησιακή διαδικασία ως «άδειοι δέκτες» γνώσης, αλλά έχουν ήδη διαμορφώσει εναλλακτικές αντιλήψεις, οι οποίες επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο ερμηνεύουν τα φυσικά φαινόμενα. Συνεπώς, πρέπει η διδακτική προσέγγιση να ξεκινά από τη διάγνωση αυτών των αντιλήψεων και να έχει ως στόχο να τις αναδομήσει σταδιακά. Η αξιοποίηση διαγνωστικών εργαλείων, όπως εννοιολογικά τεστ ή συζητήσεις στην τάξη, μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά προς αυτή την κατεύθυνση (Driver et al., 1994).

Επιπλέον, η έρευνα μας οδηγεί στο γεγονός ότι η εννοιολογική αλλαγή δεν μπορεί να συμβεί μεταδίδοντας απλώς τη γνώση, αλλά και οι ίδιοι μαθητές πρέπει να συμμετέχουν ενεργά στις μαθησιακές δραστηριότητες που προκαλούν γνωστική σύγκρουση και ενθαρρύνουν τη διερεύνηση. Έτσι, οι διερευνητικές και μαθητοκεντρικές προσεγγίσεις δείχνουν να είναι πιο αποτελεσματικές για να μπορέσουμε να πετύχουμε την εννοιολογική κατανόηση (Posner et al., 1982).

Ιδιαίτερη σημασία έχει και η αξιοποίηση των ψηφιακών εργαλείων, όπως οι διαδραστικές προσομοιώσεις. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι οι προσομοιώσεις μπορούν να ενισχύσουν τη μαθησιακή διαδικασία και ιδιαίτερα την κατανόηση αφηρημένων εννοιών και τη διαμόρφωση θετικών στάσεων απέναντι στη μάθηση. Ωστόσο, το κατά πόσο θα είναι αποτελεσματικές εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον παιδαγωγικό σχεδιασμό και τον τρόπο ενσωμάτωσής τους στη διδασκαλία. Μια πολύ αποτελεσματική πρακτική είναι η καθοδηγούμενη διερεύνηση, αν συνδυαστεί με στοχευμένες ερωτήσεις και δραστηριότητες, (de Jong & van Joolingen, 1998).

Παράλληλα, τα ευρήματα δείχνουν πόσο σημαντικός είναι ο συνδυασμός διαφορετικών διδακτικών προσεγγίσεων. Η παραδοσιακή διδασκαλία, όταν χρησιμοποιείται στοχευμένα, βοηθά στην αποσαφήνιση βασικών εννοιών, ενώ οι διερευνητικές μέθοδοι και τα ψηφιακά εργαλεία ενισχύουν τη βαθύτερη κατανόηση και τη σύνδεση των εννοιών μεταξύ τους. Συνεπώς, για να είναι μια διδασκαλία αποτελεσματική δεν πρέπει να βασίζεται σε μία μόνο προσέγγιση, αλλά σε έναν συνδυασμό μεθόδων, που θα είναι παιδαγωγικά τεκμηριωμένες.

Επιπλέον, για να μπορέσει μια διδασκαλία να θεωρηθεί επιτυχημένη, παίζουν σημαντικό ρόλο οι στάσεις και η μαθησιακή εμπλοκή των μαθητών. Για να μπορέσουμε να βελτιώσουμε ουσιαστικά τα μαθησιακά αποτελέσματα, πρέπει να δημιουργήσουμε ένα μαθησιακό περιβάλλον που θα ενθαρρύνει τη συμμετοχή, το ενδιαφέρον και τη θετική στάση απέναντι στη Φυσική (Fredrick et al., 2003).

Τέλος, τα αποτελέσματα της έρευνας τονίζουν πόσο σημαντική είναι η συνεχής επιμόρφωση των εκπαιδευτικών, τόσο σε επίπεδο γνωστικού αντικείμενου όσο και σε επίπεδο διδακτικών πρακτικών. Οι εκπαιδευτικοί χρειάζονται εξειδικευμένες γνώσεις και δεξιότητες για να μπορέσουν να κατανοήσουν τις εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών και να τις διαχειριστούν αποτελεσματικά. Αυτές θα τις αποκτήσουν μέσα από στοχευμένα προγράμματα επιμόρφωσης.

Με βάση τα ευρήματα αυτής της έρευνας, μπορούμε να διατυπώσουμε συνοπτικά τις παρακάτω απαντήσεις στα ερευνητικά ερωτήματα.

Ως προς το πρώτο ερευνητικό ερώτημα, διαπιστώνουμε πως οι μαθητές εισέρχονται στη διδασκαλία έχοντας διαμορφώσει με σαφή τρόπο τις εναλλακτικές τους αντιλήψεις σχετικά με τη μηχανική ενέργεια και τη διατήρησή της.

Ως προς το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα, τόσο η παραδοσιακή διδασκαλία όσο και η διδακτική παρέμβαση με χρήση προσομοίωσης PhET βοήθησαν στη βελτίωση της εννοιολογικής κατανόησης των μαθητών.

