



Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας  
Ειδίκευση καθηγητών φυσικών επιστημών

Διπλωματική Εργασία

**«ΜΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ  
ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ – ΘΕΡ-  
ΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ  
ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ»**

Αρσινόη-Μαρία Μπαλωμένου

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δρ. Κωνσταντίνα Στεφανίδου

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2024

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2024

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.

Διπλωματική Εργασία

«ΜΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ  
ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ – ΘΕΡΜΟ-  
ΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΩΝ  
ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ»

Αρσινόη-Μαρία Μπαλωμένου

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα:

Κωνσταντίνα Στεφανίδου

ΕΔΙΠ, ΠΤΔΕ, ΕΚΠΑ

Συν-Επιβλέπων Καθηγητης:

Σκορδούλης Κωνσταντίνος

«Ιδιότητα & Ίδρυμα Υπαγωγής»

## Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της διδασκαλίας της φυσικής στο γυμνάσιο με τη χρήση του μοντέλου των τριών διαστάσεων. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στη διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, η οποία αποτελεί σήμερα τη βασική στρατηγική διδασκαλίας του νέου Αναλυτικού Προγράμματος Σπουδών του Γυμνασίου και στη συνέχεια παρουσιάζεται το μοντέλο των τριών διαστάσεων με εκτενή αναφορά σε καθένα από τις τρεις διαστάσεις του (διάσταση των επιστημονικών πρακτικών, διάσταση των διεπιστημονικών ερευνών και διάσταση των βασικών θεωρητικών εννοιών) και το πλαίσιο NGSS που αναλύει το μοντέλο υπό τη μορφή «εκπαιδευτικού υλικού» σε κάθε επιστημονικό πεδίο.

Ακολουθεί η παρουσίαση των διδακτικών στόχων της φυσικής της Α' Γυμνασίου και συγκεκριμένα των κεφαλαίων της ενέργειας και της θερμότητας, σύμφωνα με το νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών και προτείνεται η διδασκαλία τους με τη χρήση του μοντέλου των τριών διαστάσεων, υπό τη μορφή ολοκληρωμένων σημειώσεων θεωρίας και δραστηριοτήτων.

**Λέξεις κλειδιά:** Διδασκαλία φυσικής, ενέργεια, θερμότητα, μοντέλο τριών διαστάσεων, πλαίσιο NGSS.

## Abstract

This paper deals with the teaching of physics in high school using the three-dimensional model. First, a reference is made to the investigative method of teaching natural sciences,

which is currently the basic teaching strategy of the new High School Analytical Curriculum, and then the model of the three dimensions is presented with extensive reference to each of its three dimensions (dimension of scientific practices, dimension of interdisciplinary research and dimension of basic theoretical concepts) and the NGSS framework that analyzes the model in the form of "educational material" in each scientific field.

The following is the presentation of the teaching objectives of 1st High School physics and specifically the chapters on energy and heat, according to the new Analytical Curriculum and it is proposed to teach them using the three-dimensional model, in the form comprehensive notes of theory and activities.

**Key-words:** Teaching Physics, Energy, Heat, Three Dimensional Model, NGSS framework.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract .....	3
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	7
1.1. Το ερευνητικό πρόβλημα και η σημασία του.....	8
1.2. Η βασική ερευνητική υπόθεση.....	11
Κεφάλαιο 2: Η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας φυσικών επιστημών .....	12
2.1. Γενικά.....	12
2.2. Οι αρχές της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας .....	14
2.2.1. Η σημασία της απευθείας εμπειρίας .....	15
2.2.2. Η σημασία της κατανόησης του προβλήματος .....	16
2.2.3. Η σημασία της παρατήρησης και της διάκρισης του ερευνητικού στόχου.....	16
2.2.4. Η εκμάθηση των φυσικών επιστημών ως διαδικασία επικοινωνίας και διαλόγου και αποτέλεσμα συλλογικής προσπάθειας.....	17
2.2.5. Η σημασία της χρήσης των δευτερογενών πηγών .....	17
2.3. Τα είδη της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας .....	18
2.4. Οι φάσεις της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας.....	19
2.5. Η θέση της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας στο νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της φυσικής του Γυμνασίου.....	22
Κεφάλαιο 3: Το μοντέλο των τριών διαστάσεων.....	25
3.1. Γενικά.....	25
3.2. Οι διαστάσεις .....	28
3.2.1. Η διάσταση των επιστημονικών πρακτικών και πρακτικών της μηχανικής.....	28
3.2.2. Η διάσταση των διεπιστημονικών εννοιών.....	32
3.3.1.3. Η διάσταση των βασικών εννοιών των φυσικών επιστημών.....	37
3.3. Το πλαίσιο των Next Generation Science Standards (NGSS) .....	38

Κεφάλαιο 4: Διδακτικοί στόχοι της Φυσικής του Γυμνασίου .....	43
4.1. Αναλυτικό πρόγραμμα φυσικής του Γυμνασίου .....	43
4.2. Διδακτέα ύλη της φυσικής στην Α' Γυμνασίου .....	49
4.3. Διδακτικοί στόχοι στα κεφάλαια της ενέργειας και της θερμότητας - θερμοκρασίας σύμφωνα με το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων .....	54
Κεφάλαιο 5: Διδασκαλία των κεφαλαίων της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας τη Φυσικής της Α' Γυμνασίου σύμφωνα με το μοντέλο των τριών διαστάσεων .....	59
5.1. Διάσταση επιστημονικών πρακτικών.....	59
5.1.1. Σχεδιασμός και διεξαγωγή ερευνών.....	59
5.1.2. Ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων.....	61
5.1.3. Ανάπτυξη και χρήση μοντέλων.....	61
5.1.4. Συμμετοχή σε επιχειρηματολογία που προκύπτει από τα εμπειρικά δεδομένα	62
5.1.4 Κατασκευή επεξηγήσεων και σχεδιασμός λύσεων .....	62
5.2. Διάσταση διεπιστημονικών εννοιών .....	64
5.2.1. Κλίμακα, αναλογία και ποσότητα .....	64
5.2.2. Συστήματα και μοντέλα συστημάτων .....	64
5.2.3. Ενέργεια και ύλη .....	65
5.3. Διάσταση βασικών εννοιών .....	66
5.3.1. Ορισμοί της ενέργειας.....	67
5.3.2. Μορφές ενέργειας .....	67
5.3.3. Μεταφορά και διατήρηση της ενέργειας.....	70
5.3.4. Η Θερμότητα.....	72
5.3.5. Σχέση μεταξύ ενέργειας και δυνάμεων .....	75
5.3.6. Η ενέργεια στις χημικές διεργασίες και την καθημερινή ζωή .....	76
Συμπεράσματα .....	79
Βιβλιογραφία.....	80
Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία .....	80
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	81

## Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών με τη χρήση του διδακτικού μοντέλου των τριών διαστάσεων και με τη συνδρομή του πλαισίου των Next Generation Science Standards (NGSS). Συγκεκριμένα το θέμα εξειδικεύεται στη διδασκαλία της φυσικής στο Γυμνάσιο και ιδιαίτερα των κεφαλαίων της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας της Α' Γυμνασίου. Οι βασικοί στόχοι δηλαδή της εργασίας επικεντρώνονται στην αναγνώριση της συμβολής του συγκεκριμένου διδακτικού μοντέλου στη διδασκαλία της φυσικής και τη μελέτη της δυνατότητάς του να διευκολύνει τη μάθηση, την κατανόηση των βασικών θεωρητικών εννοιών της φυσικής, την επίλυση προβλημάτων, την εφαρμογή τους στην καθημερινή πρακτική και τη διασύνδεσή τους με άλλους επιστημονικούς τομείς. Με τον τρόπο αυτό η εργασία ευελπιστεί ότι θα συμβάλλει στην εξεύρεση και υλοποίηση βέλτιστων διδακτικών στρατηγικών στο μάθημα της φυσικής.

Αναπτύσσοντας τη δομή της εργασίας, θα πρέπει να αναφερθούν τα εξής:

Η εργασία χωρίζεται σε 6 συνολικά κεφάλαια, εν των οποίων το κεφάλαιο 1 είναι η εισαγωγή και περιλαμβάνει το ερευνητικό πρόβλημα και τη σημασία του και τη βασική ερευνητική υπόθεση.

Τα κεφάλαια 2 και 3 συναπαρτίζουν το θεωρητικό τμήμα της εργασίας και περιλαμβάνουν:

- Την παρουσίαση της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας, η οποία είναι και η προτεινόμενη στο νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της φυσικής του Γυμνασίου.
- Το διδακτικό πλαίσιο του μοντέλου των τριών διαστάσεων. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται και ειδική εκτενής αναφορά στο πλαίσιο των Next Generation Science Standards (NGSS), το οποίο παρέχει μεθόδους, οδηγίες και πρότυπα μαθήματα για την ύλη της φυσικής, δομημένα σύμφωνα με το μοντέλο των τριών διαστάσεων.

Στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσονται οι διδακτικοί στόχοι της φυσικής του Γυμνασίου και ιδιαίτερα του κεφαλαίου της θερμότητας της Α' Γυμνασίου, όπως περιγράφονται στο Νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών (ΑΠΣ) (Απόφαση Υφυπουργού Παιδείας & Θρησκευμάτων υπ' αριθ.8758/Δ2/25-1-2023 «Πρόγραμμα Σπουδών του μαθήματος της Φυσικής των Α',



Β' και Γ' τάξεων Γυμνασίου», ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023), αλλά και όπως καθορίζονται από το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται το σχέδιο διδασκαλίας των κεφαλαίων της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας της Α' Γυμνασίου σύμφωνα με το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων και τις αντίστοιχες προτάσεις των NGSS και παρουσιάζονται τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Επίσης, γίνεται αναφορά στη διασύνδεση των διδακτικών στόχων του Ελληνικού ΑΠΣ με το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων και καταδεικνύεται η συμβολή του στην επίτευξη των διδακτικών αυτών στόχων.

Τέλος, στο κεφάλαιο 6 περιλαμβάνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και μελέτη.

### **1.1. Το ερευνητικό πρόβλημα και η σημασία του**

Με τον όρο διδακτική των φυσικών επιστημών εννοούμε το επιστημονικό πεδίο το οποίο έχει ως πρωταρχικό στόχο τη βελτίωση και την αναβάθμιση της ποιότητας της παρεχόμενης εκπαίδευσης των φυσικών επιστημών όλων των βαθμίδων του τυπικού και άτυπου εκπαιδευτικού συστήματος και πραγματεύεται το θεωρητικό εννοιολογικό πλαίσιο, τις στρατηγικές και τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί ο στόχος αυτός. Η διδακτική της φυσικής περιλαμβάνει δηλαδή τη διερεύνηση και μελέτη των μεθόδων διδασκαλίας του γνωστικού αντικείμενου της φυσικής, μέσω των οποίων γίνεται εφικτός ο μετασχηματισμός της επιστημονικής γνώσης σε αντικείμενο διδασκαλίας, καθώς και η ερμηνεία των φυσικών φαινομένων, η κατανόηση των θεωρητικών εννοιών της επιστήμης της φυσικής και η πρακτική εφαρμογή τους από τους διδασκόμενους. Επίσης, περιλαμβάνει τη δημιουργία και ανάπτυξη των κατάλληλων διδακτικών διαδικασιών, εκπαιδευτικών προγραμμάτων και εκπαιδευτικού υλικού, μέσα από την υιοθέτηση της διεπιστημονικότητας και των επιτευγμάτων της ψυχολογίας, της κοινωνιολογίας και της παιδαγωγικής (Καραπαναγιώτη, 2014; Lakatos, 1986).

Μέσα από τη διδασκαλία της φυσικής ο εκπαιδευτικός καλείται να διεγείρει το επιστημονικό ενδιαφέρον των διδασκόμενων και να απαντήσει σε διαχρονικά και θεμελιώδη ερωτήματα που αφορούν στη γνώση του κόσμου που μας περιβάλλει, την ανάπτυξη της κριτικής σκέψης και την επιλογή και εγκυρότητα των διαδικασιών μέσω των οποίων μεταλαμπαδεύεται η σχετική γνώση. Επομένως, ο ρόλος του εκπαιδευτικού καθίσταται καθοριστικός και γι' αυτό η μελέτη της διδακτικής μεθοδολογίας συνιστά το υπόβαθρο για τη διαμόρφωση

επιστημόνων που θα να διδάξουν την επιστήμη της φυσικής στις επόμενες γενιές, διερευνώντας παράλληλα τη σχέση μεταξύ της επιστημονικής και παιδαγωγικής επάρκειας με την αποτελεσματική διδασκαλία Βλάχος, 2004; Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021).

Τα σημαντικότερα και πιο συνηθισμένα εκπαιδευτικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τη διδασκαλία της φυσικής είναι τα εξής:

- Το παραδοσιακό δασκαλοκεντρικό εκπαιδευτικό μοντέλο στο οποίο ο καθηγητής παρουσιάζει το μάθημα, οι μαθητές τον ακούν και στη συνέχεια διατυπώνουν ερωτήσεις και απορίες, οι οποίες απαντώνται από τον καθηγητή (Κόκκοτας, 2020).
- Το ανακαλυπτικό εκπαιδευτικό μοντέλο, το οποίο είναι κατά βάση μαθητοκεντρικό και δίνει έμφαση κυρίως στις διαδικασίες της μάθησης και την εξοικείωση των μαθητών με την επιστημονική έρευνα και σκέψη και ο ρόλος του εκπαιδευτικού έγκειται κυρίως στην υπόδειξη των κατευθύνσεων της μάθησης (Κόκκοτας, 2020).
- Το εποικοδομητικό μοντέλο, το οποίο βασίζεται στην παραδοχή ότι οι μαθητές διαθέτουν μια προϋπάρχουσα γνώση που αποτυπώνεται στις ερμηνείες που δίνουν οι ίδιοι στα φυσικά φαινόμενα και ο εκπαιδευτικός αντιμετωπίζει τις ερμηνείες αυτές ως εναλλακτικές εκδοχές και καλείται να κατευθύνει τη νοητική διαδικασία των μαθητών, ώστε να ανοικοδομήσουν τις απόψεις τους και να τις προσαρμόσουν στα επιστημονικά δεδομένα, μέσω μιας διδασκαλίας που ως επίκεντρο τον μαθητή και όχι το αντικείμενο της διδασκαλίας (Bishop & Verleger, 2013; Borthick & Jones, 2000; Driver et al., 2000).
- Το μοντέλο των κοινωνικο-πολιτισμικών προσεγγίσεων που αντιμετωπίζει τη γνώση με αναθεωρητική διάθεση και θεωρεί πως μεταβάλλεται ανάλογα με το κοινωνικο-ιστορικό πλαίσιο κάθε περιόδου, αποκτώντας διαφορετική μορφή που προσαρμόζεται με την αντίστοιχη κουλτούρα και τον σκοπό της χρήσης της. Στο πλαίσιο αυτό η διδασκαλία των φυσικών επιστημών συνίσταται στη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων σε προκαθορισμένες κοινωνικές πρακτικές (Vygotsky, 1978).

Οι σύγχρονες εκπαιδευτικές αντιλήψεις αναφορικά με τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών προκρίνουν διδακτικές στρατηγικές όπως αυτές της διερευνητικής διδασκαλίας και της διδασκαλίας μέσω του μοντέλου των τριών διαστάσεων. Αναλυτικά για τις διδακτικές αυτές στρατηγικές θα πρέπει να αναφερθούν τα εξής:

- Η διερευνητική προσέγγιση στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών συνιστά ένα ιδιαίτερα δημοφιλές μαθητοκεντρικό μοντέλο που σταδιακά αποκτά βαρύνουσα σημασία στα Αναλυτικά Σχολικά Προγράμματα των φυσικών επιστημών και βασίζεται στις εκπαιδευτικές θεωρίες της ανακαλυπτικής μάθησης, αλλά και της εποικοδομητικής, αφού δίνει βαρύτητα στις προϋπάρχουσες ιδέες των μαθητών, τους οποίους καλεί σε αναστοχασμό και αναδόμηση της σκέψης τους, ώστε με τη βοήθεια του εκπαιδευτικού να κατακτήσουν μόνοι τους τη γνώση μέσω της έρευνας. Πρόκειται για μια διδακτική μέθοδο στην οποία η γνώση κατακτιέται διά μέσου της αλληλεπίδρασης του μαθητή με τον κόσμο γύρω του, τον οποίο καλείται να ανακαλύψει εκ νέου υπό το πρίσμα της επιστημονικής σκέψης η οποία δομείται με τη χρήση συλλογής δεδομένων, αποδεικτικών διαδικασιών και ανάπτυξης της κριτικής σκέψης (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021; Baroudi and Helder 2019; Harlen 2012).
- Υποκατηγορία της διερευνητικής διδασκαλίας αποτελεί η μέθοδος του σχεδίου εργασίας (project). Πρόκειται για μια ανατροφοδοτούμενη διαδικασία, η οποία οδηγεί τους μαθητές στην εξοικείωση με την επιστημονική μεθοδολογία, την κατάκτηση της επιστημονικής γνώσης, αλλά και την καλλιέργεια της κρίσης και του αναστοχασμού τους μέσω της διαρκούς διερεύνησης νέων ερευνητικών προβλημάτων του ίδιου ή διαφορετικού επιστημονικού τομέα που ανακύπτουν και τη δημιουργία νέων σχεδίων εργασίας, που βασίζονται στα ήδη υλοποιούμενα (Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021).
- Το μοντέλο των τριών διαστάσεων αποτελεί μια προσέγγιση του επιστημονικού γραμματισμού η οποία αποσκοπεί στη συγκρότηση της μάθησης μέσω της διασύνδεσης των βασικών επιστημονικών εννοιών με τις διεπιστημονικές ή εγκάρσιες έρευνες και τις αντίστοιχες πρακτικές. Το μοντέλο αυτό σχετίζεται άμεσα με τη διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας, δεδομένου ότι εισάγει τους μαθητές στη διαδικασία της ερευνητικής διαδικασίας, δίνοντας έμφαση όχι μόνο στη γνώση κάθε μεμονωμένης επιστήμης, αλλά και στην διασύνδεση των επιστημονικών δεδομένων (Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021).

Από τα προαναφερόμενα καθίσταται σαφές ότι η μελέτη της επίδρασης των καινοτόμων διδακτικών πρακτικών και πλαισίων όπως είναι το μοντέλο των τριών διαστάσεων στην καλύτερη κατανόηση των εννοιών της φυσικής παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και μπορεί να προάγει τη διδακτική διαδικασία.

## **1.2. Η βασική ερευνητική υπόθεση**

Η εργασία επιχειρεί να καταδείξει το πώς το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων στο πλαίσιο της διερευνητικής διδασκαλίας των φυσικών επιστημών στην εκπαιδευτική διαδικασία μπορεί να συμβάλει στη επίτευξη των διδακτικών στόχων του Νέου Αναλυτικού Προγράμματος Σπουδών της Α' Γυμνασίου (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023) και συγκεκριμένα των κεφαλαίων της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας.

## **Κεφάλαιο 2: Η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας φυσικών επιστημών**

Στο τμήμα αυτό της εργασίας γίνεται μια αναφορά στην πιο γνωστή σύγχρονη διδακτική μέθοδο της φυσικής, την διερευνητική διδασκαλία, η οποία συνιστά σύμφωνα με το νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023) το προτεινόμενο μοντέλο για τη διδασκαλία της φυσικής. Θα περιγραφούν οι αρχές, τα είδη και οι φάσεις της μεθόδου και θα γίνει μια προσπάθεια να παρουσιαστεί η σημασία της στο νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών.

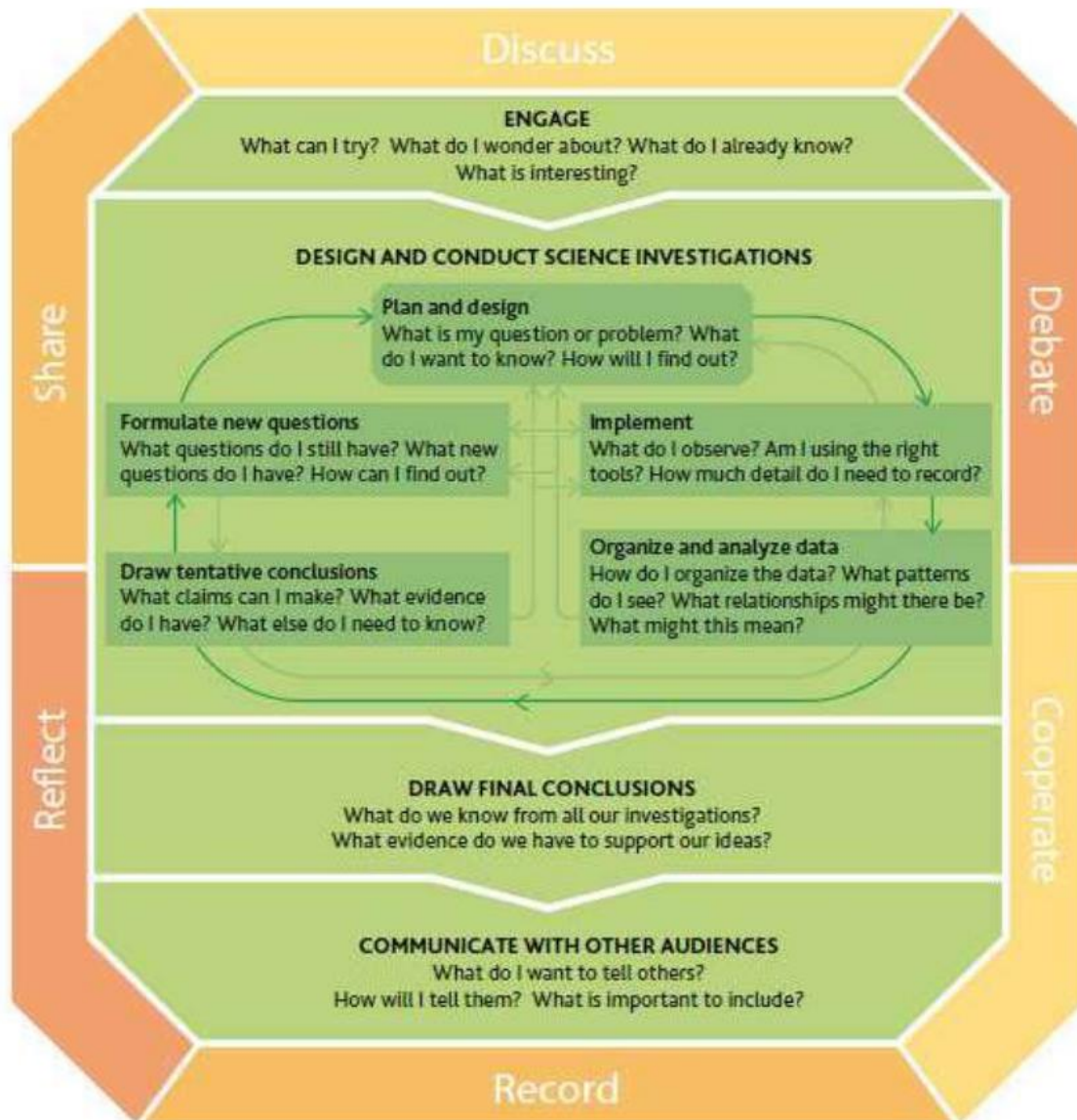
### **2.1. Γενικά**

Ο 20ός αιώνας υπήρξε μια εποχή σημαντικών αναθεωρήσεων και εξελίξεων στον τομέα της επιστήμης, της γνώσης και των θεωριών, μέσω πειραματικών διεργασιών και παρατηρήσεων, η οποία εκ των πραγμάτων συμπαρέσυρε και τη διδακτική προσέγγιση των φυσικών επιστημών. Πλέον η ανάγκη για την καλλιέργεια του επιστημονικού τρόπου σκέψης και της κριτικής ικανότητας των μαθητών έγινε επιτακτική, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν τη γνώση των επιστημονικών ιδεών ως μια δυναμική και εξελισσόμενη διαδικασία. Για τον λόγο αυτό καταβλήθηκε προσπάθεια για την υιοθέτηση ενός διδακτικού μοντέλου που θα οδηγούσε τους μαθητές να σκέφτονται με επιστημονικό τρόπο (Χαλκιά, 2012). Το μοντέλο αυτό είναι κυρίως η επονομαζόμενη διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, η οποία από το 2<sup>ο</sup> μισό του 20ού αιώνα και εντεύθεν προωθείται όλο και περισσότερο στα Αναλυτικά Σχολικά Προγράμματα (Pedaste et al, 2015).