Ως προς το τρίτο ερευνητικό ερώτημα, η πειραματική ομάδα παρουσίασε μεγαλύτερη βελτίωση σε ορισμένες εννοιολογικές κατηγορίες και μεγαλύτερη μείωση συγκεκριμένων εναλλακτικών αντιλήψεων, χωρίς όμως να υπερέχει καθολικά σε όλες τις περιπτώσεις.

Τέλος, ως προς το τέταρτο ερευνητικό ερώτημα, διαπιστώσαμε ότι κάποιες εναλλακτικές αντιλήψεις εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα μετά τη διδασκαλία, γεγονός που

υπογραμμίζει πόσο σημαντικό είναι ο εκπαιδευτικός να χρησιμοποιεί πιο στοχευμένες διδακτικές παρεμβάσεις.

Συνολικά, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας μας δείχνουν ότι η κατανόηση της έννοιας της ενέργειας είναι μια σύνθετη διαδικασία, η οποία και μπορεί να επηρεαστεί τόσο από τις προϋπάρχουσες εναλλακτικές αντιλήψεις των μαθητών, όσο και από τη φύση της διδακτικής παρέμβασης. Αξιοποιώντας διδακτικές προσεγγίσεις διαφορετικές μεταξύ τους, οι οποίες όμως θα είναι και παιδαγωγικά τεκμηριωμένες, οδηγούμε τους μαθητές στη βαθύτερη εννοιολογική κατανόηση αλλά και στο να διαμορφώσουν μια θετικότερη στάση απέναντι στη μάθηση της Φυσικής.

## Βιβλιογραφία

- Adams, W. K., Dubson, M., Finkelstein, N. D., Reid, S., & Wieman, C. E. (2008). A study of educational simulations part I: Engagement and learning. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 397–419.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Anderson, J. R. (2010). *Cognitive psychology and its implications* (7th ed.). Worth Publishers.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart & Winston.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. Harvard University Press.
- Brook, A., & Wells, P. (1988). From scientific theory to classroom practice: The study of force and motion in elementary schools. *School Science Review*, 70(252), 41–50.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199.  
[https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1)
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5(2), 121–152.  
[https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502\\_2](https://doi.org/10.1207/s15516709cog0502_2)
- Clark, D. B., Nelson, B. C., Sengupta, P., & D'Angelo, C. M. (2009). *Rethinking science learning through digital games and simulations: Genres, examples, and evidence*. Commissioned paper for the National Research Council Workshop on Learning Science: Computer Games, Simulations, and Education, Washington, DC.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8th ed.). Routledge.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Sage.
- de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305–308.  
<https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Delegkos, N., Koliopoulos, D. (2020). Constructing the “Energy” Concept and Its Social Use by Students of Primary Education in Greece. *Research in Science Education*, 50(2).  
<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9694-y>

- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2–3), 105–225.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). *Some Features of Children's Ideas and Their Implications for Teaching. Children's Ideas in Science*, 193–201.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12.  
<https://doi.org/10.3102/0013189X023007005>
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science*. Routledge.
- Duit, R. (2014). Teaching and learning the physics energy concept. In E. F. Redish & M. Vicentini (Eds.), *Research on physics education* (pp. 253–275). Italian Physical Society.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (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>
- Erickson, G. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63(2), 221–230.
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Reid, S., & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 1(1), 010103.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2012). *How to design and evaluate research in education* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School engagement. *Review of Educational Research*, 74(1), 59–109.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Halloun, I.A. (2004). *Modelling Theory in Science Education*. Springer.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules. *International Journal of Science Education*, 18(8), 955–968.

- Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(2), 112–133.  
<https://doi.org/10.1177/1558689806298224>
- Kesidou, S., & Duit, R. (1993). Students' conceptions of the second law of thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(1), 85–106.
- Kuhn, T. S. (1977). *The essential tension: Selected studies in scientific tradition and change*. University of Chicago Press.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press.
- Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1–55.
- McDermott, L. C., & Redish, E. F. (1999). Resource letter: PER-1. *American Journal of Physics*, 67(9), 755–767. <https://doi.org/10.1119/1.19122>
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162–188.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., & Wieman, C. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18–23.
- Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs. *Review of Educational Research*, 63(2), 167–199.
- Podolefsky, N. S., Perkins, K. K., & Adams, W. K. (2010). Factors promoting engaged exploration with computer simulations. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 6(2), 020117. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020117>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception. Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D., & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337–386.  
[https://doi.org/10.1207/s15327809jls1303\\_4](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1303_4)

- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations. *Computers & Education*, 58(1), 136–153.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Schraw, G. (1998). Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, 26, 113–125. <https://doi.org/10.1023/A:1003044231033>
- Solomon, J. (1985). Teaching the conservation of energy. *Physics Education*, 20(4), 165–170.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges. *Cultural Studies of Science Education*, 3, 297–328.
- Treagust, D. F., & Duit, R. (2009). Multiple perspectives of conceptual change in science. *Journal of Science and Mathematics Education in Southeast Asia*, 32(2), 89–104.
- Viennot, L. (2001). *Reasoning in physics: The part of common sense*. Springer.
- Von Glasersfeld, E. (1995). *Radical constructivism: A way of knowing and learning*. Falmer Press.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Vosniadou, S. (2013). *International handbook of research on conceptual change* (2nd ed.). Routledge.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Watts, D. M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213–217.
- Wieman, C., Adams, W., & Perkins, K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Zacharia, Z. C., & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation. *Learning and Instruction*, 21(3), 317–331.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2010.03.001>