Η διερευνητική μέθοδος είναι μια κατά βάση μαθητοκεντρική προσέγγιση που αντλεί από τη θεωρία του ανακαλυπτικού εκπαιδευτικού μοντέλου δίνοντας έμφαση στις διαδικασίες της μάθησης και τη σταδιακή ανακάλυψη της γνώσης από τους ίδιους τους μαθητές, αλλά και από τη θεωρία του εποικοδομητικού μοντέλου, αφού στηρίζεται στις ήδη υπάρχουσες αντιλήψεις των μαθητών για τα φυσικά φαινόμενα. Ως διδακτική διαδικασία δεν διαθέτει ένα αυστηρά καθορισμένο πλαίσιο εννοιών και πρακτικών, αλλά διαφοροποιείται ανάλογα με το επιμέρους γνωστικό αντικείμενο και εξελίσσεται διαρκώς (Χαλκιά, 2012). Σε γενικές γραμμές όμως ως εκπαιδευτική στρατηγική διαθέτει ένα ευρύ αλλά συγκεκριμένο φάσμα πρακτικών που ακολουθούνται για την οικοδόμηση της γνώσης και την ανάπτυξη γνωστι-

κών δεξιοτήτων, ενσωματώνοντας με δυναμικό τρόπο την παλιά γνώση στη νέα και ανακαλύπτοντας νέες σχέσεις μεταξύ των εννοιών από τους ίδιους τους μαθητές μέσω παρατηρήσεων, υποθέσεων και ελέγχου (Pedaste et al, 2015). Στο επίκεντρο της διαδικασίας βρίσκεται ο μαθητής, ο οποίος συμμετέχει ενεργά στην ανακάλυψη της γνώσης, σχεδιάζοντας ο ίδιος πειράματα, ερευνώντας τις σχέσεις μεταξύ των εξαρτημένων και των ανεξάρτητων μεταβλητών και συνδυάζοντας στοιχεία τόσο από την παραγωγική, όσο και από την επαγωγική σκέψη (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021; Χαλκιά, 2012).

Η μέθοδος στηρίζεται στην κατανόηση από πλευράς εκπαιδευτικού του τρόπου με τον οποίο επιτυγχάνεται η μάθηση των μαθητών, σε συνδυασμό με τη φύση της επιστήμης και το βασικό διδακτικό περιεχόμενο που πρέπει να κατακτήσουν σε κάθε τάξη. Επίσης, πρεσβεύει πως κυρίαρχος εκπαιδευτικός στόχος δεν είναι η εκμάθηση και αναπαραγωγή των πληροφοριών που δέχονται οι μαθητές, αλλά η διασφάλιση της ουσιαστικής κατανόησης των όσων διδάσκονται και η καλλιέργεια ιδεών και εννοιών. Γι' αυτό και το βασικό κίνητρο δεν είναι η επιβράβευση μέσω της βαθμολογίας, αλλά η ικανοποίηση που λαμβάνουν από την κατάκτηση της πραγματικής γνώσης (Pedaste et al, 2015). Η διέγερση του ενδιαφέροντος των μαθητών για το μάθημα της φυσικής στηρίζεται κυρίως στην εγγενή περιέργειά τους και την επιθυμία τους ερμηνεύσουν και να νοηματοδοτήσουν τον κόσμο που τους περιβάλλει, αναζητώντας τις σχέσεις και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των φυσικών φαινομένων που παρατηρούν γύρω τους. Η κατανόηση αυτή έρχεται συνήθως ως αποτέλεσμα των εμπειριών τους και του σχετικού προβληματισμού τους σε σχέση με αυτές, ο οποίος μολονότι δεν διαθέτει συνήθως την απαιτούμενη επιστημονική ακρίβεια, αποτελεί το πρώτο βήμα για τη διατύπωση λογικών αντιλήψεων (Χαλκιά, 2012). Επομένως, ως θεμελιώδης αρχή της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας αναδεικνύεται η κατανόηση της φύσης της επιστήμης, η οποία συγκροτείται από ένα ευρύ πλαίσιο σταδίων που δεν ακολουθούν όμως μια γραμμική σειρά ή ακολουθία βημάτων, αλλά χαρακτηρίζονται από αναδρομές, αναστοχασμούς και αναθεωρήσεις, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια (NRC 2000; Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021). Το πλαίσιο της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής (NRC 2000):



Εικόνα 1: Το πλαίσιο της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας (Πηγή: Σδράλλης, 2013)

## 2.2. Οι αρχές της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας

Η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας διέπεται από ορισμένες βασικές αρχές που προκύπτουν από το σκεπτικό της και τις οποίες ο εκπαιδευτικός οφείλει να λαμβάνει υπόψη του κατά τη διδασκαλία. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί όμως ότι ένα μείζον πρόβλημα που ανακύπτει κατά τη διδασκαλία της φυσικής είναι το επίπεδο εμβάθυνσης στο επιστημονικό περιεχόμενο, ανάλογα με την ηλικία των μαθητών, τις γενικότερες προσλαμβάνουσες που έχουν ανάλογα με την περιοχή στην οποία ζουν και η ταξινόμηση του διδακτικού περιεχομένου στις διάφορες τάξεις. Με γνώμονα αυτό η μέθοδος αν και ακολουθεί κάποιες βασικές

αρχές, διαφοροποιείται ανάλογα και ο εκπαιδευτικός καλείται να προσαρμόσει το περιεχόμενο και το επίπεδο της επιστημονικής γνώσης στα ενδιαφέροντα και τις δεξιότητες των εκάστοτε μαθητών του, ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο μαθησιακό αποτέλεσμα.

Οι σημαντικότερες αρχές της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας είναι οι εξής (Σδράλλης, 2013):

### **2.2.1. Η σημασία της απευθείας εμπειρίας**

Σύμφωνα με την διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας η άμεση εμπειρία συνιστά τον πυρήνα της διδακτικής διαδικασίας. Οι μαθητές θα πρέπει πριν την έναρξη της διδασκαλίας να έχουν αποκτήσει μια εμπειρική σχέση με το διδακτικό αντικείμενο, ώστε αφενός μεν να διευκολυνθούν στην κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με αυτό, αφετέρου δε επειδή η απευθείας εμπειρία είναι ο τρόπος τον οποίο οι άνθρωποι χρησιμοποιούν συχνότερα για να αντιληφθούν τα φαινόμενα και τα αντικείμενα του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα διαφόρων ερευνών έχουν καταδείξει πως τα παιδιά προσέρχονται στο σχολείο έχοντας συνήθως αναπτύξει δικές τους ιδέες και αντιλήψεις αναφορικά με τον κόσμο γύρω τους, οι οποίες βασίζονται κατά κύριο λόγο στην προσωπική τους εμπειρία. Οι ιδέες αυτές, μολονότι συνήθως δεν συνάδουν με την επιστημονική ορθότητα, αποτελούν τη βάση της μύησής τους στην επιστημονική σκέψη, μέσω της προσπάθειας του εκπαιδευτικού να τις αναδομήσει και να τους διδάξει την επιστημονικά ορθή ερμηνεία των αντίστοιχων φαινομένων.

Δυστυχώς, ο παραδοσιακός δασκαλοκεντρικός τρόπος διδασκαλίας, όπου ο εκπαιδευτικός θεωρείται ως ο αποκλειστικός φορέας της επιστημονικής γνώσης και ο μαθητής αντιμετωπίζεται ως αποδέκτης της γνώσης αυτής, την οποία πρέπει να κατακτήσει μέσα από τη στείρα απομνημόνευση και την επανάληψη φαινομένων, γεγονότων, κανόνων και μεθοδολογίας δεν είναι ικανός να οδηγήσει τους μαθητές σε αναθεώρηση των εμπειρικών τους απόψεων. Η παράθεση θεωρητικών όρων και η επισήμανση του λάθους στη σκέψη τους οδηγούν τους μαθητές σε μια ελλιπή κατανόηση των επιστημονικών εννοιών κατανόηση μέσω της αναπαραγωγής, της εκμάθησης και της συστηματικής επανάληψης, με τρόπο που μπορεί να θεωρηθεί ως υιοθέτηση μαθησιακής συμπεριφοράς, αλλά σε καμία περίπτωση δεν τους εισάγει στον επιστημονικό γραμματισμό, ούτε τους βοηθά να κατανοήσουν σε βάθος τις έννοιες που διδάσκονται και να αποβάλλουν τις λανθασμένες αντιλήψεις τους (Κόκκοτας, 2020). Γι' αυτό η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας θεωρεί πως ο μόνος τρόπος να για μετουσιωθούν οι εμπειρικές αντιλήψεις των μαθητών σε επιστημονική ερμηνεία



είναι διαμέσου της προσωπικής τους συνειδητοποίησης για τα λάθη ή τις ελλείψεις των ιδεών τους και για την επίτευξή της απαιτείται η διατύπωση ερωτημάτων από τους ίδιους, η υποβολή τους σε θεωρητικό και πειραματικό έλεγχο και η εξαγωγή νέων συμπερασμάτων που εναρμονίζονται με τις επιστημονικές αρχές που διδάσκονται.

### **2.2.2. Η σημασία της κατανόησης του προβλήματος**

Η εις βάθος κατανόηση του προβλήματος ή του ερωτήματος για κάθε τομέα του διδακτικού περιεχομένου αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την επιστημονική έρευνα. Μόνο όταν ο μαθητής εμπλακεί ατομικά στην ερευνητική διαδικασία και αντιληφθεί πλήρως το πρόβλημα ή το ερώτημα πάνω στο οποίο καλείται να δώσει απαντήσεις μπορεί να οδηγηθεί στην ολοκληρωμένη μάθηση. Για να γίνει αυτό, η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας προτείνει την άμεση συμμετοχή των μαθητών στη διατύπωση των ερωτημάτων που αποτελούν το επίκεντρο του διδακτικού περιεχομένου, ώστε να εξοικειωθούν με αυτό και να αναζητήσουν τους καταλληλότερους τρόπους διεξαγωγής της έρευνας και τις αντίστοιχες λύσεις και απαντήσεις.

### **2.2.3. Η σημασία της παρατήρησης και της διάκρισης του ερευνητικού στόχου**

Στη διαδικασία της επιστημονικής διερεύνησης η παρατήρηση κι η διάκριση του ερευνητικού στόχου αποτελούν τις πλέον σημαντικές δεξιότητες που πρέπει να καλλιεργήσουν οι μαθητές. Αν και η ανάπτυξη δεξιοτήτων όπως η διατύπωση ερωτημάτων, η ικανότητα πρόβλεψης, ο ερευνητικός σχεδιασμός, η ανάλυση δεδομένων και η χρήση της επιχειρηματολογίας στην τεκμηρίωση των ισχυρισμών είναι εξίσου σημαντικές, χωρίς την παρατήρηση και την διάκριση του ερευνητικού στόχου δεν μπορούν να συμβάλουν αποτελεσματικά στην κατανόηση των επιστημονικών εννοιών. Γνωρίζουμε άλλωστε πως οι άνθρωποι όλων των ηλικιών έχουν την τάση να παρατηρούν τον κόσμο γύρω τους και πως η τάση αυτή αποτελεί και την αφετηρία για τον προβληματισμό και την επιστημονική έρευνα.

Επομένως είναι βασικό να μπορούν οι μαθητές να παρατηρούν επιμελώς και να αναγνωρίζουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φαινομένων που εξετάζουν σε κάθε στάδιο της διερευνητικής διαδικασίας και να διαχωρίζουν τα παραγόμενα στοιχεία και δεδομένα που σχετίζονται με το αντικείμενο του εξεταζόμενου προβλήματος από αυτά που είναι άσχετα με αυτό. Για τον λόγο αυτό σε πολλές περιπτώσεις, ανάλογα και με το ηλικιακό και γνωστικό

επίπεδο των μαθητών, ο εκπαιδευτικός μπορεί να καθοδηγεί ανάλογα τους μαθητές του, ώστε να διδαχθούν τους τρόπους της επιστημονικής παρατήρησης.

#### **2.2.4. Η εκμάθηση των φυσικών επιστημών ως διαδικασία επικοινωνίας και διαλόγου και αποτέλεσμα συλλογικής προσπάθειας**

Στη διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας η υλοποίηση δραστηριοτήτων και η ορθή κατανόηση των εννοιών είναι μια διαδικασία που προάγει τον συλλογικό συλλογισμό, τον διάλογο και την επικοινωνία τόσο μεταξύ εκπαιδευτικού και μαθητή, όσο και μεταξύ των μαθητών. Κατά τη διάρκεια της έρευνας οι μαθητές πρέπει να επικοινωνούν μεταξύ τους και να μοιράζονται τις προβλέψεις τους, το σκεπτικό τους, τα σχέδια που εκπονούν και τα συμπεράσματα στα οποία οδηγούνται. Η επικοινωνία αυτή είναι απαραίτητη για την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων, δεδομένου ότι μέσα από τη σύγκλιση πολλών και διαφορετικών απόψεων αναδεικνύονται οι ελλείψεις, τα λάθη και οι ασάφειες των μεμονωμένων απόψεων και προκύπτουν αρτιότερες επιστημονικά λύσεις. Επομένως, η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας εισάγει εκτός των άλλων τους μαθητές στις διαδικασίες των επιστημονικών συνεργασιών και του επιστημονικού διαλόγου.

Παράλληλα, μέσω της εκπαιδευτικής διαδικασίας αναδεικνύεται η σημασία της συνεργασίας και της συλλογικής προσπάθειας και οι μαθητές αντιλαμβάνονται πως ακόμη και στις περιπτώσεις των ατομικών ερευνών, η κοινοποίηση των αποτελεσμάτων στην ευρύτερη επιστημονική κοινότητα και η ανταλλαγή απόψεων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία τους. Για τον λόγο αυτό ο εκπαιδευτικός προτρέπει τους μαθητές να εργάζονται χωρισμένοι σε μικρές ομάδες με διακριτές αρμοδιότητες σε κάθε μέλος τους, να ανταλλάσσουν τις απόψεις, τους προβληματισμούς και τα ευρήματά τους και να βρίσκονται σε διαρκή επικοινωνία μεταξύ τους ως οργανωμένη ομάδα. Με τον τρόπο αυτό μαθαίνουν να εργάζονται συλλογικά και συνεργατικά, να υπερασπίζονται τις ιδέες τους, αλλά και να είναι πρόθυμοι να τις αναθεωρήσουν αν χρειαστεί και να αναζητούν νέες προσεγγίσεις στα ερευνητικά τους ερωτήματα.

#### **2.2.5. Η σημασία της χρήσης των δευτερογενών πηγών**

Η επιστημονική μεθοδολογία προϋποθέτει τη συχνή αναδρομή των ερευνητών σε έγκυρες δευτερογενείς πηγές. Επομένως, αν και στο επίκεντρο της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας βρίσκεται η πειραματική διαδικασία και η πρωτογενής έρευνα, δεν είναι δυνατόν να

ισχυριστεί κανείς πως η γνώση μπορεί να ανακαλυφθεί εκ του μηδενός. Αντιθέτως, κάθε εύρημα θα πρέπει να επιβεβαιώνεται από την διεθνή βιβλιογραφία και να ελέγχεται η εγκυρότητά του. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί πως ο τρόπος προσέγγισης των δευτερογενών πηγών στη διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας είναι διαφορετικός από αυτόν στις παραδοσιακές μεθόδους και είναι εναρμονισμένος με αυτόν των επιστημόνων. Η βιβλιογραφική αναζήτηση δεν αντικαθιστά την έρευνα και τα παραγόμενα από αυτήν αποτελέσματα, ούτε τα ευρήματά της δίνονται στους μαθητές χωρίς συζήτηση ως έννοιες που πρέπει να αποδεχτούν χωρίς αμφισβήτηση και ερμηνεία, αλλά λειτουργεί επιβεβαιωτικά για την έρευνα, δίνοντας στους μαθητές τη δυνατότητα να βρουν απαντήσεις σε ερωτήματα που δεν μπορεί να δώσει η έρευνά τους.

Γι' αυτό είναι απαραίτητο να μάθουν οι μαθητές να ανατρέχουν στις δευτερογενείς πηγές (βιβλία, διαδικτυο άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά, εισηγήσεις σε συνέδρια κ.λπ.), αλλά και να τις αντιμετωπίζουν με κριτική αντίληψη και να διακρίνουν ποιες από αυτές είναι αξιόπιστες και να τις συμβουλεύονται. Επίσης, βασικός στόχος της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας είναι να μάθουν οι μαθητές τον σωστό τρόπο αναζήτησης στοιχείων στις δευτερογενείς πηγές.

### **2.3. Τα είδη της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας**

Ανάλογα με τον βαθμό εμπλοκής του εκπαιδευτικού στη διεξαγωγή της έρευνας και τον βαθμό ελευθερίας που παρέχει στους μαθητές για την υλοποίηση της διαδικασίας η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας διακρίνεται σε τέσσερα είδη (Κουμαράς, 2017):

A) Η επιβεβαιωτική διερεύνηση. Πρόκειται για τη μορφή της μεθόδου κατά την οποία προηγείται η θεωρητική διδασκαλία και στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός δίνει στους μαθητές το ερευνητικό ερώτημα, αναλυτικές οδηγίες για τη διεξαγωγή της έρευνας και τα υλικά που θα χρειαστούν. Οι μαθητές γνωρίζουν δηλαδή εκ των προτέρων την απάντηση και χρησιμοποιείται για την επιβεβαίωση και ενίσχυση όσων έχουν ήδη διδαχθεί.

B) Η καθοδηγούμενη διερεύνηση. Πρόκειται για τη μορφή της μεθόδου κατά την οποία ο εκπαιδευτικός δίνει στους μαθητές το ερευνητικό ερώτημα, αναλυτικές οδηγίες για τη διεξαγωγή της έρευνας και τα υλικά που θα χρειαστούν και τους καλεί να ανακαλύψουν μόνοι τους την απάντηση, χωρίς να έχει προηγηθεί η θεωρητική διδασκαλία.

Γ) Η προσανατολισμένη διερεύνηση. Πρόκειται για τη μορφή της μεθόδου κατά την οποία ο εκπαιδευτικός δίνει στους μαθητές μόνο το ερευνητικό ερώτημα και τους καλεί να σχεδιάσουν οι ίδιοι τη διαδικασία που θα ακολουθήσουν για να ανακαλύψουν την απάντηση, επιλέγοντας μόνοι τους τη μέθοδο και τα υλικά που θα χρειαστούν.

Δ) Η ανοιχτή διερεύνηση. Πρόκειται για τη μορφή της μεθόδου κατά την οποία ο εκπαιδευτικός καλεί τους μαθητές να διαμορφώσουν τα ερευνητικά ερωτήματα που προκύπτουν από την παρατήρηση ενός φαινομένου και στη συνέχεια να σχεδιάσουν και να υλοποιήσουν την κατάλληλη έρευνα.

Είναι προφανές ότι η επιλογή του κατάλληλου είδους διερευνητικής μεθόδου εξαρτάται από τα προσδοκώμενα αποτελέσματα, από το είδος του γνωστικού αντικείμενου που θα μελετηθεί, από το γνωστικό και ηλικιακό επίπεδο των μαθητών και από το επίπεδο εξοικείωσής τους με τις διερευνητικές μεθόδους (Σκορδούλης & Στεφανίδου, 2021).

## **2.4. Οι φάσεις της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας**

Επειδή η διερευνητική διδακτική προσέγγιση είναι μια πολυσύνθετη και δυναμική διαδικασία, για τις φάσεις της και τον τρόπο εφαρμογής τους έχουν προταθεί από τη διεθνή εκπαιδευτική βιβλιογραφία πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησής τους. Οι φάσεις αυτές, ανάλογα με την προσέγγιση του κάθε ερευνητή, εμφανίζουν διαφορές τόσο ως προς τον αριθμό, όσο και ως προς το περιεχόμενό τους. Ενδεικτικά αναφέρονται οι προσεγγίσεις του Dewey το 1930 με έξι φάσεις, των Atkin και Karplus το 1960 με τρεις φάσεις, τα μοντέλα στα μοντέλα BSCS 5E και 7E με πέντε και επτά φάσεις αντίστοιχα, του National Research Council (2000) με πέντε φάσεις και των Pedaste et al (2015) με πέντε φάσεις και εννέα υποφάσεις. Στη ελληνική βιβλιογραφία σημαντικές είναι οι προσεγγίσεις της Χαλκιά (2012) με τρεις φάσεις και έντεκα υποφάσεις και των Σκορδούλη & Στεφανίδου (2021), η οποία στηρίζεται στο National Research Council (2000) με πέντε φάσεις, στην οποία θα γίνει και εκτενέστερη αναφορά.

Σύμφωνα λοιπόν με τους Σκορδούλη & Στεφανίδου (2021) η διερευνητική μέθοδος διδασκαλίας αποτελείται από πέντε φάσεις, μερικές από τις οποίες διαχωρίζονται και σε επιμέρους υποφάσεις και στάδια. Δεδομένου ότι η διαδικασία της μεθόδου αυτής δεν είναι άκαμπτη, ούτε υπάρχουν καθορισμένα όρια διαχωρισμού των φάσεων και των βημάτων, δίνεται η δυνατότητα στον εκπαιδευτικό να ανατροφοδοτεί συνεχώς τη γνώση των μαθητών και να

διακόπτει τη ροή όταν το κρίνει απαραίτητο για να πραγματοποιήσει αναδρομές στις προηγούμενες φάσεις, ενθαρρύνοντας την αναβάθμιση της κριτικής τους ικανότητας, προάγοντας τις γνωστικές τους δεξιότητες και αναπροσαρμόζοντας το σημασιολογικό πλαίσιο ανάλογα με τα νέα δεδομένα που προκύπτουν κατά τη διδασκαλία (NRC 2000; Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021).

Αναλυτικά, οι φάσεις της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας κατά τους Σκορδούλη & Στεφανίδου (2021) έχουν ως εξής:

A) Η φάση της εμπλοκής. Πρόκειται για την εναρκτήρια φάση της διδασκαλίας, όπου ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει στους μαθητές το θέμα που πρόκειται να διδάξει και εκείνοι να μελετήσουν. Η φάση αυτή έχει βαρύνουσα σημασία τόσο για τον διδάσκοντα, αφού καλείται να προσανατολίσει τους μαθητές στο ερευνητικό ερώτημα που τίθεται. Ο τρόπος με τον οποίο θα διατυπώσει το ερώτημα είναι κομβικής σημασίας για την εξέλιξη της διαδικασίας, γιατί πρέπει να είναι τέτοιος που θα κεντρίσει το ενδιαφέρον των μαθητών και θα τους κρατήσει προσηλωμένους στη διδασκαλία. Συνήθως η διατύπωση των ερευνητικών ερωτημάτων εισάγεται με τη μορφή «πώς» και «γιατί» και μολονότι ξεκινά συνήθως από τον εκπαιδευτικό, σε ορισμένες εκδοχές της μεθόδου μπορεί να γίνεται και από τους ίδιους τους μαθητές ή να έχει ως αφορμή ένα γεγονός, ένα φαινόμενο ή μια εικόνα. Σε κάθε περίπτωση πάντως το ερευνητικό ερώτημα πρέπει να διατυπώνεται ευκρινώς και με σαφήνεια, αποφεύγοντας τις γενικότητες και τις πολύπλοκες προσεγγίσεις και οδηγώντας τους μαθητές να αναζητούν απαντήσεις με γνώμονα την επιστημονική γνώση και τις κατάλληλες για το γνωστικό και ηλικιακό τους επίπεδο διαδικασίες. Παράδειγμα επιτυχημένου ερωτήματος για μαθητές του Γυμνασίου στη φυσική είναι «Γιατί έχουμε αίσθημα πόνου στα αυτιά όταν ανεβαίνουμε σε μεγάλο ύψος στην ατμόσφαιρα ή όταν καταδυόμαστε σε μεγάλο βάθος στη θάλασσα;» ή «Πώς μπορούμε να προσδιορίσουμε το είδος, τη θέση και το μέγεθος ενός ειδώλου;».

B) Η φάση του πειραματισμού και της διατύπωσης των υποθέσεων. Πρόκειται για μια πολύ σημαντική φάση, η οποία εκτός των άλλων εισάγει τους μαθητές στο επίκεντρο της επιστημονικής σκέψης και διαδικασίας, οδηγώντας τους να εστιάζουν στα εμπειρικά και πειραματικά δεδομένα, στοιχείο που συνιστά θεμελιώδη πρακτική της επιστημονικής έρευνας προκειμένου να διατυπωθούν και να ερμηνευτούν οι θεωρίες και οι νόμοι των φυσικών επιστημών. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής οι μαθητές μαθαίνουν μέσα από την εκτέλεση

σχετικών με το ερευνητικό ερώτημα επαναλαμβανόμενων πειραματικών διεργασιών, μεταβάλλοντας κατά περίπτωση τις συνθήκες διεξαγωγής, συλλέγοντας δεδομένα και μετρήσεις, ελέγχοντας τα αποτελέσματα και συνάγοντας συμπεράσματα προκειμένου να διατυπώσουν αντίστοιχες επιστημονικές υποθέσεις. Παραδείγματα τέτοιων πειραμάτων είναι οι μετρήσεις αποστάσεων, χρόνου ή θερμοκρασίας κ.λπ. Η σπουδαιότητα της φάσης αυτής έγκειται και στο γεγονός ότι βοηθά τους μαθητές να διακρίνουν το ποιες μέθοδοι και ερμηνείες θεωρούνται επιστημονικά αποδεκτές και να τις διαχωρίζουν από τις διάφορες δοξασίες που πιθανόν να έχουν υπόψη τους. Ο βαθμός εμπλοκής και καθοδήγησης του εκπαιδευτικού στη διενέργεια των πειραμάτων και τον έλεγχο των υποθέσεων ποικίλει μεταξύ της πλήρους καθοδήγησης και της απόλυτης αυτονομίας των μαθητών ή του συνδυασμού τους και εξαρτάται από το είδος της διερευνητικής μεθόδου που έχει επιλέξει να υλοποιήσει ο εκπαιδευτικός.

Γ) Η φάση της επεξήγησης. Πρόκειται για τη φάση κατά την οποία οι μαθητές εισέρχονται στον πυρήνα της επιστημονικής έρευνας και μαθαίνουν να διατυπώνουν απόψεις σχετικά με την ερμηνεία των πειραματικών δεδομένων που συνέλλεξαν κατά τη διάρκεια της προηγούμενης φάσης και να προβαίνουν σε έλεγχο της ορθότητάς τους χρησιμοποιώντας την πειραματική επαλήθευση. Οι ερμηνείες αυτές πρέπει να μπορούν να υποβληθούν στην κριτική και τον έλεγχο, να στηρίζονται σε επιστημονικά αποδεκτές γνωστικές διαδικασίες όπως η ανάλυση, η ταξινόμηση, η λογική κ.λπ. και να οδηγούν στην παραγωγή νέας γνώσης στηριζόμενη στην ήδη υπάρχουσα και τον συνδυασμό μεταξύ τους. Η φάση αυτή βοηθά τους μαθητές να υπερβούν την ισχύουσα γνώση και να κατανοήσουν ένα φαινόμενο από διαφορετική οπτική γωνία προάγοντας τον στοχασμό τους και στηρίζεται στο γεγονός ότι η γνώση προάγεται ή μέσα από την εξέλιξη μέσα στο πλαίσιο ενός παραδείγματος ή μέσα από την αλλαγή του παραδείγματος.

Δ) Η φάση της επεξεργασίας και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Πρόκειται για τη φάση που περιλαμβάνει το στάδιο της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων των πειραματικών μετρήσεων και της διατύπωσης σχετικών επιστημονικών συμπερασμάτων. Η φάση υλοποιείται από τους μαθητές και τους βοηθά να κατανοήσουν το θέμα που διερεύνησαν και να αξιολογήσουν τις υποθέσεις που διατύπωσαν στην προηγούμενη φάση υπό το πρίσμα εναλλακτικών ερμηνειών. Η αξιολόγηση αυτή των υποθέσεων συντελείται με τον έλεγχο της ταύτισής τους με τα εμπειρικά αποτελέσματα και που συλλέχθηκαν, της συνέπειάς τους σύμφωνα με τη λογική, του βαθμού κάλυψης των ερευνητικών ερωτημάτων που τέθηκαν

στην αρχή και της διασύνδεσής τους με άλλες παρόμοιες ερμηνείες που επαληθεύουν τα πειραματικά δεδομένα. Επομένως, η σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων στα οποία κατέληξαν οι μαθητές με τα ερμηνείες που διατύπωσαν συνιστά σημαντική παράμετρο της φάσης αυτής. Επίσης, πολλές φορές οι μαθητές καλούνται να απορρίψουν ή να αναθεωρήσουν τις επεξηγήσεις που πρότειναν αρχικά μέσω μιας ανάδρομης διαδικασίας που οδηγεί στην επανάληψη προηγούμενων φάσεων και τον αναστοχασμό των ερμηνειών. Ο βασικός ρόλος του εκπαιδευτικού στη φάση αυτή συνίσταται στην καθοδήγησή του ώστε να διασφαλιστεί η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων των μαθητών, τα οποία πρέπει να εδράζονται στις τεκμηριωμένες επιστημονικές γνώσεις.

Ε) Η φάση της επικοινωνίας των αποτελεσμάτων. Πρόκειται για την τελευταία φάση τη μεθόδου. Οι μαθητές στη φάση αυτή διατυπώνουν με ενάργεια και επεξηγηματικότητα τα δεδομένα, τα αποτελέσματα, τις ερμηνείες και την ανασκόπησή τους, ώστε όλοι να μπορούν να επαναλάβουν την πειραματική διαδικασία και να προβούν με ασφάλεια στον έλεγχο, την επέκταση ή και τη διαφοροποίησή τους και να οδηγηθούν στα ίδια ή σε εναλλακτικά συμπεράσματα. Έτσι, ο εκπαιδευτικός μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν το αρχικό ερευνητικό ερώτημα και να απαντήσουν σε αυτό και κυρίως να τους μυήσει στην πεμπτούσια της επιστημονικής σκέψης και των επιστημονικών διαδικασιών.

## **2.5. Η θέση της διερευνητικής μεθόδου διδασκαλίας στο νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της φυσικής του Γυμνασίου**

Το νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών για τη φυσική του Γυμνασίου (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023) φιλοδοξεί να αναπτύξει τις ικανότητες (γνώσει, δεξιότητες και στάσεις) που θα πρέπει να έχει ο/η μαθητής/-τρια ως πολίτης του 21ου αιώνα. Γι' αυτό δίνει έμφαση στην κατανόηση των εννοιών και εφαρμογών μέσω της πειραματικής διαδικασίας, η οποία σχετίζεται με το ίδιο τον πυρήνα της επιστήμης της φυσικής, και της επιστημονικής – εκπαιδευτικής μεθοδολογίας με διερεύνηση. Η κατανόηση των θεωρητικών εννοιών δεν πρέπει να συνιστά μια αυτοματοποιημένη διαδικασία μαζικής επίλυσης μαθηματικών τύπων και σχέσεων, αλλά να αντιμετωπίζεται ως μια ακολουθία διαδοχικών λογικών βημάτων που απαιτούν σκέψη και ανάπτυξη κριτικής ικανότητας, καθώς και την ενεργό συμμετοχή των μαθητών στον πειραματισμό και τις εκπαιδευτικά και επιστημονικά ορθές διαδικασίες. Σκοπός του είναι «η μεταφορά και ο μετασχηματισμός των επιστημονικών θεωριών, των διαδικασιών

*και των εφαρμογών της Φυσικής στην εκπαιδευτική διαδικασία μέσω των αντίστοιχων μαθημάτων Φυσικής στις τρεις τάξεις του Γυμνασίου» (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023). Η μεταφορά αυτή και ο μετασχηματισμός του περιεχομένου της επιστήμης συναρτάται με το αναπτυξιακό και ηλικιακό επίπεδο των μαθητών/-τριών και τις ανάλογες δυνατότητές τους να κατανοήσουν τις έννοιες και να εξοικειωθούν με τις επιστημονικές διαδικασίες και στοχεύει στην κατανόηση σύνθετων και αφηρημένων εννοιών και μαθηματικών σχέσεων μεταξύ των φυσικών μεγεθών, τη λεπτομερή διερεύνηση των φαινομένων, την εμβάθυνση στη θεωρία με εμπλοκή σε δραστηριότητες πειραματισμού, τη γνωριμία με τη διαδικασία της επιστημονικής μεθόδου που θα συμβάλει στην ακαδημαϊκή τους εξέλιξη, αλλά και την προετοιμασία των μαθητών να ενταχθούν ομαλά στον εργασιακό και επαγγελματικό τους χώρο και τον κοινωνικό στίβο γενικότερα.*

Στη διαδικασία αυτή ο πειραματισμός δεν θεωρείται πλέον ως μια διαδικασία που ακολουθεί τη θεωρία, αλλά ανάγεται σε εκπαιδευτικό βασικό πυλώνα. Οι δε εφαρμογές της θεωρίας και η επίλυση των ασκήσεων δεν γίνονται σύμφωνα με συγκεκριμένα μεθοδολογικά μοτίβα, αλλά αποσκοπούν στην εμπέδωση των γνωσιακών αντικειμένων. Με τον τρόπο αυτό οι μαθητές διδάσκονται πώς «να ερευνούν, να αξιοποιούν τις γνώσεις τους για να παράγουν νέα γνώση και να λαμβάνουν αποφάσεις που βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα». Οι μαθητές εξασκούνται στην επιστημονική έρευνα, μαθαίνουν να θέτουν επιστημονικά ερωτήματα, να αξιολογούν τις πληροφορίες που προσλαμβάνουν, να παρατηρούν, να διατυπώνουν υποθέσεις με βάση την εμπειρία τους, να συνάγουν συμπεράσματα και να τα υποβάλλουν σε έλεγχο, να αναθεωρούν τις απόψεις τους όταν χρειάζεται και και πραγματοποιούν ανασκόπηση της εργασίας τους. Παράλληλα, η επιστήμη της φυσικής παύει πια να θεωρείται ένα μακρινό και απρόσιτο επιστημονικό πεδίο, αλλά συνιστά ένα μέσο κατανόησης του κόσμου και ταυτόχρονα συμβάλλει στο να αναπτύξουν οι μαθητές δεξιότητες και στάσεις ζωής που θα τους χρησιμεύσουν στο πλαίσιο της καθημερινής τους ζωής και θα τους καταστήσουν στο μέλλον ενεργούς και ορθολογικά σκεπτόμενους πολίτες που θα εφαρμόζουν στην καθημερινότητά τους τη λογική.

Σημαντική επιδίωξη του νέου Αναλυτικού Προγράμματος Σπουδών της φυσικής του Γυμνασίου είναι η σταδιακή διασύνδεση των φαινομένων με τις ερμηνείες τους με βάση τον μαθηματικό φορμαλισμό, αλλά και την κατανόηση πως οι μαθηματικές σχέσεις δεν είναι παρά το εργαλείο της διερεύνησης των εννοιών και των φαινομένων. Η διδασκαλία σχεδιά-



ζεται με τρόπο μαθητοκεντρικό που φέρνει τον μαθητή στο επίκεντρο της μαθησιακής διαδικασίας και αποσκοπεί στην ενεργητική συμμετοχή του. Τα θέματα παρουσιάζονται με τρόπο που να προκαλεί το ενδιαφέρον των μαθητών και καθιστά τη διδασκαλία ελκυστική γι' αυτούς. Έτσι επιτυγχάνεται η ισόρροπη ανάπτυξη των μαθητών και η υιοθέτηση από την πλευρά τους μιας θετικής στάσης απέναντι στην επιστήμη της φυσικής και τη διεξαγωγή επιστημονικών ερευνών. Επίσης, καλλιεργείται η ικανότητά τους να εργάζονται αυτόνομα και να αυτορρυθμίζουν τη μάθησή τους, αλλά και προάγονται οι κοινωνικές τους δεξιότητες, η συνεργατικότητα και ο αλληλοσεβασμός. Όλα τα παραπάνω στοιχεία παραπέμπουν στη διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας, η οποία προκρίνεται πλέον ως η καταλληλότερη.

Οι στόχοι του νέου Αναλυτικού Προγράμματος Σπουδών της φυσικής του Γυμνασίου είναι εναρμονισμένοι με τους στόχους της UNESCO για την Αειφόρο Ανάπτυξη, αλλά και τις δεξιότητες που πρέπει να έχουν οι άνθρωποι του 21ου αιώνα. Τέτοιου είδους δεξιότητες είναι:

- Η κριτική σκέψη.
- Η δημιουργικότητα.
- Η συνεργασία.
- Η επικοινωνία.
- Ο ψηφιακός γραμματισμός.
- Ο γραμματισμός των μέσων επικοινωνίας.
- Ο τεχνολογικός γραμματισμός.
- Η ευελιξία.
- Η ηγεσία.
- Η πρωτοβουλία.
- Η παραγωγικότητα.
- Οι κοινωνικές δεξιότητες και οι δεξιότητες που απαιτούνται για τη δημοκρατική συνύπαρξη και τα ανθρώπινα δικαιώματα.

## Κεφάλαιο 3: Το μοντέλο των τριών διαστάσεων

Το μοντέλο των τριών διαστάσεων αποτελεί μια καινοτόμο και σχετικά νέα διδακτική μέθοδο των φυσικών επιστημών και της μηχανικής. Το μοντέλο συνδέεται άρρηκτα με τη διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας, αφού εισάγει τους μαθητές στη διαδικασία της ερευνητικής διαδικασίας και τους καθιστά ικανούς όχι μόνο να αποκτήσουν γνώσεις πάνω σε συγκεκριμένους επιστημονικούς τομείς όπως η φυσική, αλλά και να συνδέσουν την αποκτηθείσα γνώση με άλλα γνωστικά αντικείμενα καλλιεργώντας τη διεπιστημονικότητα και τη διαθεματικότητα και παράλληλα να εντρυφήσουν στις διεργασίες της επιστημονικής έρευνας (Fick, 2018). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μέθοδο η μάθηση συναπαρτίζεται από τρεις διαστάσεις (N.R.C., 2012; Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021): Τη διάσταση των επιστημονικών πρακτικών και των πρακτικών της μηχανικής, τη διάσταση των διεπιστημονικών ή εγκαρσίων ερευνών και τη διάσταση των βασικών εννοιών.

### 3.1. Γενικά

Το μοντέλο των τριών διαστάσεων προέκυψε ως απόρροια του πλαισίου του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας των ΗΠΑ (NRC) στο οποίο περιγράφεται το όραμα του τι σημαίνει να είσαι ικανός στον τομέα της επιστήμης και στηρίζεται στη θεώρηση της επιστήμης τόσο ως ένα σώμα γνώσης όσο και ως μια διαδικασία οικοδόμησης μοντέλων και θεωριών βασισμένη σε τεκμήρια που επεκτείνουν, βελτιώνουν και αναθεωρούν συνεχώς τη γνώση αυτή. Οι φυσικές επιστήμες και η μηχανική συνιστούν σήμερα σημαντικές πτυχές του ανθρώπινου πολιτισμού και των επιτευγμάτων του και μπορούν να βελτιώσουν τη ζωή των ανθρώπων σε πολλούς τομείς. Η επιστήμη, η μηχανική και η τεχνολογία διαπερνούν κάθε έκφανση της σύγχρονης ζωής, όπως η ενασχόληση με τα κύρια ζητήματα δημόσιας πολιτικής του σήμερα, η λήψη τεκμηριωμένων καθημερινών αποφάσεων, η επιλογή εναλλακτικών ιατρικών θεραπειών, ο καθορισμός του τρόπου επένδυσης δημοσίων πόρων για επιλογές παροχής νερού κ.λπ. Αν και η εγγενής ομορφιά της επιστήμης και της διερεύνησης του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί ο κόσμος γύρω μας έχουν οδηγήσει στη συστηματική έρευνα εδώ και αιώνες, πολλές από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η σύγχρονη ανθρωπότητα απαιτούν νέες και εξειδικευμένες κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές λύσεις που σχετίζονται με τη γνώση της επιστήμης και μηχανικής. Υπό το πρίσμα αυτό, οι εκκλήσεις για βελτίωση της επιστημονικής εκπαίδευσης επικεντρώνονται τα τελευταία χρόνια στην

ανάγκη να δοθεί έμφαση στην κατάρτιση επιστημόνων και μηχανικών που θα ανταπεξέλθουν στις νέες αυτές προκλήσεις, αλλά και στην ανάγκη για μεγαλύτερη κατανόηση της επιστήμης και της μηχανικής. Η κατανόηση αυτή της επιστήμης ανοίγει νέους κόσμους για εξερεύνηση και προσφέρει ευκαιρίες για τον εμπλουτισμό της ζωής των ανθρώπων. Σε αυτό το πλαίσιο η εντρύφηση στην επιστήμη και τις πρακτικές της είναι σημαντική για όλους, ακόμη και για εκείνους που τελικά επιλέγουν σταδιοδρομία σε διαφορετικούς τομείς (NRC, 2012).

Το πλαίσιο αυτό του Εθνικού Συμβουλίου Έρευνας των ΗΠΑ έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει στην εκπαίδευση των θετικών επιστημών και της μηχανικής ενθαρρύνοντας την ενεργό συμμετοχή των μαθητών στις επιστημονικές και μηχανικές πρακτικές, την εφαρμογή τους σε εγκάρσιες και διεπιστημονικές έννοιες και την εμβάθυνση στην κατανόηση των βασικών επιστημονικών εννοιών που σχετίζονται με τους τομείς αυτούς. Οι μαθησιακές εμπειρίες που παρέχονται στους μαθητές σχετίζονται με θεμελιώδεις ερωτήσεις σχετικά με τον κόσμο και με το πώς οι επιστήμονες προσπαθούν μέσω της έρευνας να βρουν απαντήσεις στις ερωτήσεις αυτές, καθώς και με την υλοποίηση δικών τους επιστημονικών ερευνών και έργων μηχανικού σχεδιασμού. Έτσι θα μπορούν να αποκτήσουν επαρκή γνώση των πρακτικών, των εγκάρσιων εννοιών και των βασικών ιδεών της επιστήμης και της μηχανικής, να συμμετέχουν σε δημόσιες συζητήσεις για θέματα που σχετίζονται με την επιστήμη, αλλά και να αντιμετωπίζουν τις επιστημονικές πληροφορίες με κριτική σκέψη και να συνεχίσουν να μαθαίνουν για την επιστήμη καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους. Στόχος του πλαισίου είναι οι γνώσεις και τα ενδιαφέροντα που προκύπτουν από τη μελέτη και την ενασχόληση με τις πρακτικές της επιστήμης και της μηχανικής κατά τη διάρκεια της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης να βοηθήσουν τους μαθητές να δουν πώς η επιστήμη και η μηχανική είναι καθοριστικής σημασίας για την αντιμετώπιση των μεγάλων προκλήσεων της σύγχρονης κοινωνίας, όπως η παραγωγή επαρκούς ενέργειας, η πρόληψη και θεραπεία ασθενειών, η διατήρηση των αποθεμάτων καθαρού νερού και τροφίμων και η επίλυση των προβλημάτων της παγκόσμιας περιβαλλοντικής αλλαγής και κλιματικής κρίσης (NRC, 2012).

Οι βασικές αρχές του πλαισίου είναι οι εξής:

- Η διαπίστωση ότι τα παιδιά έχουν έντονη την επιθυμία για διερεύνηση για εκμάθηση των φυσικών επιστημών.
- Η εστίαση σε βασικές ιδέες και πρακτικές.
- Η πεποίθηση ότι η κατανόηση αναπτύσσεται με την πάροδο του χρόνου.

- Η πεποίθηση ότι η επιστήμη και η μηχανική απαιτούν γνώση και πρακτική.
- Η διασύνδεση της επιστημονικής γνώσης με τα ενδιαφέροντα και τις εμπειρίες των μαθητών.
- Η προαγωγή της ισότητας.

Με βάση τις κατευθυντήριες αυτές αρχές δημιουργήθηκε ένα πλαίσιο αποτελούμενο από τρεις διαστάσεις, το οποίο περιγράφει σε γενικές γραμμές τις γνώσεις και τις πρακτικές των θετικών επιστημών και της μηχανικής που πρέπει να κατακτήσουν όλοι οι μαθητές μέχρι το τέλος της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης:

- Η Διάσταση 1 περιγράφει επιστημονικές πρακτικές και πρακτικές της μηχανικής.
- Η Διάσταση 2 περιγράφει οριζόντιες διεπιστημονικές έννοιες, δηλαδή τις έννοιες που έχουν εφαρμογή σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους.
- Η Διάσταση 3 περιγράφει βασικές ιδέες των διαφόρων επιστημονικών κλάδων και τις σχέσεις μεταξύ της επιστήμης, της μηχανικής και της τεχνολογίας.