## Παράρτημα Α: «Πίνακας αντιστοίχισης απαντήσεων pre-test και post-test με το σύστημα κωδικοποίησης των εναλλακτικών αντιλήψεων»

### Pre-test

| Q1                     | Q2                     | Q3                     | Q4                     | Q5                     |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\alpha \rightarrow B$ | $\alpha \rightarrow D$ | $\alpha \rightarrow E$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ |
| $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow D$  | $\beta \rightarrow E$  | $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow A$  |
| $\gamma \rightarrow C$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow G$ |
| $\delta \rightarrow D$ | $\delta \rightarrow C$ | $\delta \rightarrow B$ | $\delta \rightarrow G$ | $\delta \rightarrow X$ |

| Q6                     | Q7                     | Q8                     | Q9                     | Q10                    |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow E$ |
| $\beta \rightarrow C$  | $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow E$  | $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow G$  |
| $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow E$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ |
| $\delta \rightarrow D$ | $\delta \rightarrow C$ | $\delta \rightarrow G$ | $\delta \rightarrow G$ | $\delta \rightarrow G$ |

| Q11                    | Q12                    | Q13                    | Q14                    | Q15                    |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow H$ | $\alpha \rightarrow G$ |
| $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow E$  | $\beta \rightarrow E$  | $\beta \rightarrow G$  |
| $\gamma \rightarrow G$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ |
| $\delta \rightarrow A$ | $\delta \rightarrow G$ | $\delta \rightarrow G$ | $\delta \rightarrow E$ | $\delta \rightarrow G$ |

### Post-test

| Q1                     | Q2                     | Q3                     | Q4                     | Q5                     |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\alpha \rightarrow C$ | $\alpha \rightarrow D$ | $\alpha \rightarrow E$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ |
| $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow E$  | $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow A$  |
| $\gamma \rightarrow D$ | $\gamma \rightarrow D$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow C$ | $\gamma \rightarrow G$ |
| $\delta \rightarrow B$ | $\delta \rightarrow X$ | $\delta \rightarrow B$ | $\delta \rightarrow D$ | $\delta \rightarrow X$ |

| Q6                     | Q7                     | Q8                     | Q9                     | Q10                    |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ |
| $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow A$  | $\beta \rightarrow E$  |
| $\gamma \rightarrow G$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow G$ | $\gamma \rightarrow G$ | $\gamma \rightarrow A$ |
| $\delta \rightarrow D$ | $\delta \rightarrow E$ | $\delta \rightarrow E$ | $\delta \rightarrow E$ | $\delta \rightarrow G$ |

| Q11                    | Q12                    | Q13                    | Q14                    | Q15                    |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow G$ | $\alpha \rightarrow E$ | $\alpha \rightarrow E$ |
| $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow G$  | $\beta \rightarrow H$  | $\beta \rightarrow A$  |
| $\gamma \rightarrow G$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow A$ | $\gamma \rightarrow G$ |
| $\delta \rightarrow A$ | $\delta \rightarrow G$ | $\delta \rightarrow G$ | $\delta \rightarrow E$ | $\delta \rightarrow E$ |

## Παράρτημα Β: «Εννοιολογικό pre-test»

### PRE-TEST

#### Θέμα: Μηχανική Ενέργεια και Αρχή Διατήρησης

##### Οδηγίες προς τους μαθητές

Το παρακάτω τεστ δεν αξιολογεί την επίδοσή σας, αλλά τον τρόπο που σκέφτεστε για τις έννοιες της ενέργειας. Για κάθε ερώτηση επιλέξτε την απάντηση που θεωρείτε σωστή και αιτιολογήστε σύντομα την επιλογή σας.

---

#### Ενότητα Α: Η έννοια της ενέργειας

##### Ερώτηση 1

Ποια από τις παρακάτω προτάσεις περιγράφει καλύτερα την έννοια της ενέργειας στη Φυσική;

- α. Η ενέργεια είναι μια ουσία που καταναλώνεται όταν γίνεται έργο.
- β. Η ενέργεια είναι η ικανότητα ενός συστήματος να παράγει έργο ή να προκαλεί μεταβολές.
- γ. Η ενέργεια είναι μια δύναμη που ασκείται στα σώματα.
- δ. Η ενέργεια υπάρχει μόνο όταν ένα σώμα κινείται.

Αιτιολόγηση: .....

##### Ερώτηση 2

Ένα ακίνητο σώμα που βρίσκεται σε ύψος σε σχέση με το έδαφος:

- α. Δεν έχει ενέργεια, επειδή δεν κινείται.
- β. Έχει ενέργεια μόνο αν αρχίσει να κινείται.
- γ. Έχει ενέργεια λόγω της θέσης του.
- δ. Έχει ενέργεια μόνο αν ασκείται δύναμη πάνω του.