Οι τρεις διαστάσεις του πλαισίου αντιμετωπίζονται ως ένα ενιαίο σύνολο στα προγράμματα σπουδών, τη διδασκαλία και τις αξιολογήσεις. Όταν δηλαδή οι μαθητές διερευνούν συγκεκριμένες έννοιες από τη Διάσταση 3, θα πρέπει να το κάνουν συμμετέχοντας σε πρακτικές που διατυπώνονται στη Διάσταση 1 και να βοηθηθούν ώστε να πραγματοποιούν συνδέσεις με τις εγκάρσιες έννοιες της Διάστασης 2. Κατά τη μάθησή τους, οι μαθητές πρέπει να χρησιμοποιήσουν και τις τρεις διαστάσεις με ολοκληρωμένο τρόπο, προκειμένου να κατανοήσουν τα φαινόμενα και να οδηγηθούν στον σχεδιασμό επίλυσης προβλημάτων (Duncan & Cavera 2015). Το μοντέλο μετατοπίζει δηλαδή την εστίαση της επιστημονικής εκπαίδευσης από την απλή διδασκαλία επιστημονικών θεωριών στη βοήθεια των μαθητών να καταλάβουν μόνοι τους τα φαινόμενα και να σχεδιάσουν λύσεις σε προβλήματα. Αυτή η έμφαση στην κατανόηση αποτελεί μια νέα, προκλητική και συναρπαστική διδακτική προσέγγιση της επιστήμης. Οι τάξεις που ενσωματώνουν το μοντέλο των τριών διαστάσεων παρέχουν στους μαθητές τη δυνατότητα να κατασκευάζουν μοντέλα, να σχεδιάζουν έρευνες, να μοιράζονται ιδέες και να επιχειρηματολογούν χρησιμοποιώντας στοιχεία, τα οποία τους επιτρέπουν να καλλιεργήσουν σημαντικές δεξιότητες του 21ου αιώνα, όπως η επίλυση προβλημάτων, η κριτική σκέψη, η επικοινωνία, η συνεργασία, η αυτορρύθμιση και η διεπιστημονική προσέγγιση της γνώσης (Krajcik, 2015).

## 3.2. Οι διαστάσεις

Αναλυτικά για τις τρεις διαστάσεις του μοντέλου θα πρέπει να αναφερθούν τα εξής (Rodríguez, 2015; Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021):

### 3.2.1. Η διάσταση των επιστημονικών πρακτικών και πρακτικών της μηχανικής

Η διάσταση αυτή περιγράφει τις κύριες πρακτικές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες στην έρευνά τους και τη δημιουργία μοντέλων και θεωριών για τον κόσμο, καθώς και ένα βασικό σύνολο μηχανικών πρακτικών που χρησιμοποιούν οι μηχανικοί για τον σχεδιασμό και την κατασκευή συστημάτων. Η χρήση του όρου «πρακτικές» αντί ενός όρου όπως «δεξιότητες» αποσκοπεί στο να τονίσει ότι η ενασχόληση με την επιστημονική έρευνα απαιτεί όχι μόνο δεξιότητες αλλά και γνώσεις που είναι συγκεκριμένες για κάθε πρακτική. Όπως σε όλες τις προσεγγίσεις που βασίζονται στη διερευνητική διδασκαλία των φυσικών επιστημών, οι μαθητές προτρέπονται να ασχοληθούν οι ίδιοι με τις πρακτικές και όχι απλώς να μάθουν γι' αυτές μέσω της διδασκαλίας. Οι μαθητές δεν μπορούν να κατανοήσουν τις επιστημονικές πρακτικές, ούτε να εκτιμήσουν πλήρως τη φύση της ίδιας της επιστημονικής γνώσης, χωρίς να βιώσουν άμεσα αυτές τις πρακτικές μόνοι τους (NRC, 2012).

Πρόκειται δηλαδή για τη διασύνδεση των επιστημονικών γνώσεων με τα εμπειρικά τεκμήρια, η οποία συμβάλλει στην ουσιαστική κατανόηση των επιστημονικών εννοιών, διευκολύνοντας την περαιτέρω μελέτη τους. Η ενασχόληση με τις πρακτικές της επιστήμης βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν πώς αναπτύσσεται η επιστημονική γνώση, ενώ η άμεση συμμετοχή τους τους βοηθά να έρθουν σε επαφή με ένα ευρύ φάσμα προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση, τη μοντελοποίηση και την εξήγηση του κόσμου. Η ενασχόληση με τις πρακτικές της μηχανικής βοηθά επίσης τους μαθητές να κατανοήσουν επίσης και το έργο των μηχανικών, καθώς και τους δεσμούς μεταξύ της μηχανικής και της επιστήμης, αλλά και τις εγκάρσιες έννοιες και τις βασικές έννοιες και θεωρίες της επιστήμης και της μηχανικής. Επιπλέον, κάνει τις γνώσεις των μαθητών πιο ουσιαστικές και τις ενσωματώνει πιο βαθιά στην κοσμοθεωρία τους. Η διάσταση αυτή αποδεικνύεται καθοριστική στην διδασκαλία των επιστημών, δεδομένου ότι συμβάλλει στην αντιμετώπιση της επιστήμης ως σύνολο πρακτικών, την εξοικείωση με τις επιστημονικές μεθόδους και την αναζήτηση απαντήσεων στα ερευνητικά ερωτήματα μέσα από αυτές. Είναι επίσης η διάσταση που συνδέει

την επιστήμη με την καθημερινότητα, συνιστά την έναρξη της μελέτης των φυσικών επιστημών, βοηθά στην καλύτερη πρόσληψη της επιστήμης και κεντρίζει το ενδιαφέρον των μαθητών καταδεικνύοντάς τους ότι οι φυσικές επιστήμες δεν είναι κενό γράμμα, αλλά έχουν άμεση εφαρμογή στην επίλυση υπαρκτών πρακτικών προβλημάτων και συμβάλλουν στη βελτίωση του επιπέδου της ζωής μας. Επιπρόσθετα αίρει την άποψη ότι η επιστημονική πρακτική είναι μια μεμονωμένη και ξεχωριστή μέθοδος (Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021; Sadler et al., 2016). Σε πολλές περιπτώσεις, οι πρακτικές της επιστήμης και της μηχανικής είναι αρκετά παρόμοιες ώστε να μπορούν να συζητηθούν μαζί, ενώ σε άλλες περιπτώσεις εξετάζονται χωριστά. Στην παρούσα εργασία, αν και θα γίνει αναφορά στις πρακτικές της μηχανικής σε θεωρητικό επίπεδο, αυτές δεν αποτελούν αντικείμενο πραγμάτευσης, δεδομένου ότι απουσιάζουν από το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών της φυσικής του Γυμνασίου.

Τέτοιου είδους πρακτικές είναι οι εξής (NRC, 2012; Rodriguez, 2015; Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021):

α) Η διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων (για τον τομέα της επιστήμης) και ο καθορισμός των προβλημάτων (για τον τομέα της μηχανικής): Η επιστημονική έρευνα συνήθως ξεκινά από ένα ερώτημα ή μια απορία, ενώ στη μηχανική η έρευνα έχει ως αφετηρία μια ανάγκη ή ένα πρόβλημα που χρήζει επίλυσης. Η υποβολή ερωτήσεων είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης και ακόμη και για άτομα που δεν είναι επιστήμονες ή μηχανικοί, η ικανότητα να διατυπώνουν επιστημονικά ορθές ερωτήσεις αποτελεί στοιχείο επιστημονικού αλφαριθμητισμού. Η διδασκαλία της επιστήμης και της μηχανικής θα πρέπει επομένως να αναπτύσσει την ικανότητα των μαθητών να διατυπώνουν ερωτήματα που μπορούν να διερευνηθούν εμπειρικά. Οι μαθητές πρέπει επίσης να μάθουν να αναγνωρίζουν τη διάκριση μεταξύ των επιστημονικών ερωτήσεων και εκείνων που μπορούν να απαντηθούν μόνο σε άλλους τομείς της γνώσης ή της ανθρώπινης εμπειρίας.

β) Η ανάπτυξη και χρήση μοντέλων: Στην επιστήμη συχνά είναι απαραίτητη η κατασκευή και χρήση μιας μεγάλης ποικιλίας μοντέλων και προσομοιώσεων για να βοηθήσει στην ανάπτυξη εξηγήσεων σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα. Τα μοντέλα αυτά είναι νοητικά (για την πρόβλεψη και κατανόηση των εμπειριών) και εννοιολογικά (αναπαραστάσεις των φαινομένων για την καλύτερη οπτικοποίησή τους). Μέσω των μοντέλων οι επιστήμονες μπορούν να αναλύσουν καλύτερα τα φαινόμενα και ακόμη και να φανταστούν έναν κόσμο που δεν έχουν δει. Στη μηχανική τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις προσφέρουν τη δυνατότητα

ανάλυσης των συστημάτων και συμβάλλουν στον εντοπισμό των πλεονεκτημάτων, των περιορισμών και των ελαττωμάτων τους, αλλά και των πιθανών λύσεων στα προβλήματα που παρουσιάζουν. Η αξιολόγηση και βελτίωση των μοντέλων επιτυγχάνεται με τις επαναλήψεις των προβλέψεών τους και τη σύγκρισή τους με τα πραγματικά φαινόμενα.

γ) Ο προγραμματισμός και η υλοποίηση της έρευνας: Βασικός στόχος των φυσικών επιστημών είναι η συστηματική περιγραφή του κόσμου και η ανάπτυξη θεωριών και εξηγήσεων σχετικά με τη λειτουργία του. Μια κύρια πρακτική των επιστημόνων για την επίτευξη των στόχων αυτών είναι ο σχεδιασμός και η διεξαγωγή μιας συστηματικής έρευνας, η οποία προϋποθέτει τον αναλυτικό προσδιορισμό του αντικειμένου της καταγραφής και του καθορισμού των εξαρτημένων και των ανεξάρτητων μεταβλητών της έρευνας. Οι παρατηρήσεις και τα δεδομένα που συλλέγονται από τέτοιες εργασίες χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή υπάρχουσών θεωριών και εξηγήσεων ή για την αναθεώρηση και ανάπτυξη νέων. Στον τομέα της μηχανικής η έρευνα οδηγεί στη συλλογή των δεδομένων που είναι απαραίτητα για τον καθορισμό κριτηρίων ή παραμέτρων σχεδιασμού, για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας, της ανθεκτικότητας και της αποδοτικότητάς τους, καθώς και για τη δημιουργία νέων σχεδίων. Και εδώ ο προσδιορισμός των μεταβλητών και των δεδομένων είναι απαραίτητος. Σε όλες τις περιπτώσεις ο ερευνητής θα πρέπει να μεριμνά ώστε οι μετρήσεις των μεταβλητών να γίνονται με τη μέγιστη ακρίβεια και να μειώνεται η πιθανότητα του σφάλματος.

δ) Η ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων: Πρόκειται για την πρακτική που έπεται της διεξαγωγής της έρευνας και περιλαμβάνει την ανάλυση των δεδομένων που έχουν παραχθεί, ώστε να συναχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα. Για να γίνει αυτό απαιτείται η χρήση μαθηματικών και στατιστικών εργαλείων όπως η δημιουργία πινάκων, βάσεων δεδομένων, γραφικών παραστάσεων και στατιστικών αναλύσεων με τη βοήθεια προγραμμάτων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, αλλά και η σύγκρισή τους με τα αναφερόμενα στη διεθνή βιβλιογραφία. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται τα σημαντικά χαρακτηριστικά και τα μοτίβα που εμπεριέχουν τα δεδομένα της έρευνας. Στον τομέα της μηχανικής η ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων αποσκοπεί στη δοκιμή των σχεδίων και των ερευνών, επιτρέποντας τη σύγκριση διαφορετικών λύσεων και τον προσδιορισμό του βαθμού εκπλήρωσης συγκεκριμένων κριτηρίων σχεδιασμού. Όπως οι επιστήμονες, οι μηχανικοί χρησιμοποιούν για την ερμηνεία και την ανάλυση των δεδομένων τους τα μαθηματικά, τη στατιστική και την αναδρομή σε δευτερεύουσες πηγές.

ε) Η αξιοποίηση των μαθηματικών και της υπολογιστικής σκέψης: Όπως προαναφέρθηκε, τα μαθηματικά και οι υπολογισμοί συνιστούν θεμελιώδη εργαλεία για την αναπαράσταση των φυσικών μεταβλητών και των σχέσεων μεταξύ τους. Οι προσομοιώσεις, η στατιστική ανάλυση δεδομένων και η αναγνώριση, έκφραση και εφαρμογή ποσοτικών σχέσεων είναι πρακτικές με ευρεία χρήση στην επιστημονική έρευνα και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της. Οι μαθηματικές και υπολογιστικές προσεγγίσεις επιτρέπουν τόσο τις προβλέψεις της συμπεριφοράς των φυσικών συστημάτων, όσο και για τον έλεγχο των προβλέψεων αυτών, καθώς και για την αξιολόγηση της σημασίας των προτύπων ή των συσχετισμών. Στη μηχανική, οι μαθηματικές και υπολογιστικές αναπαραστάσεις καθιερωμένων σχέσεων και αρχών αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του σχεδιασμού και του ελέγχου των κατασκευών.

στ) Η κατασκευή επεξηγήσεων και ο σχεδιασμός λύσεων: Ο στόχος της επιστήμης είναι η διατύπωση θεωριών που μπορούν να παρέχουν επεξηγήσεις για τα χαρακτηριστικά και τη λειτουργία του κόσμου. Για να γίνει αποδεκτή μια θεωρία θα πρέπει να αποδειχθεί ότι πληροί ορισμένα κριτήρια και υπερτερεί έναντι άλλων εξηγήσεων. Οι επιστημονικές εξηγήσεις που αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση ή φαινόμενο είναι σαφείς εφαρμογές της θεωρίας, ίσως με ενδιάμεσο ένα μοντέλο βασισμένο στη θεωρία για το υπό μελέτη σύστημα. Ο στόχος για τους μαθητές είναι να διατυπώσουν λογικά συνεκτικές εξηγήσεις φαινομένων που ενσωματώνουν στοιχεία από τη θεωρία που έχουν διδαχθεί ή να κατασκευάσουν ένα μοντέλο που την αντιπροσωπεύει. Στη μηχανική ο σχεδιασμός αποτελεί μια συστηματική διαδικασία για την επίλυση προβλημάτων και βασίζεται σε επιστημονικές γνώσεις και μοντέλα του υλικού κόσμου. Κάθε προτεινόμενη λύση προκύπτει από μια διαδικασία εξισορρόπησης των ανταγωνιστικών κριτηρίων, των επιθυμητών λειτουργιών, της τεχνολογικής σκοπιμότητας, του κόστους, της ασφάλειας, της αισθητικής και της συμμόρφωσης με τις νομικές απαιτήσεις. Συνήθως δεν υπάρχει ενιαία καλύτερη λύση αλλά μάλλον μια σειρά λύσεων, από τις οποίες ο μηχανικός καλείται να επιλέξει την καταλληλότερη για τη δεδομένη περίπτωση.

ζ) Η συμμετοχή στην επιχειρηματολογία που προκύπτει από τα εμπειρικά δεδομένα: Στην επιστήμη, ο συλλογισμός και η επιχειρηματολογία είναι ουσιαστικής σημασίας για τον εντοπισμό των ισχυρών και των αδύναμων σημείων ενός συλλογισμού και για την εύρεση της καλύτερης εξήγησης για ένα φυσικό φαινόμενο. Οι μαθητές πρέπει να μάθουν να υπερασπίζονται τις εξηγήσεις τους, να διατυπώνουν απόψεις με βάση μια σταθερή βάση δεδομένων και να τις ελέγχουν υπό το πρίσμα των αποδεικτικών στοιχείων και των σχολίων που



προσφέρονται από άλλους και να συνεργάζονται μεταξύ τους για την αναζήτηση της καλύτερης εξήγησης για το φαινόμενο που ερευνάται. Στη μηχανική, η συλλογιστική και η επιχειρηματολογία είναι απαραίτητα για την εύρεση της καλύτερης δυνατής λύσης σε ένα πρόβλημα. Οι μηχανικοί συνεργάζονται με τους συναδέλφους τους σε όλη τη διαδικασία σχεδιασμού και ιδιαίτερα στην επιλογή της περισσότερο ενδεδειγμένης λύσης ανάμεσα σε μια σειρά ανταγωνιστικών προτάσεων. Οι μηχανικοί συγκρίνουν εναλλακτικές λύσεις, να διατυπώνουν στοιχεία με βάση δεδομένα δοκιμών, επιχειρηματολογούν βασιζόμενοι σε στοιχεία για να υπερασπιστούν τα συμπεράσματά τους, αξιολογούν κριτικά τις ιδέες των άλλων και ενίοτε αναθεωρούν τα σχέδιά τους προκειμένου να επιτύχουν την καλύτερη λύση στο εκάστοτε πρόβλημα.

η) Η λήψη, αξιολόγηση και επικοινωνία των πληροφοριών: Η κοινοποίηση των ευρημάτων και των συμπερασμάτων της επιστημονικής έρευνας στην ευρύτερη επιστημονική κοινότητα αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα αναγνώρισης και κατοχύρωσής τους, αλλά και προαγωγής της ίδιας της επιστήμης. Η κοινοποίηση αυτή πρέπει να γίνεται με ενάργεια και αξιοπιστία και με τη χρήση αποδεικτικών και επιβεβαιωτικών μέσων όπως οι πίνακες, τα διαγράμματα και οι εξισώσεις, αλλά και τη συμμετοχή σε εκτεταμένες συζητήσεις με άλλους επιστήμονες. Η επιστήμη στηρίζεται στην καταγραφή και δημοσίευση έγκυρων κειμένων, προκειμένου να αντλήσει από αυτά πληροφορίες, τις οποίες ενσωματώνει σε νέες έρευνες. Επίσης, και οι μηχανικοί δεν μπορούν να παράξουν νέες ή βελτιωμένες τεχνολογίες εάν τα σχέδια και οι προτάσεις τους δεν κοινοποιούνται προφορικά και γραπτά και με τη χρήση πινάκων, γραφημάτων, σχεδίων ή μοντέλων. Επιπλέον, όπως συμβαίνει με τους επιστήμονες, αντλούν πληροφορίες από προηγούμενες δημοσιεύσεις, τις οποίες και χρησιμοποιούν. Τόσο στη μηχανική όσο και στην επιστήμη, οι νέες τεχνολογίες συμβάλλουν στην επέκταση των δυνατοτήτων συνεργασίας και επικοινωνίας.

### **3.2.2. Η διάσταση των διεπιστημονικών εννοιών**

Οι διεπιστημονικές έρευνες γεφυρώνουν επιστημονικές θεωρίες διαφόρων τομέων τόσο της επιστήμης όσο και της μηχανικής. Οι εγκάρσιες αυτές έννοιες επιλέγονται για να παράσχουν στους μαθητές ένα οργανωτικό πλαίσιο για τη σύνδεση της γνώσης από διάφορους κλάδους σε μια συνεκτική και επιστημονικά βασισμένη άποψη του κόσμου. Η διάσταση αυτή συνιστά μια πολύ ενδιαφέρουσα συνιστώσα, επειδή παρέχει στους μαθητές μια ολιστική εικόνα της επιστήμης και τους παρακινεί να θέσουν σε ενεργοποίηση το σύνολο των γνώσεων που αποκτούν και να λειτουργήσουν με τρόπο συνθετικό και συνδυαστικό για να

αναδείξουν τη διεπιστημονική ισχύ των επιστημονικών εννοιών, αλλά και τη δυνατότητα κάθε επιμέρους επιστημονικού κλάδου να βρίσκει εφαρμογές σε άλλους κλάδους, παρεμφερείς ή και όχι. Αυτές οι έννοιες πρέπει να γίνουν κοινές και οικείες σε όλους τους κλάδους και τα επίπεδα της επιστημονικής γνώσης, καθώς η εμφάνισή τους σε πολλαπλά επιστημονικά πλαίσια, μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν μια σωρευτική και εύχρηστη κατανόηση της επιστήμης και της μηχανικής. Επομένως, ο σκοπός της ανάδειξής τους ως διάσταση του πλαισίου είναι να αναβαθμιστεί ο ρόλος τους στην ανάπτυξη προτύπων, προγραμμάτων σπουδών, διδασκαλίας και αξιολογήσεων.

Οι διεπιστημονικές έννοιες μπορούν να κατακτηθούν από τους μαθητές χωρίς προκαθορισμένη εκπαιδευτική καθοδήγηση, αν και θα πρέπει να υπογραμμιστεί πως η ικανότητά τους να τις αναγνωρίζουν και να τις αντιμετωπίζουν συναρτάται με την προηγούμενη εμπειρία και διδασκαλία τους. Η ερευνητική βάση για τη μάθηση και τη διδασκαλία των εγκάρσιων εννοιών είναι περιορισμένη. Για το λόγο αυτό, αντιμετωπίζονται συνήθως ως υποθέσεις που απαιτούν περαιτέρω εμπειρική διερεύνηση. Για την επιτυχία της μεθόδου απαιτείται η μελέτη συγκεκριμένων επιστημονικών εννοιών που λειτουργούν ως εγκάρσιες τομές μεταξύ των επιστημονικών κλάδων, με γνώμονα φυσικά και το γνωστικό και ηλικιακό επίπεδο των μαθητών. Έτσι, οι μαθητές κατορθώνουν να αποκτήσουν μια συνεκτική αντίληψη της επιστήμης και της εφαρμογής των αρχών της μιας σε πεδία μιας άλλης να (Fick, 2018; NRC, 2012; Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021).

Οι διεπιστημονικές έννοιες είναι επτά (Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021; NRC, 2012; Sadler et al., 2017):

α) Τα μοτίβα: Είναι περιγράμματα επαναλαμβανόμενων σχημάτων, δομών και γεγονότων που απεικονίζουν τις μεταξύ τους σχέσεις και αλληλεπιδράσεις και αποτελούν το πρώτο βήμα για την οργάνωση, την ταξινόμηση και την ανάλυση των προτύπων που αντιπροσωπεύουν, καθώς και την αναγνώριση των μεταβολών ανάλογα με την κλίμακα παρατήρησης και μελέτης. Μέσα από την παρατήρηση των μοτίβων και την ανάπτυξη μαθηματικών σχέσεων μεταξύ τους οι επιστήμονες οδηγούνται στη δημιουργία εξηγήσεων για τις ομοιότητες και τις διαφορές των προτύπων τους, ενώ οι μηχανικοί τα χρησιμοποιούν ως προσομοιώσεις για την ανάλυση και πρόβλεψη πραγματικών καταστάσεων. Σε εκπαιδευτικό επίπεδο τα μοτίβα εξοικειώνουν τους μαθητές με τις έννοιες που μελετούν και βελτιώνει την εκπαιδευτική διαδικασία δίνοντας έμφαση στην επιστημονική διερεύνηση.

β) Η σχέση αιτίου και αποτελέσματος: Η αναζήτηση των αιτιακών σχέσεων μεταξύ των φαινομένων συνιστά μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της μελέτης των φυσικών επιστημών, η οποία οδηγεί στην πρόβλεψη του αποτελέσματος μέσα από την κατανόηση των στοιχείων που προκαλούν ένα φαινόμενο. Παράλληλα, η παρατήρηση ανάλυση της κανονικότητας επαναλαμβανόμενων φαινομένων οδηγεί στη διατύπωση των μαθηματικών σχέσεων και νόμων που διέπουν τα φυσικά φαινόμενα, ακόμη και αν σε πολλές περιπτώσεις οι σχέσεις αιτιότητας μπορούν να εκφραστούν μόνο ως πιθανότητα. Τόσο στον τομέα της επιστήμης, όσο και στον τομέα της μηχανικής θεωρείται πως η αιτιακή βάση όλων των γνωστών δυνάμεων και φαινομένων στη φύση ή τα σχεδιασμένα συστήματα αποτελείται από μια σειρά συγκεκριμένων φυσικών αλληλεπιδράσεων, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα πως οι φυσικοί νόμοι είναι σταθεροί και ίδιοι σε όλες τις περιπτώσεις. Για τους μαθητές η μελέτη των σχέσεων αιτίου και αποτελέσματος είναι σημαντική γιατί τους ενθαρρύνει να δουν τα γεγονότα και τα φαινόμενα γύρω τους υπό το πρίσμα αυτό και τους βοηθά να κωδικοποιήσουν τις αιτιακές σχέσεις σε νόμους, με αποτέλεσμα να κατανοούν καλύτερα τα φαινόμενα, να διανοίγουν την έρευνά τους στη διεπιστημονικότητα, αλλά και να διαχωρίζουν τις επιστημονικές από τις μη επιστημονικές διατυπώσεις.

γ) Η κλίμακα, η αναλογία και η ποσότητα: Η έννοια αυτή αφορά στην ανάγκη της επιστήμης να αναγνωρίζει τη σημασία της ποικιλίας και της σχετικότητας των μεγεθών στα συστήματα και τις διαδικασίες. Η ανάγκη αυτή είναι εξίσου σημαντική και για την μηχανική, αφού δεν μπορεί να εκτελεστεί καμιά δομή χωρίς την αίσθηση της σημασίας της κλίμακας. Η ανθρώπινη παρατήρηση διακρίνει τρεις κύριες κλίμακες για τη μελέτη των φυσικών φαινομένων: τις μακροσκοπικές, αυτές δηλαδή που μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα, τις πολύ μικρές ή πολύ γρήγορες και τις πολύ μεγάλες ή πολύ αργές. Οι δύο τελευταίες δεν μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα, ενώ πρέπει να σημειωθεί ότι οι αλλαγές στις κλίμακες μεγέθους συνεπάγονται και αλλαγές στις χρονικές κλίμακες. Επίσης, σημασία για την αναγνώριση του μεγέθους έχει και η χρήση της αντίστοιχης μονάδας, καθώς και οι έννοιες του λόγου και της αναλογικότητας που βοηθούν τους μαθητές να κατανοήσουν μαθηματικά την αίσθηση της ποσότητας. Η αναγνώριση τέτοιων μαθηματικών σχέσεων μεταξύ διαφορετικών μεγεθών είναι ένα απαραίτητο για τη διαμόρφωση μαθηματικών μοντέλων που ερμηνεύουν τα επιστημονικά δεδομένα.

δ) Συστήματα και συστήματα μοντέλων: Με τον όρο συστήματα εννοούμε τα επιμέρους τμήματα που προκύπτουν από τη διαίρεση του ερευνητικού αντικειμένου και εμφανίζουν

εσωτερική συνάφεια και διαθέτουν σαφή όρια, συστατικά, πόρους ροή και ανατροφοδότηση (NRC, 1996). Κάθε σύστημα βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με άλλα (εξωτερικά) συστήματα, αλλά για τη μελέτη του μπορεί να απομονωθεί εννοιολογικά και να θεωρηθεί ως ενιαίο. Στην περίπτωση αυτή οι επιπτώσεις που δέχεται το σύστημα από το εξωτερικό περιβάλλον θεωρούνται ως εξωτερικές δυνάμεις ή ροές ύλης και ενέργειας. Επίσης, συνήθως τα τμήματα ενός συστήματος είναι αλληλοεξαρτώμενα και καθένα από αυτά υποστηρίζει τη λειτουργία των άλλων. Ωστόσο, οι ιδιότητες και η συμπεριφορά ολόκληρου του συστήματος μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές από εκείνες των επιμέρους τμημάτων του. Τα μοντέλα των συστημάτων είναι χρήσιμα εργαλεία για την κατανόησή τους και μπορούν να αναπαρασταθούν με λίστες, σχέδια, προσομοιώσεις σε ηλεκτρονικό υπολογιστή κ.λπ. Η μοντελοποίηση των συστημάτων και η μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους και με άλλα συστήματα είναι σημαντική για την εκπαιδευτική διαδικασία και ιδιαίτερα για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

ε) Η ενέργεια και η ύλη – Ροές κύκλοι και διατήρηση: Ένα από τα μεγάλα επιτεύγματα της επιστήμης είναι η αναγνώριση ότι σε οποιοδήποτε σύστημα, ορισμένες διατηρούμενες ποσότητες μπορούν να αλλάξουν μόνο μέσω μεταφοράς εντός ή εκτός του συστήματος. Τέτοιοι νόμοι διατήρησης, όπως η διατήρηση της ύλης και της ενέργειας παρέχουν όρια στο τι μπορεί να συμβεί σε ένα σύστημα, είτε κατασκευασμένο από άνθρωπο είτε φυσικό και ως εκ τούτου, είναι πολύ κατατοπιστικό να παρακολουθούμε τις μεταφορές ύλης και ενέργειας μέσα, μέσα ή έξω από οποιοδήποτε υπό μελέτη σύστημα. Σε πολλά συστήματα υπάρχουν επίσης κύκλοι διαφόρων τύπων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο πιο εύκολα παρατηρήσιμος κύκλος μπορεί να είναι αυτός της ύλης. Οποιοσδήποτε τέτοιος κύκλος ύλης περιλαμβάνει επίσης σχετικές μεταφορές ενέργειας σε κάθε στάδιο. Η εξέταση της ενέργειας και της ύλης εισροών, εκροών και ροών ή μεταφορών εντός ενός συστήματος ή διεργασίας είναι εξίσου σημαντικές για τη μηχανική. Ένας κύριος στόχος στο σχεδιασμό είναι η μεγιστοποίηση ορισμένων τύπων ενεργειακής απόδοσης ενώ η ελαχιστοποίηση άλλων, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι εισροές ενέργειας που απαιτούνται για την επίτευξη μιας επιθυμητής εργασίας. Η ικανότητα εξέτασης, χαρακτηρισμού και μοντελοποίησης των μεταφορών και των κύκλων ύλης και ενέργειας είναι ένα εργαλείο που οι μαθητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν σε όλους σχεδόν τους τομείς της επιστήμης και της μηχανικής. Και η μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ ύλης και ενέργειας βοηθά τους μαθητές να αναπτύξουν όλο και πιο εξελιγμένες αντιλήψεις για τον ρόλο τους σε οποιοδήποτε σύστημα. Ωστόσο, για να

συμβεί αυτή η εξέλιξη, πρέπει να υπάρχει μια κοινή χρήση της γλώσσας σχετικά με την ενέργεια και την ύλη σε όλους τους κλάδους της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών.

στ) Η δομή και η λειτουργία: Πρόκειται για δυο αλληλοσυμπληρούμενες έννοιες. Η λειτουργία των αντικειμένων εξαρτάται από τη δομή τους και γι' αυτό για να κατανοήσουμε τη λειτουργία τους πρέπει να γνωρίζουμε επακριβώς τα δομικά χαρακτηριστικά τους. Η λειτουργία των φυσικών και των κατασκευασμένων συστημάτων εξαρτάται εξίσου από τα σχήματα και τις σχέσεις ορισμένων βασικών μερών καθώς και από τις ιδιότητες των υλικών από τα οποία κατασκευάζονται. Η αίσθηση της κλίμακας είναι απαραίτητη για να γνωρίζουμε ποιες ιδιότητες και ποιες πτυχές σχήματος ή υλικού είναι σχετικές σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος ή για τη διερεύνηση συγκεκριμένων φαινομένων, δηλαδή, η επιλογή μιας κατάλληλης κλίμακας εξαρτάται από το ερώτημα που τίθεται. Όταν οι μαθητές κατανοούν τη σχέση μεταξύ δομής και λειτουργίας μπορούν να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους σε νέα αντικείμενα στο πλαίσιο της διερευνητικής διδασκαλίας.

ζ) Η σταθερότητα και η αλλαγή: Μεγάλο μέρος της επιστήμης ασχολείται με την κατανόηση του πώς συμβαίνει η αλλαγή στη φύση και τα κοινωνικά και τεχνολογικά συστήματα και μεγάλο μέρος της τεχνολογίας ασχολείται με τη δημιουργία και τον έλεγχο της αλλαγής. Η σταθερότητα, συχνά εν μέσω αλλαγών, είναι επίσης αντικείμενο έντονης μελέτης στην επιστήμη. Η σταθερότητα υποδηλώνει μια κατάσταση στην οποία ορισμένες πτυχές ενός συστήματος είναι αμετάβλητες, τουλάχιστον στην κλίμακα της παρατήρησης. Σταθερότητα σημαίνει ότι μια μικρή διαταραχή θα εξαφανιστεί. Μια τέτοια σταθερότητα μπορεί να πάρει διάφορες μορφές. Αντίθετα, ένα σύστημα με σταθερές εισροές και εκροές (δηλαδή σταθερές συνθήκες) λέγεται ότι βρίσκεται σε δυναμική ισορροπία. Αν αυξήσουμε την εισροή θα επιτευχθεί ένα νέο επίπεδο ισορροπίας εάν αυξηθεί και η εκροή, ενώ σε ακραίες ροές, άλλοι παράγοντες μπορεί να προκαλέσουν ανισορροπία. Ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο κυκλικής αλλαγής μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως μια σταθερή κατάσταση, παρόλο που σαφώς δεν είναι στατικό. Ωστόσο, ένα τέτοιο σύστημα έχει σταθερές πτυχές. Στον σχεδιασμό συστημάτων για σταθερή λειτουργία, οι μηχανισμοί εξωτερικών ελέγχων και εσωτερικών βρόχων «ανάδρασης» είναι σημαντικά στοιχεία σχεδιασμού. Η ανατροφοδότηση είναι σημαντική για την κατανόηση των φυσικών συστημάτων επίσης. Ένας βρόχος ανάδρασης είναι οποιοσδήποτε μηχανισμός στον οποίο μια κατάσταση ενεργοποιεί κάποια ενέργεια που προκαλεί μια αλλαγή στην ίδια κατάσταση. Η ανάδραση μπορεί να σταθεροποιήσει ή να αποσταθεροποιήσει ένα σύστημα. Επίσης, ένα σύστημα μπορεί να είναι σταθερό σε μικρή

χρονική κλίμακα, αλλά σε μεγαλύτερη χρονική κλίμακα μπορεί να φαίνεται ότι αλλάζει. Κατά τη μελέτη των προτύπων αλλαγής ενός συστήματος με την πάροδο του χρόνου, είναι επίσης σημαντικό να εξετάσουμε τι είναι αμετάβλητο. Η κατανόηση των μηχανισμών ανάδρασης που ρυθμίζουν τη σταθερότητα του συστήματος ή που οδηγούν την αστάθειά του παρέχει μια εικόνα για το πώς μπορεί να λειτουργεί το σύστημα υπό διάφορες συνθήκες. Αυτοί οι μηχανισμοί είναι σημαντικό να αξιολογούνται κατά τη σύγκριση διαφορετικών επιλογών σχεδιασμού που αντιμετωπίζουν ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Κάθε σύστημα έχει μια σειρά από συνθήκες κάτω από τις οποίες μπορεί να λειτουργήσει με σταθερό τρόπο, καθώς και συνθήκες υπό τις οποίες δεν μπορεί να λειτουργήσει. Επομένως, η αποσαφήνιση του φάσματος των συνθηκών μπορεί να οδηγήσει σε σταθερή λειτουργία ενός συστήματος και ποιες αλλαγές θα το αποσταθεροποιούσαν (και με ποιους τρόπους) είναι ένας σημαντικός στόχος. Η σταθερότητα είναι πάντα μια ισορροπία των ανταγωνιστικών επιδράσεων: μια μικρή αλλαγή των συνθηκών ή σε ένα μόνο στοιχείο του συστήματος μπορεί να οδηγήσει σε δραματικές αλλαγές στο σύστημα εάν απουσιάζουν αντισταθμιστικοί μηχανισμοί. Ωστόσο, οι μαθητές συνήθως ξεκινούν με μια ιδέα της ισορροπίας ως στατικής κατάστασης και ερμηνεύουν την έλλειψη αλλαγής στο σύστημα ως ένδειξη ότι τίποτα δεν συμβαίνει. Έτσι χρειάζονται καθοδήγηση για να αρχίσουν να αντιλαμβάνονται ότι η σταθερότητα μπορεί να είναι αποτέλεσμα πολλαπλών αντίθετων δυνάμεων. Θα πρέπει να διδαχθούν να εντοπίζουν τις αόρατες δυνάμεις και να εκτιμούν τη δυναμική ισορροπία σε μια φαινομενικά στατική κατάσταση, ακόμη και μια τόσο απλή όσο ένα βιβλίο που βρίσκεται σε ένα τραπέζι. Επομένως, όταν οι μαθητές κατανοούν τις μεταβολές που συντελούνται σε ένα φυσικό ή τεχνολογικό σύστημα και είναι σε θέση να μελετήσουν τα μοτίβα των μεταβολών αυτών και τις συνθήκες που τις προκαλούν, καθώς και τις περιόδους σταθερότητάς του και τα μοτίβα που παραμένουν σταθερά μπορούν ευκολότερα να κατανοήσουν τη διαμόρφωση, τη δομή και τη λειτουργία του φυσικού περιβάλλοντος και να διευρύνουν τις γνώσεις και την κριτική σκέψη τους.

### **3.2.3. Η διάσταση των βασικών εννοιών των φυσικών επιστημών.**

Με τον όρο αυτό εννοούμε τις θεμελιώδεις έννοιες που συγκροτούν τη θεωρητική επιστημονική βάση για τη μελέτη των πειραματικών διεργασιών σε τομείς που σχετίζονται με τη φυσική, τη χημεία, τη βιολογία, τη μηχανική και γενικότερα τις θετικές επιστήμες. Είναι προφανές ότι η εμπέδωση των εννοιών αυτών και η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι

νόμοι των φυσικών επιστημών διέπουν τα διάφορα φαινόμενα αποτελεί το πρώτο και βασικότερο βήμα στη μελέτη τους και την εκτέλεση πειραμάτων. Μέσα από τη μελέτη των βασικών εννοιών οι μαθητές μαθαίνουν να αναζητούν απαντήσεις στα ερευνητικά τους ερωτήματα, να επιβεβαιώνουν θεωρητικά τα πειραματικά δεδομένα που συλλέγουν και να κατανοούν τις αιτίες και τους μηχανισμούς με τους οποίους λαμβάνουν χώρα τα φυσικά και χημικά φαινόμενα (Fick, 2018; Σκορδούλης & Στεφανίδου 2021; Sadler et al., 2016).

Η διάσταση των βασικών εννοιών για τις επιστήμες της φυσικής και της χημείας ταξινομείται σε τέσσερις επιμέρους θεματικές κατηγορίες:

α) Ύλη και αλληλεπιδράσεις: Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στη μελέτη της δομής και των ιδιοτήτων της ύλης, καθώς και στις χημικές και πυρηνικές διεργασίες.

β) Κίνηση των σωμάτων: Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στη μελέτη των εννοιών της δύναμης και της κίνησης, τους τύπους αλληλεπιδράσεων, καθώς και στη σταθερότητα ή την αστάθεια των φυσικών συστημάτων.

γ) Ενέργεια: Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στη μελέτη των ορισμών της ενέργειας, των εννοιών της διατήρησης και της μεταφοράς της, της μετατροπής της από μια μορφή σε μια άλλη, της σχέσης της με τις ασκούμενες δυνάμεις, καθώς και της ενέργειας των χημικών διεργασιών.

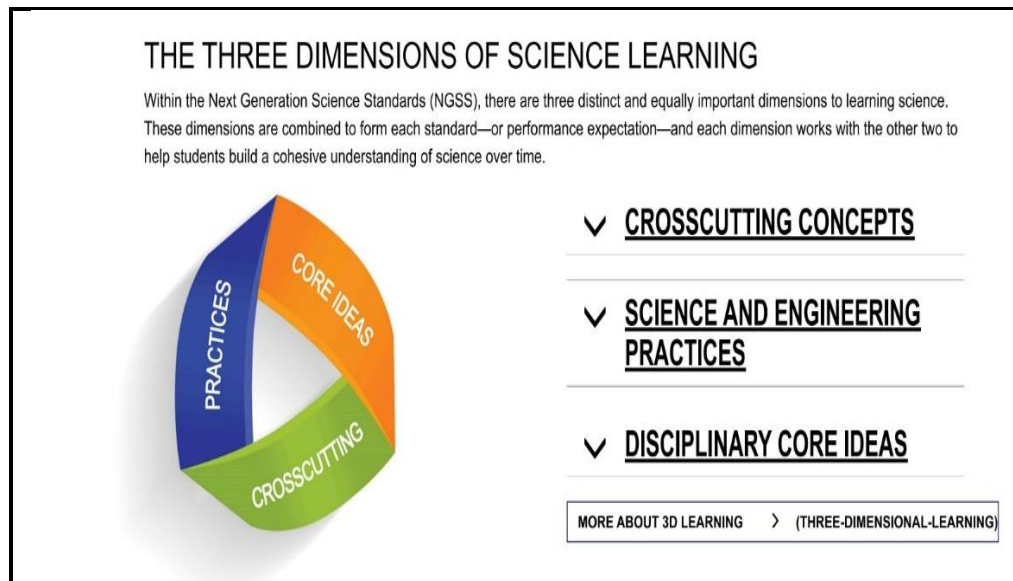
δ) Κυματική και τεχνολογικές εφαρμογές της: Η κατηγορία αυτή αναφέρεται στη μελέτη των ιδιοτήτων των κυμάτων, της ακτινοβολίας και των τεχνολογιών της πληροφορικής.

### **3.3. Το πρόγραμμα Next Generation Science Standards (NGSS)**

Για την διδασκαλία των φυσικών επιστημών με το μοντέλο των τριών διαστάσεων έχει προταθεί το πρόγραμμα Next Generation Science Standards (NGSS). Πρόκειται για έναν ιστότοπο που δημιουργήθηκε στις ΗΠΑ το 2013 από επιστήμονες ειδικευμένους στην εκπαίδευση STEM για να παράσχει δωρεάν και να υποστηρίξει τις δημόσιες επικοινωνίες, τα εργαλεία και τους πόρους για εκπαιδευτικούς που εφαρμόζουν καινοτόμες διδακτικές μεθόδους όπως το μοντέλο των τριών διαστάσεων με την εφαρμογή αυστηρών επιστημονικών προτύπων. Στόχος του προγράμματος είναι δηλαδή να προσφέρει κατευθύνσεις που σχετίζονται με το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων, ώστε οι μαθητές που το εφαρμόζουν να αποκτούν γνώσεις, δεξιότητες και εμπειρίες που αφορούν στην ανάπτυξη και χρήση

στοιχείων και των τριών διαστάσεων μαζί, ώστε να μπορούν να εξηγήσουν φαινόμενα και να σχεδιάσουν λύσεις σε προβλήματα, να ασχολούνται ενεργά με τις πρακτικές και να εφαρμόζουν τις εγκάρσιες έννοιες για να εμβαθύνουν την κατανόησή τους για τις βασικές ιδέες σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους.

Στην αρχική σελίδα της πλατφόρμας υπάρχει εκτενής αναφορά στο διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων:



Εικόνα 2: Το μοντέλο των τριών διαστάσεων, όπως απεικονίζεται στην αρχική σελίδα των Next Generation Science Standards (Πηγή: <https://www.nextgenscience.org/>)

Η δομή της πλατφόρμας περιλαμβάνει 3 βασικές ενότητες:

1. Η ενότητα “The Standards”, η οποία χωρίζεται στις υποενότητες:

- “Read the Standards”. Η υποενότητα αυτή περιλαμβάνει πρότυπα μαθήματα σύμφωνα με το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων. Για την αναζήτηση των μαθημάτων υπάρχουν φίλτρα ανάλογα με το είδος της επιστήμης, το επίπεδο εκπαίδευσης και τις θεματικές ενότητες καθεμιάς από τις τρεις διαστάσεις του μοντέλου. Εισάγοντας τις επιθυμητές παραμέτρους ο εκπαιδευτικός έχει στη διάθεσή του μια σειρά από ολοκληρωμένα μαθήματα.
- “Appendices”. Στη υποενότητα αυτή υπάρχει μια σειρά σχετικών παραρτημάτων.
- “Understanding the Standards”. Οι πόροι αυτής της ενότητας σκιαγραφούν ορισμένες βασικές προόδους στην επιστημονική εκπαιδευτική έρευνα και περιγράφουν πώς η πλατφόρμα NGSS αντικατοπτρίζει αυτές τις προόδους δίνοντας τη δυνατότητα στους μαθητές να κατανοήσουν την επιστήμη μέσα από τις διαδικασίες της.



- “Developing the Standards”. Στην υποενότητα αυτή περιγράφεται το πώς δημιουργήθηκε το έργο αυτό στο Πλαίσιο για την Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες στις ΗΠΑ υπό την αιγίδα του National Research Council, του National Science Teachers Association και του American Association for the Advancement of Science.
2. Η ενότητα “Instruction and Assessment”, η οποία χωρίζεται στις υποενότητες:
- “Evaluating NGSS Design”. Στην υποενότητα αυτή αναπτύσσεται μια σειρά εργαλείων για την υποστήριξη των εκπαιδευτικών στην προσπάθειά τους να διδάξουν με το μοντέλο των τριών διαστάσεων, σε συνεργασία με ειδικούς επιστήμονες, ώστε να αξιολογηθεί και να διασφαλιστεί η ποιότητα του παρεχόμενου υλικού.
  - “ Understanding NGSS Design”. Οι πόροι της υποενότητας αυτής βοηθούν τους εκπαιδευτικούς στην ανάλυση των προτύπων της πλατφόρμας NGSS και την καλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων της διδασκαλίας σύμφωνα με τα πρότυπα αυτά στη μάθηση των μαθητών.
  - “Quality Examples of Science Lessons and Units”. Στην υποενότητα αυτή παρέχονται πληροφορίες για την καλύτερη πλοήγηση στα πρότυπα μαθήματα της πλατφόρμας, μαζί με σχόλια και κριτικές.
  - “Resources for Implementing Three-Dimensional Science Assessments”. Στην υποενότητα αυτή υπάρχει μια σειρά σχετικών πηγών ανατροφοδότησης.
3. Η ενότητα “Planning and Communications”, η οποία χωρίζεται στις υποενότητες:
- “State and District Implementation”. Οι πόροι που παρουσιάζονται στην υποενότητα αυτή έχουν σχεδιαστεί για να βοηθήσουν στην αποτελεσματική διαχείριση της εκπαιδευτικής μετάβασης στο NGSS και να δημιουργήσουν ένα φιλόδοξο σχέδιο για την εκπαίδευση των επιστημών.
  - “Communicating About the Standards”. Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται πόροι που μπορούν να βοηθήσουν στην επικοινωνία μεταξύ των μελών της εκπαιδευτικής κοινότητας (εκπαιδευτικών διευθυντών σχολείων, γονέων κ.λπ.) σχετικά με το νέο όραμα για την εκπαίδευση των φυσικών επιστημών.