Αιτιολόγηση: .....

##### Ερώτηση 3

Όταν ένα σώμα σταματά να κινείται, η ενέργειά του:

- α. Χάνεται.
- β. Καταστρέφεται.
- γ. Μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας.
- δ. Παραμένει αποθηκευμένη μέσα στο σώμα.

Αιτιολόγηση: .....

.....

## Ενότητα Β: Κινητική και δυναμική ενέργεια

### Ερώτηση 4

Ποιο από τα παρακάτω μεγέθη επηρεάζει την κινητική ενέργεια ενός σώματος;

- Α. Μόνο η ταχύτητα.
- β. Μόνο η μάζα.
- γ. Η μάζα και η ταχύτητα.
- δ. Το ύψος από το έδαφος.

Αιτιολόγηση: .....

.....

### Ερώτηση 5

Δύο σώματα ίδιας μάζας κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες. Ποιο έχει μεγαλύτερη κινητική ενέργεια;

- α. Το σώμα με τη μικρότερη ταχύτητα.
- β. Το σώμα με τη μεγαλύτερη ταχύτητα.
- γ. Και τα δύο έχουν την ίδια κινητική ενέργεια.
- δ. Δεν μπορούμε να συγκρίνουμε.

Αιτιολόγηση: .....

.....

### Ερώτηση 6

Η δυναμική ενέργεια ενός σώματος εξαρτάται κυρίως από:

- α. Την ταχύτητά του.
- β. Τη δύναμη που του ασκείται.
- γ. Τη θέση του σε σχέση με ένα επίπεδο αναφοράς.
- δ. Τον χρόνο κίνησης.

Αιτιολόγηση: .....

.....

---

## Ενότητα Γ: Ενεργειακές μετατροπές

### Ερώτηση 7

Καθώς ένα σώμα πέφτει ελεύθερα από κάποιο ύψος, η δυναμική του ενέργεια:

- α. Παραμένει σταθερή.
- β. Μετατρέπεται σε κινητική.

γ. Χάνεται.

δ. Μετατρέπεται σε δύναμη.

Αιτιολόγηση: .....  
.....

### Ερώτηση 8

Κατά τη διάρκεια της κίνησης ενός σώματος, η ενέργεια:

α. Δημιουργείται συνεχώς.

β. Εξαφανίζεται σταδιακά.

γ. Μετατρέπεται από μία μορφή σε άλλη.

δ. Παραμένει πάντα στην ίδια μορφή.

Αιτιολόγηση: .....  
.....

### Ερώτηση 9

Όταν ένα σώμα ανεβαίνει σε ανηφορικό δρόμο χωρίς να σταματά:

α. Αυξάνεται η κινητική του ενέργεια.

β. Μειώνεται η δυναμική του ενέργεια.

γ. Αυξάνεται η δυναμική του ενέργεια.

δ. Δεν αλλάζει καμία μορφή ενέργειας.

Αιτιολόγηση: .....  
.....

---

## Ενότητα Δ: Διατήρηση μηχανικής ενέργειας (χωρίς τριβές)

### Ερώτηση 10

Σε ένα σύστημα χωρίς τριβές, η μηχανική ενέργεια:

α. Μειώνεται με τον χρόνο.

β. Αυξάνεται όταν αυξάνεται η ταχύτητα.

γ. Παραμένει σταθερή.

δ. Εξαρτάται από τη διαδρομή.

Αιτιολόγηση: .....  
.....

### Ερώτηση 11

Σε ποια θέση ενός σώματος που κινείται χωρίς τριβές είναι μεγαλύτερη η μηχανική του ενέργεια;

- α. Στο υψηλότερο σημείο.
- β. Στο χαμηλότερο σημείο.
- γ. Στο μέσο της διαδρομής.
- δ. Είναι ίδια σε όλες τις θέσεις.

Αιτιολόγηση: .....

.....

### Ερώτηση 12

Αν η ταχύτητα ενός σώματος αυξάνεται, τότε η συνολική μηχανική του ενέργεια:

- α. Αυξάνεται πάντα.
- β. Μειώνεται πάντα.
- γ. Παραμένει σταθερή αν δεν υπάρχουν τριβές.
- δ. Εξαρτάται από το βάρος του σώματος.

Αιτιολόγηση: .....

.....

---

### Ενότητα Ε: Ρόλος της τριβής

#### Ερώτηση 13

Όταν υπάρχει τριβή, η μηχανική ενέργεια:

- α. Διατηρείται.
- β. Χάνεται εντελώς.
- γ. Μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας.
- δ. Αυξάνεται λόγω της κίνησης.

Αιτιολόγηση: .....

.....

#### Ερώτηση 14

Η θερμότητα που παράγεται λόγω τριβής:

- α. Δεν σχετίζεται με την ενέργεια.
- β. Είναι απώλεια χωρίς φυσική σημασία.
- γ. Είναι μορφή ενέργειας.
- δ. Καταστρέφει την ενέργεια του συστήματος.

Αιτιολόγηση: .....

.....

#### Ερώτηση 15

Σε ποια περίπτωση δεν ισχύει η διατήρηση της μηχανικής ενέργειας;

- α. Όταν δεν υπάρχουν τριβές.
- β. Όταν ασκούνται μόνο συντηρητικές δυνάμεις.
- γ. Όταν υπάρχει τριβή.
- δ. Όταν το σώμα κινείται με σταθερή ταχύτητα.

Αιτιολόγηση: .....

.....

## Παράρτημα Γ: «Σχέδιο Μαθήματος ομάδας Ελέγχου»

### Σχέδιο μαθήματος

#### Μηχανική Ενέργεια και Αρχή Διατήρησης

(Ομάδα Ελέγχου – Παραδοσιακή Διδασκαλία)

---

#### Στόχος δραστηριότητας

Σκοπός της δραστηριότητας είναι οι μαθητές να κατανοήσουν τις έννοιες της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας, καθώς και την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας, μέσα από λεκτικά παραδείγματα, σχήματα και ερωτήσεις κατανόησης, χωρίς τη χρήση ψηφιακών εργαλείων.

---

#### 1. Εισαγωγή & Αναζήτηση

- Πρόκληση: Στέκεστε μπροστά στον πίνακα. Κρατάτε ένα στυλό στο ύψος του ώμου σας.
- Ερώτηση: «Αυτή τη στιγμή το στυλό έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει κάποια αλλαγή;»
- Δράση: Το αφήνετε να πέσει.
- Συμπέρασμα: Για να κινηθεί, έπρεπε να "έχει" κάτι αποθηκευμένο. Αυτό το "κάτι" είναι η Ενέργεια.

---

#### 2. Διδασκαλία - Οι δύο "Όψεις" της Ενέργειας

Σχεδιάζετε στον πίνακα δύο στήλες.

- Αριστερή Στήλη: Κινητική Ενέργεια
  - Εξαρτάται από τη μάζα και την ταχύτητα
  - Τύπος
  - Σημείωση: Πάντα θετική ή μηδέν. Αν δεν κινείσαι, δεν έχεις Κ.
- Δεξιά Στήλη: Βαρυτική Δυναμική Ενέργεια
  - Εξαρτάται από τη μάζα και το ύψος από ένα επίπεδο αναφοράς (συνήθως το έδαφος).

- Τύπος
- Σημείωση: Είναι ενέργεια "θέσης". Όσο πιο ψηλά, τόσο περισσότερη ενέργεια έχει το σώμα.

---

### 3. Η Αρχή Διατήρησης Μηχανικής Ενέργειας

- Ορισμός: Ονομάζουμε Μηχανική Ενέργεια το άθροισμα των δύο:  $E_{μηχ} = K + U$ .
- Ο Νόμος: Σε ένα σύστημα όπου δρουν μόνο συντηρητικές δυνάμεις (π.χ. βάρος) και δεν υπάρχουν τριβές, η μηχανική ενέργεια παραμένει σταθερή.
- Στον πίνακα:  $E_{αρχ} = E_{τελ}$ ,  $K_{αρχ} + U_{αρχ} = K_{τελ} + U_{τελ}$

---

### 4. Εφαρμογή & Παράδειγμα

1<sup>η</sup> άσκηση: Μια γλάστρα μάζας  $m = 2\text{kg}$  βρίσκεται στο περβάζι ενός παραθύρου που απέχει  $h = 20\text{m}$  από το έδαφος. Κάποια στιγμή η γλάστρα πέφτει.

α. ποια είναι η αρχική μηχανική ενέργεια της γλάστρας;

β. ποια είναι η κινητική ενέργεια της γλάστρας σε ύψος  $5\text{m}$  από το έδαφος;

γ. ποια είναι η ταχύτητα της γλάστρας στο έδαφος;

2<sup>η</sup> άσκηση: Ένας ποδηλάτης με συνολική μάζα  $100\text{Kg}$  βρίσκεται στην κορυφή ενός λείου κεκλιμένου επιπέδου ύψους  $h = 20\text{m}$  και είναι ακίνητος.

Με τι ταχύτητα θα φτάσει στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου;

---

### 5. Κλείσιμο & Αναστοχασμός

Ερώτηση "παγίδα": «Αν υπήρχαν τριβές, η ταχύτητα θα ήταν μεγαλύτερη ή μικρότερη;»

- Απάντηση: Μικρότερη, γιατί μέρος της ενέργειας θα γινόταν θερμότητα
- Σύνοψη: Η ενέργεια είναι η ικανότητα παραγωγής έργου. Δεν χάνεται, μεταμορφώνεται.

## Παράρτημα Δ: «Φύλλο εργασίας Πειραματικής Ομάδας»

### Φύλλο Εργασίας

#### Διερεύνηση της Μηχανικής Ενέργειας με Προσομοιώσεις PhET

(Πειραματική Ομάδα – Α' Λυκείου)

---

#### Στόχος δραστηριότητας

Σκοπός της δραστηριότητας είναι οι μαθητές να διερευνήσουν τις έννοιες της κινητικής, της δυναμικής και της μηχανικής ενέργειας, καθώς και την αρχή διατήρησής της, μέσα από πειραματισμό και παρατήρηση με τη χρήση της προσομοίωσης PhET *Energy Skate Park*.