Τα πρότυπα της ηλεκτρονικής πλατφόρμας συνιστούν ένα συνεκτικό σύνολο εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων και αξιολογήσεων που μπορεί να εκτείνονται σε αρκετές περιόδους ή ημέρες διδασκαλίας. Όπως προαναφέρθηκε, ο εκπαιδευτικός μπορεί να επιλέξει το επίπεδο εκπαίδευσης (elementary, middle school και high school), την κατηγορία της επιστήμης (φυσικές επιστήμες, επιστήμες της ζωής, επιστήμες της γης και του διαστήματος και μηχανική, τεχνολογία και εφαρμογές επιστημών) και τη θεματική ενότητα που θέλει να διδάξει

ανάλογα με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών, επιλέγοντας από μια σειρά θεματικών ενότητων της διάστασης των βασικών φυσικών εννοιών. Στη συνέχεια μπορεί να επιλέξει τις θεματικές ενότητες από τις διαστάσεις των επιστημονικών πρακτικών και των διεπιστημονικών εννοιών που θεωρεί ως καταλληλότερες για να συσχετίσει με τη βασική έννοια που θέλει να διδάξει και ανταποκρίνεται στους διδακτικούς του στόχους.

The screenshot shows the 'Read the Standards' search interface. At the top, there is a header with the date '10/4/24, 2:35 μ.μ.' and the page title 'Read the Standards | Next Generation Science Standards'. The main heading is 'Read the Standards'. Below this, there is a link to learn more about the standards and a link to learn more about the NGSS Appendices. The search interface includes a 'KEYWORD SEARCH' section with an input field for search terms. Below that is a 'DISPLAY ONLY' section with checkboxes for 'DCI ARRANGEMENTS', 'PERFORMANCE EXPECTATION', and 'TOPIC ARRANGEMENTS'. There is also a 'Filter by' section with dropdown menus for 'GRADE', 'PRACTICE', 'DISCIPLINARY CORE IDEA', 'DISCIPLINE', and 'CROSSCUTTING CONCEPT'. At the bottom of the filter section are 'SUBMIT' and 'RESET' buttons. On the right side of the page, there are five buttons: 'STANDARDS BY DCI', 'DOWNLOAD DCI ARRANGEMENTS (4 MB)', 'STANDARDS BY TOPIC', 'DOWNLOAD TOPIC ARRANGEMENTS (5 MB)', and 'SEARCH EVIDENCE STATEMENTS'.

**Εικόνα 3: Απεικόνιση της ενότητας “READ THE STANDARDS” της πλατφόρμας Next Generation Science Standards (Πηγή: <https://www.nextgenscience.org/search-standards>)**

Ανοίγοντας καθένα από τα πρότυπα μαθήματα ο εκπαιδευτικός βρίσκεται μπροστά σε ένα μάθημα το οποίο έχει αναφορές και προτάσεις για καθεμιά από τις τρεις διαστάσεις που σχετίζονται με τη θεωρητική έννοια που θέλει να διδάξει.

Τα μαθήματα της πλατφόρμας υπόκεινται σε συνεχή αξιολόγηση μέσω ενός προγράμματος ελέγχου, της Ρουμπρίκας Αξιολόγησης της Ποιότητας Εκπαιδευτικών Προϊόντων (EQuIP). Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των οδηγιών της χρήσης της EQuIP είναι φυσικά η κατανόηση της λειτουργίας της πλατφόρμας NGSS, καθώς και του διδακτικού μοντέλου των τριών διαστάσεων και η εξοικείωση με το πώς κάθε μία από τις τρεις διαστάσεις συνεισφέρει στη δόμηση της μάθησης. Η παροχή σχολίων βάσει κριτηρίων και προτάσεων για βελτίωση του υπό εξέταση μαθήματος είναι σημαντική για τη διαδικασία αναθεώρησης

και τα στοιχεία για κάθε κριτήριο πρέπει να προσδιορίζονται και να τεκμηριώνονται. Ο σκοπός τους είναι να επανεξετάσουν ή και να αναθεωρήσουν τον τρόπο διδασκαλίας ενός μαθήματος που αφορά σε κεφάλαια των φυσικών επιστημών και να διαπιστώσουν:

- Αν ο τρόπος της διδασκαλίας που αναπτύσσεται ή αναθεωρείται είναι στον σωστό δρόμο.
- Αν ο τρόπος της διδασκαλίας που αναπτύσσεται ή αναθεωρείται απαιτεί περαιτέρω επανεξέταση (για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μια Ρουμπρίκα Αξιολόγησης της Ποιότητας Εκπαιδευτικών Προϊόντων (EQuIP) από εκπαιδευτικούς).
- Αν και σε ποιο βαθμό μια ομάδα κριτικών έχει κοινή αντίληψη για την πλατφόρμα NGSS και για το σχεδιασμό των μαθημάτων της.

Είναι γεγονός ότι μεταξύ των μελών της διεθνούς εκπαιδευτικής κοινότητας επικρατεί η αντίληψη ότι το πρόγραμμα σπουδών και οι στρατηγικές και τα μοντέλα διδασκαλίας θα πρέπει να αλλάξουν και στο πλαίσιο αυτό τα πρότυπα μαθήματα της ηλεκτρονικής πλατφόρμας NGSS μπορούν να αποτελέσουν μια πρωτοποριακή και αποτελεσματική μέθοδο. Το βασικό τους όμως μειονέκτημα είναι ότι ως τώρα είναι δύσκολο να βρεθούν μαθήματα που να είναι πραγματικά σχεδιασμένα για την πλατφόρμα NGSS και για τον λόγο αυτό η χρήση της περιορίζεται στη διασύνδεση και προσαρμογή των υπάρχοντων μαθημάτων με τα πρότυπα. Αντιθέτως στα πλεονεκτήματά τους συγκαταλέγεται το γεγονός ότι αποτελούν διδακτικό υλικό υψηλής ποιότητας, αλλά και το ότι υπόκεινται σε διαρκείς ελέγχους και αναθεωρήσεις εξαιτίας των παραγωγικών συνομιλιών που έχουν οι εκπαιδευτικοί κατά την αξιολόγηση του υλικού, καθώς και της δυνατότητας που παρέχουν στους εκπαιδευτικούς να χρησιμοποιούν την επαγγελματική τους κρίση και εμπειρία στην επιλογή και τη διαμόρφωση μαθημάτων στις τάξεις τους.

## Κεφάλαιο 4: Διδακτικοί στόχοι της Φυσικής του Γυμνασίου

Στο τμήμα αυτό της εργασίας παρουσιάζονται οι διδακτικοί στόχοι της διδασκαλίας της φυσικής στο Γυμνάσιο με έμφαση στην ύλη της Α' Γυμνασίου και συγκεκριμένα στα κεφάλαια της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διδακτικοί στόχοι του μοντέλου των τριών διαστάσεων για τα ίδια κεφάλαια.

### 4.1. Αναλυτικό πρόγραμμα φυσικής του Γυμνασίου

Βασικός διδακτικός στόχος της διδασκαλίας της φυσικής στο Γυμνάσιο είναι να εφοδιάσει τους μαθητές με βασικές επιστημονικές γνώσεις και δεξιότητες του τομέα της φυσικής, μέσω τριών βασικών κατευθύνσεων που αφορούν (Hodson, 1992):

1. Στη γνώση και την κατανόηση του επιστημονικού περιεχομένου και των αντίστοιχων εννοιών, θεωριών, μαθηματικών σχέσεων και μοντέλων.
2. Στην εξοικείωση με την επιστημονική μεθοδολογία και τον τρόπο σκέψης της φυσικής επιστήμης.
3. Στην κατάκτηση μιας ευρύτερης αντίληψης αναφορικά με την έννοια και τη φύση της επιστήμης και τη διασύνδεση της επιστημονικής μεθοδολογίας και γνώσης με την κοινωνικο-ηθική διάσταση της επιστήμης και την αλληλεπίδραση μεταξύ επιστήμης και κοινωνίας.

Είναι προφανές ότι οι κατευθύνσεις αυτές δεν μπορούν να διαχωριστούν, αλλά αντίθετα βρίσκονται σε αλληλεπίδραση μεταξύ τους και ο συνδυασμός τους διατρέχει τη διδασκαλία και αποτελεί το επιδιωκόμενο μαθησιακό αποτέλεσμα, ώστε μέσω της διδασκαλίας της φυσικής να προωθούνται όχι μόνο οι γνωστικοί στόχοι, αλλά και ευρύτερες επιδιώξεις όπως η ανάπτυξη του επιστημονικού γραμματισμού και των αντίστοιχων δεξιοτήτων για διερευνητική και κριτική σκέψη, η καλλιέργεια της επιχειρηματολογίας και της αιτιολόγησης προτάσεων και αποφάσεων, καθώς και η εφαρμογή της επιστημονικής γνώσης στην καθημερινότητα και την επίλυση γενικότερων κοινωνικο-επιστημονικών προβλημάτων.

Ειδικά στον τομέα της απόκτησης γνώσεων στο μάθημα της φυσικής του Γυμνασίου οι μαθησιακοί στόχοι των μαθητών σύμφωνα με το νέο Πρόγραμμα Σπουδών (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023) εστιάζουν στην ανάπτυξη θετικών στάσεων προς την επιστήμη της φυσικής και τη μέθοδο της διερεύνησης και προσδιορίζονται ως εξής:

- Οι ενέργειες και αποφάσεις των μαθητών πρέπει να στηρίζονται σε ορθολογικά και επιστημονικά κριτήρια και οι ίδιοι πρέπει να είναι επιφυλακτικοί σε εντυπωσιακές ή φοβικές ανακοινώσεις.
- Οι μαθητές πρέπει να αντιμετωπίζουν χωρίς φοβίες τις επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις με κριτική στάση στα αποτελέσματα που επιφέρουν.

Τα θεματικά πεδία που μελετώνται στο Πρόγραμμα Σπουδών Φυσικής του Γυμνασίου είναι οι εξής (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023):

<b>Θεματικά ενότητα</b>
Επιστήμη και Εκπαίδευση
Μεθοδολογία
Ενέργεια και Ύλη
Θερμότητα – Θερμοκρασία – Θερμοδυναμική
Δυνάμεις
Κινήσεις
Πεδία και Κύματα – Ήχος και Φως
Ηλεκτρομαγνητισμός
Σύγχρονη Φυσική – Τεχνολογία

Όπως προαναφέρθηκε, η προτεινόμενη διδακτική στρατηγική για το γνωσιακό αντικείμενο της Φυσικής είναι η διερευνητική επιστημονική – εκπαιδευτική μέθοδος, η οποία έχει ως στόχο να βοηθήσει τους μαθητές να εμβαθύνουν στα διδασκόμενα γνωσιακά αντικείμενα αξιοποιώντας με τον βέλτιστο τρόπο τον πειραματισμό και αντιμετωπίζοντας τη φυσική ως μια ενιαία επιστήμη *«με κοινή μεθοδολογία, ορολογία και μαθηματικό φορμαλισμό»*. Παράλληλα, αξιοποιεί διάφορες ψηφιακές και τεχνολογικές εφαρμογές για να βοηθήσει τους μαθητές να αναπτύξουν ως μελλοντικοί πολίτες δεξιότητες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση των στάσεων τους απέναντι στον φυσικό κόσμο (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023).

Επομένως, οι μαθησιακοί στόχοι (γνώσεις, ικανότητες, στάσεις και αξίες) του μαθήματος της φυσικής του Γυμνασίου στηρίζονται στα βήματα που προβλέπονται από τη διερευνητική επιστημονική – εκπαιδευτική μέθοδο και διαμορφώνονται ως εξής (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023):

### Μαθησιακοί στόχοι

Να προκαλεί το ενδιαφέρον των εκπαιδευόμενων για την κάθε ενότητα με εναύσματα, όπως θέματα της επικαιρότητας, καθημερινά φαινόμενα, επιστημονικές ή τεχνολογικές εφαρμογές, διαθεματικές και διεπιστημονικές συνδέσεις, αναφορές στην κοινωνία, την τέχνη, τον πολιτισμό, ώστε να καλλιεργείται η παρατηρητικότητα και να εγείρεται ο προβληματισμός.

Να δημιουργεί ερωτήματα, να οδηγεί σε διατύπωση υποθέσεων, να εμπλέκει τους/τις μαθητές/-τριες σε συζητήσεις, αξιοποιώντας προϋπάρχουσες γνώσεις, να καθοδηγεί τη διερεύνηση για την εξαγωγή συμπερασμάτων καλλιεργώντας ικανότητες όπως ομαδικότητα, επικοινωνία, διαίσθηση, αναστοχασμό, αναλυτική σκέψη.

Να εμπλέκει τους/τις μαθητές/-τριες (ατομικά ή ομαδικά) σε πειραματισμό (πραγματικό ή εικονικό), αξιοποιώντας πραγματικές μετρήσεις που συλλέγονται από πραγματικά κατά το δυνατόν ή εικονικά όργανα ή ιδιοκατασκευές, εργαζόμενοι/-ες σε ομάδες και αναλαμβάνοντας ρόλους. Ο πειραματισμός οφείλει να είναι αποδεικτικός (απορριπτικός ή επιβεβαιωτικός). Με τον τρόπο αυτό καλλιεργούνται η συνεργατικότητα, η δημιουργικότητα, η εφευρετικότητα, η ανάληψη πρωτοβουλιών, η διαχείριση μεταβλητών, η διαχείριση χρόνου, η δεξιότητα χρήσης οργάνων μέτρησης κ.ά. Ο πειραματισμός είναι ευκταίο να διεξάγεται μετωπικά από τους/τις μαθητές/-τριες και όχι μόνο με πειράματα επίδειξης. Ζητούμενο είναι η χρήση απλών υλικών και μέσων που επιλέγονται και κατά το δυνατόν συγκεντρώνονται από τους/τις μαθητές/-τριες έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα στο σπίτι τους να επαναλάβουν τον πειραματισμό. Προστιθέμενη αξία αποτελεί και η πρόταση της σύνθεσης της πειραματικής διάταξης με αυτοσχεδιασμό και ιδιοκατασκευή από τους/τις μαθητές/-τριες.

Να προβλέπει την καταγραφή των παρατηρήσεων, την επεξεργασία των μετρήσεων, την οργάνωση των δεδομένων, τη διατύπωση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων, που θα οδηγήσουν στο επιστημονικό πρότυπο. Να αξιοποιεί την υπολογιστική σκέψη, δηλαδή ανάλυση, αναγνώριση προτύπων, αφαίρεση, λογική συλλογιστική και εκτίμηση. Με τον τρόπο αυτό καλλιεργείται η ικανότητα επίλυσης προβλήματος, λήψης αποφάσεων, ορθολογικού τρόπου σκέψης, κριτικής σκέψης, έκφρασης σε γραπτό ή προφορικό λόγο, ανάπτυξης αυτοεκτίμησης και αυτοπεποίθησης.

Να εφαρμόζεται διεπιστημονικά/διαθεματικά η νέα γνώση, να εμπεδώνεται, να γενικεύεται σε ευρύτερες θεματικές (συστημική συσχέτιση) και να συνδέεται με μοντέλα του

μικρόκοσμοι. Αναπτύσσονται έτσι η συνδυαστική σκέψη, η αφαιρετική σκέψη, η ικανότητα χρήσης ερμηνευτικών μοντέλων, διευκολύνοντας τους/τις μαθητές/-τριες να συσχετίσουν, να ενσωματώσουν, να αφομοιώσουν και να ταξινομήσουν τη νέα γνώση με τις προϋπάρχουσες γνωστικές δομές τους. Δίνονται στους/στις μαθητές/-τριες τα απαραίτητα εργαλεία προκειμένου να αξιοποιήσουν τις δεξιότητές τους σε καθημερινά προβλήματα που θα προκύπτουν στη μετέπειτα ζωή τους. Αυτές οι αναπτυσσόμενες μεταγνωστικές δεξιότητες περιλαμβάνουν τη χρήση μοντέλων για την ερμηνεία φαινομένων και την ικανότητα ανάλυσης, αξιολόγησης και ελέγχου των διαδικασιών σκέψης από τους/τις μαθητές/-τριες.

Επίσης, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τη διερευνητική μέθοδο διδασκαλίας η διδακτική πλαισίωση του Προγράμματος Σπουδών της φυσικής του Γυμνασίου δίνει έμφαση σε επιπρόσθετες δραστηριότητες που βελτιώνουν την εκπαιδευτική διαδικασία και τα αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα. Τέτοιου είδους δραστηριότητες είναι οι εξής (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023):

Δραστηριότητες
Αισθητήρες και απτήρες – ψηφιακές τεχνολογίες
Αναπαραστάσεις/Προσομοιώσεις
Ιστορικοί πειραματισμοί – ερμηνείες παιχνιδιών – αγωνισμάτων
Επεξεργασία πραγματικών τιμών μέτρησης
Ζητήματα σύγχρονης (μετακλασικής) επιστήμης
Αντιπαράθεση με την ψευδοεπιστήμη - ανάδειξη του ορθολογισμού
Τράπεζες θεμάτων
Σενάρια ψηφιακής εκπαίδευσης

Εκτός όμως από τους αμιγώς διδακτικούς στόχους, στη φυσική, όπως και σε κάθε άλλο μάθημα πρέπει να υπάρχουν επίσης και οι εξής στόχοι:

- Οι κοινωνικοί στόχοι, οι οποίοι αφορούν στις κοινωνικές δεξιότητες που καλλιεργεί η διδακτική προσέγγιση της διερευνητικής διδασκαλίας και συναρτώνται με την κοινωνική αλληλεπίδραση των μαθητών κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Έτσι, οι μαθητές επιδιώκεται:

Να αναπτύξουν δεξιότητες επικοινωνίας, ανταλλαγής απόψεων, επιχειρηματολογίας και αλληλοσεβασμού ως προς τις απόψεις των συμμαθητών τους.
Να αναθεωρούν τις αρχικές τους απόψεις, να αναγνωρίζουν τα λάθη τους και να τα αξιολογούν.
Να εξοικειωθούν με την ομαδική εργασία.

- Οι συναισθηματικοί στόχοι, οι οποίοι αφορούν στη διέγερση του ενδιαφέροντος των μαθητών για τις φυσικές επιστήμες. Έτσι, οι μαθητές επιδιώκεται:

Να δείξουν ενδιαφέρον για τη διδακτέα ύλη μέσω της σύνδεσης των θεμάτων που πραγματεύεται με ζητήματα της καθημερινότητας και της πραγματικής ζωής τους.
Να εκτιμήσουν τη νέα γνώση ερμηνεύοντας νέα φαινόμενα από την καθημερινότητά τους και τη διατύπωση επιστημονικών ερωτημάτων.
Να διασυνδέουν την αποκτηθείσα γνώση στη φυσική με άλλους επιστημονικούς τομείς.

Ο προτεινόμενος σχεδιασμός των μαθημάτων της φυσικής στο Γυμνάσιο ακολουθεί τα βήματα της διερευνητικής επιστημονικής – εκπαιδευτικής μεθόδου, έχει ως υπόβαθρο την έρευνα και αποσκοπεί στην ανάπτυξη των εξής μαθησιακών αποτελεσμάτων (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023):

<b>Αναμενόμενα μαθησιακά αποτελέσματα</b>
Εναύσματα Ενδιαφέροντος: Να προκαλεί το ενδιαφέρον των μαθητών και των μαθητριών για την κάθε θεματική της εκπαιδευτικής διαδικασίας με εναύσματα όπως θέματα της επικαιρότητας και της καθημερινής τους ζωής, σχετικά φυσικά ή και ανθρωπογενή φαινόμενα, επιστημονικές ή τεχνολογικές ανακοινώσεις κ.λπ. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η πρόκληση του ενδιαφέροντος των μαθητών/-τριών για το συγκεκριμένο αντικείμενο και τους/τις ωθεί να το μελετήσουν περισσότερο και να το κατανοήσουν βαθύτερα.
Προβληματισμός, Συζήτηση, Υποθέσεις: Να προβληματίζει και να ζητά υποθέσεις ή προτάσεις από τους/τις μαθητές/-τριες για τον τρόπο μελέτης της θεματικής, οργανώνοντας συζητήσεις μεταξύ τους και θέτοντας ερωτήματα, ώστε να συνδέσουν τη συγκεκριμένη θεματική με προϋπάρχουσες γνώσεις και να μην αντιλαμβάνονται την κάθε ενότητα διαφορετική και αποκομμένη από τις προηγούμενες. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές και οι μαθήτριες οδηγούνται στο να προβληματιστούν σχετικά με το περιεχόμενο της έννοιας



των φυσικών επιστημών που θα έχουν διδαχθεί αλλά και να προχωρήσουν στη διατύπωση σχετικών υποθέσεων με στόχο τη διερεύνηση του αντικειμένου και τελικά την καλύτερη και πιο ολοκληρωμένη κατανόησή του.

**Πειράματα με Μετρήσεις, Δραστηριότητες και Ιδιοκατασκευές:** Να εμπλέκει τους μαθητές και τις μαθήτριες τη διαδικασία του πειραματισμού, κατατάσσοντάς τους σε ομάδες και διακρίνοντας ρόλους. Η διαδικασία του πειραματισμού μπορεί να αφορά είτε πραγματικά πειράματα που τα εκτελούν διά ζώσης είτε εικονικά, ενώ θα πρέπει να υποστηριχθεί και η δυνατότητα πειραμάτων με ιδιοκατασκευές. Σε κάθε περίπτωση οι μαθητές/-τριες θα πρέπει να εισέλθουν στη διαδικασία λήψης πραγματικών μετρήσεων, καθώς και στην κατανόηση των σφαλμάτων μέτρησης που προκύπτουν. Ο πειραματισμός πρέπει απαραίτητα να είναι αποδεικτικός, δηλαδή είτε απορριπτικός είτε επιβεβαιωτικός, μιας υπόθεσης και ανακαλυπτικός της «θεωρίας» των εκπαιδευόμενων και όχι απλώς επιδεικτικός μετά τη διατύπωση της γνωστής θεωρίας. Με τον τρόπο αυτό οι μαθητές/-τριες κατακτούν σταδιακά την επιστημονική γνώση και το γνωσιακό αντικείμενο που έχουν διδαχθεί, ενώ ο αποδεικτικός και ανακαλυπτικός πειραματισμός οδηγεί στην πραγματική κατανόηση και εμπέδωσή του. Στο στάδιο αυτό συμπεριλαμβάνονται και δραστηριότητες βιβλιογραφικής – διαδικτυακής αναζήτησης, καταγραφής, διαχείρισης, επεξεργασίας και παρουσίασης της πληροφορίας.