---

#### Οδηγίες προς τους μαθητές

Θα εργαστείτε σε ομάδες των δύο ατόμων. Με βάση την προσομοίωση και τις παρατηρήσεις σας, απαντήστε στις ερωτήσεις. Πριν από κάθε πείραμα, διατυπώστε την πρόβλεψή σας. Δεν υπάρχει σωστή ή λάθος απάντηση σε αυτή τη φάση· μας ενδιαφέρει ο τρόπος που σκέφτεστε.

---

#### Θεωρητικές έννοιες

- **Κινητική ενέργεια (K):** η ενέργεια της κίνησης (πράσινη μπάρα στην προσομοίωση)
- **Δυναμική ενέργεια (U):** η ενέργεια λόγω θέσης (μπλε μπάρα στην προσομοίωση)
- **Μηχανική ενέργεια ( $E_{μηχ}$ ):**  $E_{μηχ} = K + U$  (κίτρινη μπάρα στην προσομοίωση)
- **Αρχή διατήρησης της Μηχανικής ενέργειας:** Αν δεν υπάρχουν τριβές, η μηχανική ενέργεια διατηρείται σταθερή. Δεν γεννιέται, ούτε καταστρέφεται, απλώς αλλάζει μορφή από K σε U και αντίστροφα.

---

#### Δραστηριότητα 1: Η "Ανταλλαγή" Ενεργειών (Χωρίς Τριβή)

Τοποθετούμε τον skater στην κορυφή της πίστας. Πριν ξεκινήσει την κίνηση, παρατηρήστε τις μπάρες ενεργειών (Bar Graph).

- **Πρόβλεψη:** Τι νομίζετε ότι θα συμβεί στην πράσινη μπάρα (Κινητική) και στην μπλε μπάρα (Δυναμική) όταν ο skater φτάσει στο χαμηλότερο σημείο;
- .....
- **Παρατήρηση:** Καθώς ο skater κινείται, η συνολική ενέργεια (κίτρινη μπάρα) μεταβάλλεται ή μένει σταθερή; Γιατί;

---

## Δραστηριότητα 2: Το Ύψος Επιστροφής

Τοποθετούμε τον skater στο ύψος των **4 μέτρων** (Grid) και τον αφήνουμε.

- **Παρατήρηση:** Σημειώστε μέχρι ποιο ύψος φτάνει ο skater στην απέναντι πλευρά. Είναι ίδιο, μικρότερο ή μεγαλύτερο από το αρχικό;

- **Πείραμα με τη Μάζα:** Αυξάνουμε τη μάζα του skater στο μέγιστο.

- **Πρόβλεψη:** Θα φτάσει στο ίδιο ύψος τώρα που είναι πιο βαρύς; .....
- **Επαλήθευση:** Τι δείχνει η προσομοίωση; .....

---

## Δραστηριότητα 3: Η Εμφάνιση της Θερμότητας (Με Τριβή)

Ενεργοποιούμε την τριβή (Friction) και αφήνουμε τον skater από την κορυφή.

- **Παρατήρηση:** Ποια νέα μπάρα χρώματος εμφανίζεται στο διάγραμμα; Πώς ονομάζεται αυτή η ενέργεια;

- **Συμπέρασμα:** Τι συμβαίνει τελικά στον skater; Πού "πήγε" η αρχική του ενέργεια;

---

## Δραστηριότητα 4: Σύνοψη & Κανόνας (Συμπληρώστε τα κενά)

- Όταν ένα σώμα χάνει ύψος, η ..... ενέργειά του μετατρέπεται σε .....
- Αν δεν υπάρχουν τριβές, το άθροισμα  $K + U$  παραμένει .....
- Η ενέργεια δεν χάνεται ποτέ, απλώς αλλάζει .....

## Παράρτημα Ε: «Εννοιολογικό post-test»

### POST-TEST

#### Θέμα: Μηχανική Ενέργεια και Αρχή Διατήρησης

##### Οδηγίες προς τους μαθητές

Απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις επιλέγοντας την απάντηση που θεωρείτε σωστή και αιτιολογήστε σύντομα την επιλογή σας. Δεν αξιολογείται η επίδοσή σας, αλλά ο τρόπος σκέψης σας.

---

##### Ενότητα Α: Η έννοια της ενέργειας

###### Ερώτηση 1

Στη Φυσική, η ενέργεια ενός συστήματος αναφέρεται κυρίως:

- α. Στην ποσότητα δύναμης που ασκείται.
- β. Στην ικανότητά του να προκαλεί μεταβολές ή να παράγει έργο.
- γ. Στην ταχύτητα με την οποία κινείται.
- δ. Στην ποσότητα ύλης που περιέχει.

Αιτιολόγηση: .....

###### Ερώτηση 2

Ένα σώμα που βρίσκεται ακίνητο στην κορυφή ενός λόφου:

- α. Δεν έχει ενέργεια, επειδή δεν κινείται.
- β. Έχει ενέργεια λόγω της θέσης του.
- γ. Έχει ενέργεια μόνο αν αρχίσει να κινείται.
- δ. Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε αν έχει ενέργεια.