**Συμπεράσματα - Θεωρία:** Να ζητά τη διατύπωση των παρατηρήσεων, των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων των μαθητών/-τριών. Το σύνολο αυτών των παρατηρήσεων, αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων θα αποτελέσουν την εξαχθείσα γνώση, δηλαδή ουσιαστικά τη «θεωρία» στην οποία θα έχουν καταλήξει και κατανοήσει με τη βήμα-βήμα διερεύνησή τους. Με τον τρόπο αυτό, οι μαθητές/-τριες ενθαρρύνονται να διατυπώνουν παρατηρήσεις και συμπεράσματα βασιζόμενοι/-ες στη θεωρία που διδάσκονται και γνωρίζουν καθώς και στον αποδεικτικό/ανακαλυπτικό πειραματισμό στον οποίο έχουν ασκηθεί. Έτσι, συνηθίζουν να διατυπώνουν παρατηρήσεις και συμπεράσματα με βάση δεδομένα και πραγματικά αποτελέσματα και επομένως να ακολουθούν τον ορθολογικό και επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο σκέψης και ως μαθητές/-τριες αλλά και ως ενεργοί πολίτες αργότερα.

**Διεπιστημονικές - Διαθεματικές Εφαρμογές της Θεωρίας, Γενίκευση, Εμπέδωση, Ερμηνείες με τον μικρόκοσμο:** Να έχουν τη δυνατότητα να εφαρμόζουν διεπιστημονικά/διαθεματικά τη θεωρία, να την εμπεδώνουν, να τη γενικεύουν σε ευρύτερες θεματικές στις

φυσικές επιστήμες και να την ερμηνεύουν με τον μικρόκοσμο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η κατανόηση των εφαρμογών και η γενίκευση των συμπερασμάτων από τους/τις μαθητές/-τριες, ενώ ωθούνται στο να μπορούν ή έστω να προσπαθούν να ερμηνεύουν τον μικρόκοσμο.

## 4.2. Διδακτέα ύλη της φυσικής στην Α' Γυμνασίου

Η ύλη που θα πρέπει να διδαχτεί στη Α' Γυμνασίου περιλαμβάνει τις εξής ενότητες (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023):

Θεματικά πεδία	Θεματικές ενότητες	Προσδοκώμενα μαθησιακά αποτελέσματα (γνώσεις, δεξιότητες, στάσεις)
		Οι μαθητές/-τριες να είναι σε θέση
Επιστήμη και εκπαίδευση – Μεθοδολογία	1. Η φυσική και η επιστημονική μεθοδολογία	
	1.1. Οι φυσικές επιστήμες, η φυσική και η μεθοδολογία τους	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να διατυπώνουν τον επιστημονικό ορισμό των φυσικών επιστημών και να προσδιορίζουν τα αντικείμενα μελέτης τους.</li> <li>• Να δίνουν παραδείγματα φυσικών φαινομένων μέσα από την καθημερινή τους εμπειρία.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν τα βήματα της επιστημονικής μεθοδολογίας.</li> <li>• Να συνδέουν τη φυσική επιστήμη με σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα.</li> </ul>
	1.2. Η μελέτη ενός φυσικού φαινομένου στο εργαστήριο και η ερμηνεία του με το πρότυπο του	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αναγνωρίζουν την αναγκαιότητα του πραγματικού και του εικονικού πειράματος (προσομοιώσεις, αναπαραστάσεις με το πρότυπο του μικρόκοσμου) για τη μελέτη ενός φυσικού φαινομένου.</li> <li>• Να αναφέρουν τους κανόνες ασφαλείας του εργαστηρίου και να αιτιολογούν με παραδείγματα την ανάγκη τήρησής τους.</li> </ul>

	μικρόκο- σμου	
2. Μετρώντας και υπολογίζοντας τα φυσικά μεγέθη		
	2.1. Τα φυσικά μεγέθη και οι μονάδες τους	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αναφέρουν φυσικά μεγέθη και να αναγνωρίζουν την αναγκαιότητά τους στη μελέτη των φυσικών φαινομένων.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν την αναγκαιότητα κοινού συστήματος μονάδων.</li> <li>• Να μπορούν να αναφέρουν τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια των φυσικών ποσοτήτων και να κατανοούν την ανάγκη εισαγωγής τους.</li> </ul>
	2.2. Μέτρηση μήκους και όγκου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να δίνουν παραδείγματα υποκειμενικού και αντικειμενικού τρόπου προσδιορισμού μιας απόστασης.</li> <li>• Να επιλέγουν τα κατάλληλα όργανα και να επιλέγουν τις κατάλληλες διαδικασίες για τη μέτρηση διαφόρων μηκών και όγκων.</li> <li>• Να καταγράφουν συστηματικά τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις τους.</li> <li>• Να υπολογίζουν τη μέση τιμή μετρήσεων.</li> <li>• Να μετρούν μήκος με τη μετροταινία και το παχύμετρο.</li> <li>• Να μετρούν πειραματικά όγκο υγρών.</li> <li>• Να μετρούν και να υπολογίζουν όγκους γεωμετρικών και ακανόνιστων στερεών.</li> <li>• Να κάνουν απλές μετατροπές μονάδων.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν τα L και ml ως μονάδες μέτρησης όγκου σε καθημερινές εφαρμογές.</li> </ul>
	2.3. Μάζα, μέτρηση και υπολογισμός της πυκνότητας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να διατυπώνουν τον ορισμό και τις μονάδες μέτρησης της μάζας.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν την πυκνότητα ως χαρακτηριστική ιδιότητα των υλικών και ως παράγωγο μέγεθος.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να γνωρίζουν και να εφαρμόζουν τον τύπο της πυκνότητας προκειμένου να υπολογίζουν την πυκνότητα ενός υλικού από τη μάζα και τον όγκο τους.</li> <li>• Να συνδέουν την πυκνότητα με το μέγεθος των ατόμων του υλικού και με το πώς αυτά διατάσσονται στον χώρο.</li> <li>• Να μπορούν να κατασκευάζουν, να βαθμονομούν και να χρησιμοποιούν ένα αυτοσχέδιο πυκνόμετρο.</li> <li>• Να συνδέουν την πλεύση – βύθιση των σωμάτων με τις τιμές της πυκνότητάς τους.</li> </ul>
	2.4. Μέτρηση του χρόνου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αναγνωρίζουν φαινόμενα στα οποία είναι σημαντική η ακρίβεια στη μέτρηση του χρόνου.</li> <li>• Να αναφέρουν βασικές συσκευές μέτρησης του χρόνου.</li> <li>• Να αναφέρουν τις μονάδες μέτρησης του χρόνου, τα βασικά πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια και να πραγματοποιούν μετατροπές των μονάδων μέτρησης.</li> <li>• Να κατασκευάζουν ένα απλό εκκρεμές και να μετρούν τον χρόνο με αυτό.</li> </ul>
Ενέργεια και ύλη και θερμότητα – θερμοκρασία – θερμοδυναμική	3. Ενέργεια και ύλη: Μορφές, μεταμορφώσεις και καταστάσεις 3.1. Μορφές της ενέργειας και διεργασίες στη φύση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αξιολογούν τον ρόλο της ενέργειας στην πολιτισμική και τεχνολογική εξέλιξη του ανθρώπου.</li> <li>• Να προσδιορίζουν μέσω της εμπειρίας τους και να ονομάζουν διάφορες μορφές ενέργειας.</li> <li>• Να αναφέρουν τις μονάδες μέτρησης της ενέργειας.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν τις μεταμορφώσεις ενέργειας που λαμβάνουν χώρα σε τεχνολογικές εφαρμογές της καθημερινότητας.</li> <li>• Να συνδέουν την ενέργεια, τον ρόλο της και τις μεταμορφώσεις της με φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες με τις οποίες έχουν εμπειρική σχέση.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν ότι η ενέργεια διατηρείται στις διεργασίες της φύσης.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να διακρίνουν τις ανανεώσιμες από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.</li> <li>• Να ευαισθητοποιηθούν για την ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας.</li> </ul>
	3.2. Μέτρηση της θερμότητας	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αναγνωρίζουν την αντικειμενικότητα της μέτρησης της θερμοκρασίας με τα θερμομέτρα.</li> <li>• Να λαμβάνουν μετρήσεις θερμοκρασίας με τα θερμομέτρα, να αναγνωρίζουν και να ελαχιστοποιούν τις πηγές σφαλμάτων της μέτρησης.</li> <li>• Να περιγράφουν την αρχή λειτουργίας των βασικών τύπων θερμομέτρων.</li> <li>• Να αναφέρουν τις βασικές κλίμακες θερμοκρασίας και τη σχέση που τις συνδέει.</li> <li>• Να συνδέουν τη θερμοκρασία με τη μέση κινητική ενέργεια των μορίων του υλικού.</li> </ul>
	3.3. Μεταφορά θερμότητας και θερμική ισορροπία	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αναγνωρίζουν το φαινόμενο της θερμικής ισορροπίας.</li> <li>• Να προβλέπουν τη εξέλιξη του φαινομένου της θερμικής ισορροπίας μεταξύ δυο σωμάτων διαφορετικών θερμοκρασιών που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και του αντίστοιχου διαγράμματος θερμοκρασίας – χρόνου για μεγάλο χρονικό διάστημα.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν ότι αν δυο σώματα είναι σε θερμική ισορροπία με ένα τρίτο, τότε είναι και μεταξύ τους.</li> <li>• Να ορίζουν τις ποσότητες θερμική ενέργεια, θερμοκρασία και θερμότητα και να κατανοούν τις διαφορές μεταξύ των ποσοτήτων αυτών.</li> <li>• Να συνδέουν τη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος με αποβολή ή πρόσληψη θερμότητας, καθώς και με το μέγεθος του σώματος.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν την κατεύθυνση ροής της θερμότητας.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να ορίζουν τη θερμοχωρητικότητα σώματος και να διατυπώνουν τον νόμο της θερμιδομετρίας.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν τους τρόπους μεταφοράς θερμότητας.</li> <li>• Να διακρίνουν καλούς και κακούς αγωγούς θερμότητας.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν και να ερμηνεύουν μικροσκοπικά τη διαδικασία μεταφοράς θερμότητας.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν και να ερμηνεύουν φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας στην καθημερινή ζωή.</li> </ul>
	<p>3.4. Μεταβολές της κατάστασης της ύλης</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αναγνωρίζουν τις τρεις καταστάσεις της ύλης και τις ιδιότητές τους ως προς το σχήμα και τον όγκο.</li> <li>• Να περιγράφουν τις τρεις καταστάσεις της ύλης με τον μικρόκοσμο.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν το φαινόμενο πήξη – τήξη, καθώς και το φαινόμενο εξάερωση – υγροποίηση και να εξηγούν γιατί η προσφορά – αφαίρεση θερμότητας δεν συνοδεύεται από μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια αυτών των φαινομένων.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν τον ρόλο της ενέργειας στην αλλαγή καταστάσεως της ύλης.</li> <li>• Να ερμηνεύουν ένα διάγραμμα θερμοκρασίας – χρόνου κατά τη μεταβολή της κατάστασης ενός υλικού.</li> <li>• Να αναφέρονται στις θερμοκρασίες τήξης και βρασμού ως μεγεθών που χαρακτηρίζουν το υλικό.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν τη διαφορά μεταξύ βρασμού και εξάτμισης.</li> <li>• Να περιγράφουν την εξάχνωση και την απόθεση.</li> <li>• Να αναφέρουν και να ερμηνεύουν παραδείγματα εξάτμισης, συμπύκνωσης και απόθεσης του νερού από την καθημερινή ζωή και τα καιρικά φαινόμενα.</li> <li>• Να συνδυάζουν τις τρεις καταστάσεις του νερού με τον κύκλο του νερού στη φύση.</li> </ul>

	<p>3.5. Διαστολή και συστολή των σωμάτων – Η ι-διαιτερότητα του νερού</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να ορίζουν τη συστολή και τη διαστολή των στερεών, υγρών και αερίων σωμάτων και να τις συσχετίζουν με τη θερμοκρασία και το υλικό.</li> <li>• Να διατυπώνουν και να ερμηνεύουν μικροσκοπικά τη συστολή – διαστολή των σωμάτων με τη θερμοκρασία.</li> <li>• Να περιγράφουν εφαρμογές και συνέπειες της διαστολής των σωμάτων.</li> <li>• Να ερμηνεύουν την εξάρτηση της πυκνότητας στερεών και ρευστών από τη θερμοκρασία.</li> <li>• Να διατυπώνουν και να ερμηνεύουν με το μοντέλο του μικρόκοσμου την ιδιαίτερη συμπεριφορά του νερού αναφορικά με την αλλαγή φάσης από στερεό σε υγρό.</li> <li>• Να αναγνωρίζουν τη σημασία της ανώμαλης διαστολής του νερού για την ύπαρξη της ζωής.</li> </ul>
	<p>3.6. Από τη θερμότητα στη μηχανική ενέργεια – Θερμικές μηχανές</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Να αναγνωρίζουν τον διαχρονικό ρόλο που διαδραματίζει η μεταμόρφωση θερμότητας σε μηχανική ενέργεια στην τεχνολογική και επιστημονική εξέλιξη.</li> <li>• Να κατονομάζουν ενεργειακές μεταμορφώσεις που περιλαμβάνουν τη θερμότητα με αναφορά σε γεωθερμία μέχρι και σε πυρηνική ενέργεια.</li> <li>• Να ορίζουν τη θερμική μηχανή και την απόδοσή της.</li> </ul>

### 4.3. Διδακτικοί στόχοι στα κεφάλαια της ενέργειας και της θερμότητας - θερμοκρασίας σύμφωνα με το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων

Επιχειρώντας να διδάξουμε τα ίδια κεφάλαια αξιοποιώντας το διδακτικό μοντέλο των τριών διαστάσεων και τα πρότυπα των διδακτικών στόχων αν και παραμένουν οι ίδιοι στην ουσία τους ως μαθησιακό αποτέλεσμα, μπορούν να τροποποιηθούν ως προς τη μορφή τους και να αναλυθούν σε καθεμιά από τις τρεις διαστάσεις του μοντέλου. Οι διδακτικοί στόχοι για τη διδασκαλία των εννοιών που σχετίζονται με την ενέργεια και τη θερμότητα – θερμοκρασία σύμφωνα με το μοντέλο των τριών διαστάσεων και τις κατευθύνσεις των NGSS μπορούν να αναλυθούν ως εξής:

## Επιστημονικές και μηχανικές πρακτικές

### Σχεδιασμός και Διεξαγωγή Ερευνών (MS-PS3-3):

Ο σχεδιασμός και η διεξαγωγή ερευνών για την απάντηση ερωτήσεων ή δοκιμαστικών λύσεων σε προβλήματα περιλαμβάνει έρευνες που χρησιμοποιούν πολλαπλές μεταβλητές και παρέχουν στοιχεία για την υποστήριξη επεξηγήσεων ή σχεδιασμού λύσεων. Οι μαθητές μπορούν να σχεδιάσουν μια έρευνα ατομικά ή συλλογικά, να προσδιορίσουν ανεξάρτητες και εξαρτημένες μεταβλητές και να ελέγξουν ποια εργαλεία χρειάζονται για να γίνει η συλλογή, πώς θα καταγραφούν οι μετρήσεις και πόσα δεδομένα χρειάζονται για να υποστηρίξουν έναν ισχυρισμό.

### Ανάπτυξη και χρήση μοντέλων (MS-PS3-2):

Ανάπτυξη ενός μοντέλου για να περιγράψουμε ότι όταν αλλάζει η διάταξη των αντικειμένων που αλληλεπιδρούν σε απόσταση, αποθηκεύονται διαφορετικές ποσότητες δυναμικής ενέργειας στο σύστημα.

Μετά το τέλος της δραστηριότητας οι μαθητές επιδιώκεται:

α) Να μπορούν να προσδιορίζουν και περιγράφουν σχέσεις μεταξύ των στοιχείων, όπως:

1. Όταν δύο αντικείμενα αλληλεπιδρούν σε απόσταση, το καθένα ασκεί μια δύναμη στο άλλο που μπορεί να προκαλέσει τη μεταφορά ενέργειας προς ή από ένα αντικείμενο.
2. Καθώς η σχετική θέση δύο αντικειμένων (ουδέτερο, φορτισμένο, μαγνητικό) αλλάζει, η δυναμική ενέργεια του συστήματος (που σχετίζεται με αλληλεπιδράσεις μέσω ηλεκτρικών, μαγνητικών και βαρυτικών δυνάμεων) αλλάζει επίσης (π.χ., όταν μια μπάλα σηκώνεται, η ενέργεια αποθηκεύεται στη βαρυτική αλληλεπίδραση μεταξύ της Γης και της μπάλας).

β) Να χρησιμοποιούν το μοντέλο για να παράσχουν μια αιτιολογική εξήγηση για την ιδέα ότι η ποσότητα της δυναμικής ενέργειας σε ένα σύστημα αντικειμένων αλλάζει όταν αλλάζει η απόσταση μεταξύ στατικών αντικειμένων που αλληλεπιδρούν στο σύστημα γιατί:

1. Πρέπει να εφαρμοστεί μια δύναμη για να μετακινηθούν πιο μακριά δύο αντικείμενα που έλκονται μεταξύ τους, μεταφέροντας ενέργεια στο σύστημα.
2. Πρέπει να εφαρμοστεί μια δύναμη για να μετακινηθούν πιο κοντά δύο αντικείμενα που απωθούνται μεταξύ τους, μεταφέροντας ενέργεια στο σύστημα.

### Συμμετοχή σε επιχειρηματολογία που προκύπτει από τα εμπειρικά δεδομένα (MS-PS3-5):



Καταγραφή και παρουσίαση προφορικών και γραπτών επιχειρημάτων που υποστηρίζονται από τα εμπειρικά στοιχεία για την άποψη ότι όταν η κινητική ενέργεια ενός αντικειμένου αλλάζει, μεταφέρεται ενέργεια προς ή από το αντικείμενο.

Μετά το τέλος της δραστηριότητας οι μαθητές επιδιώκεται:

α) Να μπορούν να παρουσιάζουν εξηγήσεις και μοντέλα για ένα φαινόμενο. Στα επιχειρήματά τους οι μαθητές πρέπει να περιλαμβάνουν την ιδέα ότι όταν η κινητική ενέργεια ενός αντικειμένου αλλάζει, μεταφέρεται ενέργεια προς ή από αυτό το αντικείμενο.

β) Να μπορούν να προσδιορίζουν και να περιγράφουν τα δεδομένα που υποστηρίζουν τα επιχειρήματά τους, συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων όταν χρειάζεται:

1. Την αλλαγή στα παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά (π.χ. κίνηση, θερμοκρασία, ήχος) ενός αντικειμένου πριν και μετά την αλληλεπίδραση που αλλάζει την κινητική του ενέργεια.
2. Την αλλαγή στα παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά άλλων αντικειμένων ή του περιβάλλοντος χώρου στο καθορισμένο σύστημα.

γ) Να μπορούν να αξιολογούν, να ασκούν κριτική στις πηγές και τα αποδεικτικά στοιχεία και να εντοπίζουν τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία τους για την υποβολή και την υπεράσπιση του επιχειρήματός τους, συμπεριλαμβανομένων:

1. Τους τύπους των πηγών.
2. Την επάρκεια των πηγών και των αποδεικτικών στοιχείων συμπεριλαμβανομένης της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας τους.
3. Οποιοσδήποτε εναλλακτικές ερμηνείες των αποδεικτικών στοιχείων.
4. Γιατί τα αποδεικτικά στοιχεία υποστηρίζουν τον συγκεκριμένο ισχυρισμό σε αντίθεση με οποιουδήποτε άλλους ισχυρισμούς.

δ) Να μπορούν να συνθέτουν συλλογισμούς και να τους χρησιμοποιούν για να συνδέσουν τα απαραίτητα και επαρκή στοιχεία που απαιτούνται για να κατασκευάσουν το επιχειρήμα. Συγκεκριμένα πρέπει να μπορούν να περιγράφουν μια αλυσίδα συλλογισμών που περιλαμβάνει:

1. Την αλλαγή στην κινητική ενέργεια του αντικειμένου με βάση τις αλλαγές στα παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά του (π.χ. κίνηση, θερμοκρασία).
2. Την παρατήρηση πως όταν η κινητική ενέργεια του αντικειμένου αυξάνεται ή μειώνεται, η ενέργεια (π.χ. κινητική, θερμική, δυναμική) άλλων αντικειμένων ή του περιβάλλοντος εντός του συστήματος αυξάνεται ή μειώνεται, υποδεικνύοντας ότι η ενέργεια μεταφέρθηκε προς ή από το αντικείμενο.

3. Την παρουσίαση προφορικών και γραπτών επιχειρημάτων για να υποστηρίξουν ή να αντικρούσουν τη δεδομένη εξήγηση ή μοντέλο για το φαινόμενο.

Κατασκευή επεξηγήσεων και σχεδιασμός λύσεων (MS-PS3-4):

Εφαρμογή επιστημονικών αρχών για το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη δοκιμή μιας συσκευής που είτε ελαχιστοποιεί είτε μεγιστοποιεί τη μεταφορά θερμικής ενέργειας.

Μετά το τέλος της δραστηριότητας οι μαθητές επιδιώκεται:

α) Να κατασκευάζουν τις δικές τους εξηγήσεις για τα φαινόμενα χρησιμοποιώντας τις γνώσεις τους για την αποδεκτή επιστημονική θεωρία και συνδέοντάς τις με μοντέλα και στοιχεία.

β) Να χρησιμοποιούν πρωτογενή ή δευτερεύοντα επιστημονικά στοιχεία και μοντέλα για να υποστηρίξουν ή να αντικρούσουν μια επεξηγηματική περιγραφή ενός φαινομένου.

γ) Να εκφράζουν αιτιολογικές εξηγήσεις κατάλληλες για το επίπεδο των επιστημονικών τους γνώσεων.

δ) Να εντοπίζουν κενά ή αδυναμίες σε επεξηγηματικούς συλλογισμούς (τους δικούς τους ή άλλων).

ε) Να λύνουν προβλήματα σχεδίασης εφαρμόζοντας κατάλληλα τις επιστημονικές τους γνώσεις.

στ) Να αναλαμβάνουν έργα σχεδιασμού, συμμετέχοντας σε όλα τα στάδια του σχεδιαστικού κύκλου και δημιουργώντας ένα σχέδιο που πληροί συγκεκριμένα κριτήρια.

ζ) Να κατασκευάζουν συσκευές ή να εφαρμόζουν σχεδιαστικές λύσεις.