Αιτιολόγηση: .....

###### Ερώτηση 3

Όταν ένα κινούμενο σώμα σταματά λόγω τριβών, η ενέργειά του:

- α. Εξαφανίζεται.
- β. Καταστρέφεται.
- γ. Μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας.
- δ. Παραμένει αποθηκευμένη ως μηχανική.

Αιτιολόγηση: .....

## Ενότητα Β: Κινητική και δυναμική ενέργεια

### Ερώτηση 4

Η κινητική ενέργεια ενός σώματος εξαρτάται από:

- α. Το ύψος και τη μάζα.
- β. Τη μάζα και την ταχύτητα.
- γ. Τη δύναμη που του ασκείται.
- δ. Τον χρόνο κίνησης.

Αιτιολόγηση: .....

.....

### Ερώτηση 5

Δύο σώματα διαφορετικής μάζας κινούνται με την ίδια ταχύτητα. Ποιο έχει μεγαλύτερη κινητική ενέργεια;

- α. Το σώμα με τη μικρότερη μάζα.
- β. Το σώμα με τη μεγαλύτερη μάζα.
- γ. Και τα δύο έχουν την ίδια κινητική ενέργεια.
- δ. Δεν μπορούμε να συγκρίνουμε.

Αιτιολόγηση: .....

.....

### Ερώτηση 6

Η βαρυτική δυναμική ενέργεια ενός σώματος:

- α. Εξαρτάται από την ταχύτητα του σώματος.
- β. Εξαρτάται από τη θέση του σε σχέση με το έδαφος.
- γ. Είναι ανεξάρτητη από τη μάζα του σώματος.
- δ. Υπάρχει μόνο όταν το σώμα κινείται.

Αιτιολόγηση: .....

.....

---

## Ενότητα Γ: Ενεργειακές μετατροπές

### Ερώτηση 7

Καθώς ένα σώμα κατεβαίνει από ύψος χωρίς τριβές:

- α. Αυξάνεται μόνο η κινητική του ενέργεια.
- β. Μειώνεται μόνο η δυναμική του ενέργεια.

γ. Η δυναμική μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια.

δ. Χάνεται μέρος της ενέργειας.

Αιτιολόγηση: .....

### Ερώτηση 8

Κατά τη διάρκεια μιας κίνησης, η ενέργεια ενός συστήματος:

α. Δημιουργείται συνεχώς.

β. Μετατρέπεται από μία μορφή σε άλλη.

γ. Παραμένει πάντα στην ίδια μορφή.

δ. Μειώνεται ανεξάρτητα από τις συνθήκες.

Αιτιολόγηση: .....

### Ερώτηση 9

Όταν ένα σώμα ανεβαίνει κατακόρυφα προς τα πάνω:

α. Αυξάνεται η κινητική του ενέργεια.

β. Αυξάνεται η δυναμική του ενέργεια.

γ. Δεν αλλάζει καμία μορφή ενέργειας.

δ. Χάνεται ενέργεια.

Αιτιολόγηση: .....

---

## Ενότητα Δ: Διατήρηση μηχανικής ενέργειας (χωρίς τριβές)

### Ερώτηση 10

Σε ένα σύστημα όπου δεν ασκούνται τριβές, η συνολική μηχανική ενέργεια:

α. Αυξάνεται όταν αυξάνεται η ταχύτητα.

β. Μειώνεται με τον χρόνο.

γ. Παραμένει σταθερή.

δ. Εξαρτάται από τη διαδρομή.

Αιτιολόγηση: .....

### Ερώτηση 11

Ένα σώμα κινείται χωρίς τριβές σε καμπύλη τροχιά. Η μηχανική του ενέργεια:

α. Είναι μεγαλύτερη στο χαμηλότερο σημείο.

β. Είναι μεγαλύτερη στο υψηλότερο σημείο.

γ. Μεταβάλλεται συνεχώς.

δ. Παραμένει ίδια σε κάθε σημείο.

Αιτιολόγηση: .....

.....

### Ερώτηση 12

Αν αυξηθεί η ταχύτητα ενός σώματος σε σύστημα χωρίς τριβές, τότε:

α. Αυξάνεται η μηχανική του ενέργεια.

β. Μειώνεται η μηχανική του ενέργεια.

γ. Η μηχανική ενέργεια παραμένει σταθερή.

δ. Η μηχανική ενέργεια εξαρτάται από τη μάζα μόνο.

Αιτιολόγηση: .....

.....

---

### Ενότητα Ε: Ρόλος της τριβής

#### Ερώτηση 13

Σε ποια περίπτωση η μηχανική ενέργεια **δεν** διατηρείται;

α. Όταν δεν υπάρχουν τριβές.

β. Όταν ασκούνται μόνο συντηρητικές δυνάμεις.

γ. Όταν υπάρχει τριβή.

δ. Όταν το σώμα κινείται χωρίς επιτάχυνση.

Αιτιολόγηση: .....

.....

#### Ερώτηση 14

Η ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα λόγω τριβής:

α. Χάνεται από το σύστημα χωρίς να μετατρέπεται.

β. Δεν θεωρείται μορφή ενέργειας.

γ. Παραμένει στο σύστημα ως άλλη μορφή ενέργειας.

δ. Καταστρέφεται.

Αιτιολόγηση: .....

.....

#### Ερώτηση 15

Η παρουσία τριβών σε ένα σύστημα οδηγεί:

- α. Στην εξαφάνιση της ενέργειας.
- β. Στη μη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας, αλλά όχι της συνολικής ενέργειας.
- γ. Στην αύξηση της μηχανικής ενέργειας.
- δ. Στην πλήρη απώλεια ενέργειας.

Αιτιολόγηση:.....  
.....

## **Παράρτημα Στ: «Ερωτηματολόγιο στάσεων και αντιλήψεων»**

### **ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΙΛΗΨΕΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ**

#### **Γενικές οδηγίες προς τους μαθητές (κοινές)**

Το ερωτηματολόγιο είναι ανώνυμο και δεν επηρεάζει τη βαθμολογία σας. Στόχος του είναι να καταγραφούν οι απόψεις και οι εμπειρίες σας σχετικά με τη διδασκαλία της ενέργειας. Παρακαλείστε να απαντήσετε ειλικρινά σε όλες τις ερωτήσεις.

Κλίμακα απαντήσεων (Likert 5 βαθμίδων):

1 = Διαφωνώ απόλυτα

2 = Διαφωνώ

3 = Ούτε συμφωνώ ούτε διαφωνώ

4 = Συμφωνώ

5 = Συμφωνώ απόλυτα

---

#### **ΜΕΡΟΣ Α: Κατανόηση της έννοιας της ενέργειας (Κοινό και στις δύο ομάδες)**

Οι παρακάτω ερωτήσεις διερευνούν την αυτοαντίληψη των μαθητών σχετικά με την κατανόηση των εννοιών της μηχανικής ενέργειας και της διατήρησής της.

1. Κατανόησα καλύτερα την έννοια της μηχανικής ενέργειας.
2. Κατάλαβα πότε εφαρμόζεται η αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας.
3. Μπορώ να εξηγήσω με λόγια τι σημαίνει ότι η μηχανική ενέργεια διατηρείται.
4. Μπορώ να εφαρμόσω την αρχή διατήρησης της μηχανικής ενέργειας σε απλά προβλήματα.
5. Νιώθω μεγαλύτερη σιγουριά όταν λύνω ασκήσεις που αφορούν την ενέργεια.

---

#### **ΜΕΡΟΣ Β: Ενδιαφέρον και εμπλοκή στη μαθησιακή διαδικασία (Κοινό και στις δύο ομάδες)**

Το μέρος αυτό διερευνά το επίπεδο ενδιαφέροντος και ενεργού συμμετοχής των μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας.

6. Το μάθημα της ενέργειας ήταν ενδιαφέρον.
7. Συμμετείχα ενεργά κατά τη διάρκεια του μαθήματος.
8. Ένιωσα ότι είχα ρόλο στη μαθησιακή διαδικασία.
9. Το μάθημα με βοήθησε να συνδέσω τη Φυσική με πραγματικά φαινόμενα.

10. Θα ήθελα μαθήματα Φυσικής να οργανώνονται με παρόμοιο τρόπο και στο μέλλον.

---

### **ΜΕΡΟΣ Γ: Στάσεις απέναντι στη διδασκαλία της Φυσικής (Κοινό και στις δύο ομάδες)**

Οι ερωτήσεις αυτές αποτυπώνουν γενικότερες στάσεις των μαθητών απέναντι στη διδασκαλία της Φυσικής.

11. Η διδασκαλία με βοήθησε να κατανοήσω καλύτερα τη Φυσική.
  12. Ο τρόπος διδασκαλίας με ενθάρρυνε να σκεφτώ και όχι απλώς να απομνημονεύσω.
  13. Ένωσα άνετα να εκφράσω απορίες ή σκέψεις κατά τη διάρκεια του μαθήματος.
- 

### **ΜΕΡΟΣ Δ: Διδακτική προσέγγιση με χρήση προσομοιώσεων PhET**

#### **(ΜΟΝΟ για την πειραματική ομάδα)**

Το μέρος αυτό απευθύνεται αποκλειστικά στους μαθητές που διδάχθηκαν με τη χρήση προσομοιώσεων PhET.

14. Οι προσομοιώσεις PhET με βοήθησαν να κατανοήσω καλύτερα τη διατήρηση της μηχανικής ενέργειας.
  15. Η οπτικοποίηση της κινητικής και δυναμικής ενέργειας με βοήθησε να καταλάβω τι συμβαίνει στο σύστημα.
  16. Η δυνατότητα να αλλάζω παραμέτρους στις προσομοιώσεις με βοήθησε να ελέγξω τις υποθέσεις μου.
  17. Οι προσομοιώσεις έκαναν το μάθημα πιο κατανοητό και ενδιαφέρον.
- 

### **ΜΕΡΟΣ Ε: Ανοιχτή ερώτηση (Προαιρετική – και για τις δύο ομάδες)**

18. Τι σας βοήθησε περισσότερο (ή λιγότερο) στη διδασκαλία της ενέργειας; Μπορείτε να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.