η) Να αξιολογούν και να ασκούν κριτική σε ανταγωνιστικές σχεδιαστικές λύσεις με βάση τα από κοινού αναπτυγμένα και συμφωνημένα κριτήρια σχεδιασμού.

**Διεπιστημονικές έννοιες**

Κλίμακα, αναλογία και ποσότητα (MS-PS3-1, MS-PS3-4):

Οι αναλογικές σχέσεις μεταξύ διαφορετικών ποσοτήτων παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το μέγεθος των ιδιοτήτων και των διαδικασιών.

Συστήματα και Μοντέλα Συστημάτων (MS-PS3-2):

Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν συστήματα και τις αλληλεπιδράσεις τους – όπως εισροές, διαδικασίες και εκροές – και τις ροές ενέργειας και ύλης μέσα στα συστήματα.

Ενέργεια και ύλη (MS-PS3-5, MS-PS3-3):

Η ενέργεια λαμβάνει διαφορετικές μορφές. Η μεταφορά ενέργειας μπορεί να παρακολουθηθεί καθώς η ενέργεια ρέει μέσω ενός σχεδιασμένου ή φυσικού συστήματος.

Βασικές έννοιες
Ορισμοί της ενέργειας – Μορφές ενέργειας (MS-PS3-1).
Μηχανική ενέργεια – Κινητική ενέργεια – Δυναμική ενέργεια (MS-PS3-1 και MS-PS3-2).
Αρχή διατήρησης της Μηχανικής ενέργειας (MS-PS3-5).
Αρχή διατήρησης της ενέργειας (MS-PS3-5).
Η θερμοκρασία ως μέτρο της μέσης κινητικής ενέργειας των σωματιδίων της ύλης. Η σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της συνολικής ενέργειας ενός συστήματος εξαρτάται από τους τύπους, τις καταστάσεις και τις ποσότητες της ύλης (MS-PS3-3 και MS-PS3-4).
Το ποσό της ενέργειας που πρέπει να μεταφερθεί για να αλλάξει η θερμοκρασία μιας συγκεκριμένης ποσότητας ενός δείγματος ύλης εξαρτάται από τη φύση της ύλης, το μέγεθος του δείγματος και το περιβάλλον (MS-PS3-3).
Η ενέργεια μεταφέρεται αυθόρμητα από θερμότερες περιοχές ή αντικείμενα και σε ψυχρότερες (MS-PS3-4).

## **Κεφάλαιο 5: Διδασκαλία των κεφαλαίων της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας τη Φυσικής της Α' Γυμνασίου σύμφωνα με το μοντέλο των τριών διαστάσεων**

Στο τμήμα αυτό της εργασίας παρουσιάζεται ένα σχέδιο διδασκαλίας των κεφαλαίων της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας της φυσικής της Α' Γυμνασίου, σύμφωνα με το μοντέλο των τριών διαστάσεων, τα πρότυπα μαθήματα και τις οδηγίες της ηλεκτρονικής πλατφόρμας NGSS (MS-PS3-1, MS-PS3-2, MS-PS3-3, MS-PS3-4 και MS-PS3-5), το νέο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών για τη φυσική του Γυμνασίου (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023) και την διδακτέα ύλη των κεφαλαίων αυτών σύμφωνα με το εν χρήσει σχολικό βιβλίο της Β' Γυμνασίου (Αντωνίου κ.α., χ.χ.). Σύμφωνα με το μοντέλο των τριών διαστάσεων η διδασκαλία του κεφαλαίου της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας ξεκινά με την παρουσίαση σχετικών επιστημονικών πρακτικών, συνεχίζει με την εισαγωγή διεπιστημονικών εννοιών και στο τέλος κλείνει με την παρουσίαση των βασικών εννοιών που σχετίζονται με την ενέργεια και τη θερμότητα.

### **5.1. Διάσταση επιστημονικών πρακτικών**

Η διάσταση των επιστημονικών πρακτικών στο κεφάλαιο της ενέργειας και της θερμότητας – θερμοκρασίας μπορεί να συμπεριλάβει τους τομείς του σχεδιασμού και διεξαγωγής ερευνών της ανάλυσης και ερμηνείας δεδομένων, της ανάπτυξης και χρήσης μοντέλων, της συμμετοχής σε επιχειρηματολογία που προκύπτει από τα εμπειρικά δεδομένα και της κατασκευής επεξηγήσεων και σχεδιασμού λύσεων.

#### **5.1.1. Σχεδιασμός και διεξαγωγή ερευνών**

Ο σχεδιασμός και η διεξαγωγή έρευνας ξεκινά με την υποβολή ερωτήσεων στους μαθητές που θα κεντρίσουν το ενδιαφέρον τους και θα τους προβληματίσουν σχετικά με την ενέργεια, τις μορφές της, το γεγονός ότι διατηρείται, τις μονάδες μέτρησής της, τον ρόλο της στη φύση και την εξέλιξη του ανθρώπου και τον διαχωρισμό μεταξύ ανανεώσιμων και μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο σχεδιασμός και η διεξαγωγή ερευνών ξεκινά με την υποβολή επιστημονικών ερωτημάτων ή ερωτημάτων μηχανικής που σχετίζονται με την ενέργεια και τη θερμότητα.

Τέτοιου είδους ερωτήματα είναι του τύπου:

- Τι υπάρχει και τι συμβαίνει;
- Γιατί συμβαίνει;
- Πώς μπορούμε να ξέρουμε;
- Τι μπορεί να γίνει για την αντιμετώπιση μιας συγκεκριμένης ανθρώπινης ανάγκης;
- Ποια εργαλεία και τεχνολογίες είναι διαθέσιμα ή θα μπορούσαν να αναπτυχθούν για την αντιμετώπιση αυτής της ανάγκης;

Η υποβολή ερωτήσεων είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη της επιστημονικής σκέψης. Ακόμη και για άτομα που δεν γίνονται επιστήμονες ή μηχανικοί, η ικανότητα να υποβάλλουν καλά καθορισμένες ερωτήσεις αποτελεί σημαντικό συστατικό του επιστημονικού γραμματισμού.

⇒ Δραστηριότητα 1: Υποβάλετε τις κατάλληλες ερωτήσεις ο ένας στον άλλο σχετικά με την έννοια της ενέργειας. Τέτοιου είδους ερωτήματα μπορεί να είναι:

- ✓ Πώς από την καύση της βενζίνης τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας ενός αυτοκινήτου και γιατί η λειτουργία αυτή το θέτει σε κίνηση;
- ✓ Πώς από την καύση του πετρελαίου θερμαίνονται τα σώματα του καλοριφέρ σε ένα σπίτι;
- ✓ Γιατί κουράζεται ένας αθλητής όταν τρέχει;
- ✓ Πώς παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο;
- ✓ Γιατί τα τελευταία χρόνια δίνεται μεγάλη έμφαση στη στροφή προς τις λεγόμενες «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας»;

⇒ Δραστηριότητα 2: Στο εργαστήριο αφήνουμε διάφορα αντικείμενα από διαφορετικά ύψη και παρατηρούμε τι θα συμβεί όταν αυτά φτάνουν στο έδαφος, το οποίο αποτελείται από άμμο.

- ✓ Γιατί όταν ρίχνουμε από το ίδιο ύψος δυο αντικείμενα διαφορετικής μάζας εκείνο με τη μεγαλύτερη μάζα προκαλεί μεγαλύτερη λακκούβα στην άμμο;
- ✓ Γιατί όταν ρίχνουμε από διαφορετικό ύψος δυο όμοια αντικείμενα εκείνο που πέφτει από μεγαλύτερο ύψος προκαλεί μεγαλύτερη λακκούβα στην άμμο;
- ✓ Γιατί όταν ένα αντικείμενο που πέφτει από ψηλά αποκτά ταχύτητα φτάνοντας στο έδαφος;
- ✓ Επαναλαμβάνοντας πολλές φορές το πείραμα τι πρέπει να γνωρίζουμε για να υπολογίσουμε την ταχύτητα με την οποία φτάνει στο έδαφος ένα αντικείμενο;

⇒ Δραστηριότητα 3: Στο εργαστήριο φέρνουμε σε επαφή δυο σώματα με διαφορετικές θερμοκρασίες. Τι θα συμβεί και γιατί;

### 5.1.2. Ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων

Η ανάλυση δεδομένων προχωρά στην επέκταση της ποσοτικής ανάλυσης σε έρευνες, τη διάκριση μεταξύ συσχέτισης και αιτιώδους συνάφειας και των βασικών στατιστικών τεχνικών ανάλυσης δεδομένων και σφαλμάτων.

⇒ Δραστηριότητα: Κατασκευάστε και ερμηνεύστε γραφικές παραστάσεις δεδομένων για τον προσδιορισμό σχέσεων και συγκεκριμένα:

- Για να περιγράψετε τις σχέσεις της κινητικής ενέργειας με τη μάζα ενός αντικειμένου (π.χ. το χτύπημα από μια μπάλα μπάσκετ έναντι μιας μπάλας του τένις).
- Για να περιγράψετε τις σχέσεις της κινητικής ενέργειας με την ταχύτητα ενός αντικειμένου (π.χ. η οδήγηση ποδηλάτου με διαφορετικές ταχύτητες).
- Για να περιγράψετε τις σχέσεις της δυναμικής ενέργειας με τη μάζα ενός αντικειμένου (π.χ. η ελεύθερη πτώση αντικειμένων διαφορετικής μάζας από το ίδιο ύψος).
- Για να περιγράψετε τις σχέσεις της δυναμικής ενέργειας με το ύψος ενός αντικειμένου από την επιφάνεια της Γης (π.χ. η ελεύθερη πτώση ενός αντικειμένου από διαφορετικά ύψη).
- Για να περιγράψετε τις σχέσεις μεταξύ της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας κατά τη διάρκεια μιας κίνησης κατά την οποία μεταβάλλεται το ύψος του αντικειμένου από την επιφάνεια της Γης (π.χ. ενός αντικειμένου ή η κίνηση μιας κούνιας).

### 5.1.3. Ανάπτυξη και χρήση μοντέλων

Η ανάπτυξη ενός μοντέλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψουμε ότι όταν αλλάζει η διάταξη των αντικειμένων που αλληλεπιδρούν σε απόσταση, αποθηκεύονται διαφορετικές ποσότητες δυναμικής ενέργειας στο σύστημα. Η έμφαση πρέπει να δοθεί στις σχετικές ποσότητες δυναμικής ενέργειας, όχι στον υπολογισμό της δυναμικής ενέργειας. Παραδείγματα μοντέλων θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν αναπαραστάσεις, διαγράμματα, εικόνες και γραπτές περιγραφές συστημάτων.

⇒ Δραστηριότητα: Αναπτύξτε ένα μοντέλο στο οποίο θα προσδιορίζονται τα σχετικά στοιχεία, που συμπεριλαμβάνουν:

- Ένα σύστημα δύο ακίνητων αντικειμένων που αλληλεπιδρούν (π.χ. τη Γη και ένα τροχόσπιτο σε διαφορετικές θέσεις σε έναν λόφο).
- Τις δυνάμεις (ηλεκτρικές, μαγνητικές ή βαρυτικές) μέσω των οποίων αλληλεπιδρούν τα δύο αντικείμενα (π.χ. αλλαγή της κατεύθυνσης/προσανατολισμού ενός μαγνήτη).
- Την απόσταση μεταξύ των δύο αντικειμένων (π.χ. ένα μπαλόνι με στατικό ηλεκτρικό φορτίο που έρχονται πιο κοντά στα μαλλιά ενός συμμαθητή).
- Τη δυναμική τους ενέργεια.

#### **5.1.4. Συμμετοχή σε επιχειρηματολογία που προκύπτει από τα εμπειρικά δεδομένα**

Η ενασχόληση με τα επιχειρήματα που προκύπτουν από τα εμπειρικά δεδομένα και η κατασκευή ενός πειστικού επιχειρήματος που υποστηρίζει ή αντικρούει ισχυρισμούς είτε για εξηγήσεις είτε για λύσεις σχετικά με τα φυσικά ή τα κατασκευασμένα περιβάλλοντα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καλύτερη κατανόηση των θεωρητικών εννοιών και των νόμων που διέπουν τα φυσικά φαινόμενα και να υποστηρίζει ή να αντικρούσει μια εξήγηση ή ένα μοντέλο για ένα φαινόμενο. Η πρακτική αυτή συνδέεται με τη φύση της επιστήμης, αφού η επιστημονική γνώση βασίζεται σε εμπειρικά στοιχεία και σε λογικές και εννοιολογικές συνδέσεις μεταξύ αποδείξεων και εξηγήσεων.

⇒ Δραστηριότητα: Κατασκευάστε και παρουσιάστε προφορικά και γραπτά επιχειρήματα χρησιμοποιώντας εμπειρικά στοιχεία και επιστημονικό σκεπτικό για να υποστηρίξετε τον ισχυρισμό ότι όταν αλλάζει η κινητική ενέργεια ενός αντικειμένου, μεταφέρεται ενέργεια προς ή από το αντικείμενο. Τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν στα επιχειρήματα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν μια αναπαράσταση της ενέργειας πριν και μετά τη μεταφορά με τη μορφή μεταβολών θερμοκρασίας ή κίνησης αντικειμένου.

#### **5.1.4 Κατασκευή επεξηγήσεων και σχεδιασμός λύσεων**

Η κατασκευή επεξηγήσεων και ο σχεδιασμός λύσεων σε βασίζεται σε εμπειρίες και περιλαμβάνει την κατασκευή επεξηγήσεων και τον σχεδιασμό λύσεων που υποστηρίζονται από πολλαπλές πηγές αποδεικτικών στοιχείων που συνάδουν με επιστημονικές ιδέες, αρχές και θεωρίες. Η διάσταση αυτή αφορά στη εφαρμογή επιστημονικών ιδεών για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη δοκιμή ενός σχεδίου ενός αντικειμένου, εργαλείου, διαδικασίας ή συστήματος.

⇒ Δραστηριότητα: Εφαρμόστε επιστημονικές αρχές για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη δοκιμή μιας συσκευής που είτε ελαχιστοποιεί είτε μεγιστοποιεί τη μεταφορά θερμικής ενέργειας (Π.χ. ένα μονωμένο κουτί από φελιζόλ). Η αξιολόγηση δεν πρέπει να περιλαμβάνει τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας θερμικής ενέργειας που μεταφέρεται. Συγκεκριμένα, σχεδιάστε μια λύση στο πρόβλημα, ως εξής:

- Προσδιορίστε ότι η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από θερμότερα αντικείμενα σε ψυχρότερα αντικείμενα.
- Περιγράψτε τους διαφορετικούς τύπους υλικών που χρησιμοποιούνται στη λύση σχεδιασμού και τις ιδιότητές τους (π.χ. πάχος, αγωγιμότητα θερμότητας, ανακλαστικότητα) και πώς αυτά τα υλικά θα χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση ή μεγιστοποίηση της μεταφοράς θερμικής ενέργειας.
- Καθορίστε πώς η συσκευή θα λύσει το πρόβλημα.
- Περιγράψτε τα κριτήρια και τους περιορισμούς, ως εξής:

α) Κριτήρια:

1. Η ελάχιστη ή η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας που απαιτείται να διατηρεί η συσκευή.
2. Το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η συσκευή για να διατηρήσει αυτή τη διαφορά.
3. Αν η συσκευή προορίζεται να μεγιστοποιήσει ή να ελαχιστοποιήσει τη μεταφορά θερμικής ενέργειας.

β) Περιορισμοί:

1. Υλικά.
2. Ασφάλεια.
3. Χρόνος.
4. Κόστος.

- Αξιολόγηση πιθανών λύσεων:

α) Δοκιμάστε τη συσκευή για να προσδιορίσετε την ικανότητά της να μεγιστοποιεί ή να ελαχιστοποιεί τη ροή της θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας τον ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας ως μέτρο επιτυχίας.

β) Χρησιμοποιείστε τις γνώσεις σας για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας.

γ) Αξιολογείστε τα αποτελέσματα των δοκιμών για τον σχεδιασμό με βάση τα κριτήρια και τους περιορισμούς.



## 5.2. Διάσταση διεπιστημονικών εννοιών

Η διάσταση των διεπιστημονικών εννοιών στο κεφάλαιο της Ενέργειας μπορεί να συμπεριλάβει του τομείς της κλίμακας, αναλογίας και ποσότητας, των συστημάτων και μοντέλων συστημάτων και της ενέργειας και ύλης.

### 5.2.1. Κλίμακα, αναλογία και ποσότητα

Οι επιστημονικές σχέσεις μπορούν να αναπαρασταθούν με τη χρήση αλγεβρικών εκφράσεων και εξισώσεων. Στην περίπτωση της μελέτης της ενέργειας στη διεπιστημονική έννοια της κλίμακας, της αναλογίας και της ποσότητας μπορούν να ενταχθούν οι εξής κατηγορίες:

1. Σχέσεις μεταξύ κλιμάκων.
2. Μονάδες μέτρησης.
3. Δυνατότητα εκτίμησης.
4. Έννοια και σχέσεις μεταξύ των ποσοτήτων.
5. Δυνατότητα πρόβλεψης σχέσεων.
6. Αναγνώριση και εφαρμογή υπολογιστικών και στατιστικών σχέσεων.

Π.χ. οι μαθητές περιγράφουν και αναπαριστούν επιστημονικές σχέσεις ανάμεσα στα μεγέθη της μάζας, της ταχύτητας, του ύψους ενός αντικειμένου από το έδαφος, της κινητικής ενέργειας, της μηχανικής ενέργειας, της δυναμικής ενέργειας, της απόστασης μεταξύ δυο σωμάτων που αλληλεπιδρούν, της θερμότητας κ.λπ. ή να μελετούν και να αντιλαμβάνονται γιατί πρέπει να χρησιμοποιούν διαφορετικές μονάδες μέτρησης της ενέργειας στον μικρόκοσμο (το eV) και τον μακρόκοσμο (το J):  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$ .

### 5.2.2. Συστήματα και μοντέλα συστημάτων

Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπαραστήσουν συστήματα και τις αλληλεπιδράσεις τους – όπως εισροές, διαδικασίες και εκροές – και τις ροές ενέργειας και ύλης μέσα στα συστήματα.

Στην περίπτωση της μελέτης της ενέργειας στη διεπιστημονική έννοια των συστημάτων και των μοντέλων συστημάτων μπορούν να ενταχθούν οι εξής κατηγορίες:

1. Συγκρότηση μοντέλου.

2. Ανάλυση μοντέλου.
3. Βελτίωση μοντέλου.
4. Αναθεώρηση μοντέλου.
5. Δυνατότητα περιγραφής του μοντέλου.
6. Εξειδίκευση του μοντέλου.
7. Σχέσεις των υποσυστημάτων και συστημάτων.

Π.χ. μοτίβα κίνησης, όπως ένα βάρος που χτυπά σε ένα ελατήριο ή ένα αιωρούμενο εκκρεμές, μπορούν να κατανοηθούν με όρους δυνάμεων σε κάθε στιγμή ή με όρους μετασχηματισμού ενέργειας μεταξύ της κίνησης και μιας ή περισσότερων μορφών αποθηκευμένης ενέργειας. Οι δυνάμεις επαφής μεταξύ των συγκρουόμενων αντικειμένων μπορούν να μοντελοποιηθούν σε μικροσκοπικό επίπεδο, λόγω των πεδίων που δημιουργούνται εξαιτίας της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης μεταξύ των επιφανειακών σωματιδίων και σε μακροσκοπικό επίπεδο χρησιμοποιώντας τη διατήρηση της ενέργειας χωρίς να χρειάζεται να εξεταστούν οι λεπτομερείς μικροσκοπικές δυνάμεις. Επίσης, επειδή τα μοντέλα είναι περιορισμένα στο ότι αντιπροσωπεύουν μόνο ορισμένες πτυχές του υπό μελέτη συστήματος, οι μαθητές μπορούν να περιγράψουν πώς τα μοντέλα της κίνησης ενός αντικειμένου με βάση το άθροισμα των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό περιορίζονται στο ότι αντιπροσωπεύουν μόνο ορισμένες πτυχές του υπό μελέτη συστήματος.

### 5.2.3. Ενέργεια και ύλη

Στην περίπτωση της μελέτης της ενέργειας στη διεπιστημονική έννοια της σχέσης μεταξύ της ενέργειας και της ύλης μπορούν να ενταχθούν οι εξής κατηγορίες:

1. Μετατροπή της ενέργειας.
2. Διατήρηση της ύλης και της ενέργειας.
3. Η ύλη και η ενέργεια ως απαραίτητα στοιχεία των οργανισμών.
4. Κύκλοι της ύλης και της ενέργειας στα διάφορα συστήματα.
5. Εκροές και εισροές.

Παραδείγματα:

- Οι μαθητές μελετούν καταστάσεις που δείχνουν ότι η ενέργεια λαμβάνει διαφορετικές μορφές.

- Διασύνδεση του συγκεκριμένου κεφαλαίου με το κεφάλαιο «2.2. Οργάνωση και λειτουργία του οικοσυστήματος – Ο ρόλος της ενέργειας» του μαθήματος της Βιολογίας της Β' Γυμνασίου.
- Οι οργανισμοί μπορούν να θεωρηθούν ως θερμικές μηχανές. Στο ζωικό βασίλειο συχνά συμβαίνουν ενεργειακές μετατροπές ανάλογες με αυτές που συμβαίνουν σε μια μηχανή. Οι τροφές καίγονται. Υδατάνθρακες αντιδρούν με οξυγόνο, οπότε παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και νερό, ενώ χημική ενέργεια μετατρέπεται κατά ένα μέρος σε μηχανική ενέργεια του μυϊκού συστήματος.
- Οι μαθητές μπορούν να μελετήσουν πώς οι θερμικές μεταβολές συμβάλλουν στη διατήρηση της ζωής μέσα στο κύτταρο.
- Η ακριβής μέτρηση της θερμοκρασίας του σύμπαντος μας παρέχει ενδείξεις για τον τρόπο της δημιουργίας του και για την εξέλιξή του. Γνωρίζουμε ότι όλα τα σώματα που έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν εκπέμπουν ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας. Τα χαρακτηριστικά αυτής της ακτινοβολίας συσχετίζονται με τη θερμοκρασία του σώματος που την εκπέμπει. Καταγράφοντας με ειδικά όργανα την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και τα άστρα βρίσκουμε τη θερμοκρασία της επιφάνειάς τους. Σύμφωνα με την επικρατέστερη επιστημονική θεωρία για τη δημιουργία του Κόσμου, το σύμπαν δημιουργήθηκε περίπου πριν από 14 δισεκατομμύρια χρόνια από μία μεγάλη έκρηξη, γνωστή ως Big-Bang. Αμέσως μετά την έκρηξη, η θερμοκρασία του σύμπαντος ήταν τρισεκατομμύρια βαθμοί Κελσίου και η ύλη του ήταν δισεκατομμύρια φορές πιο πυκνή από τη συνηθισμένη. Από τότε το σύμπαν διαστέλλεται και η θερμοκρασία του ελαττώνεται συνεχώς. Σήμερα μπορούμε να ανιχνεύσουμε με κατάλληλες συσκευές υπολείμματα της μεγάλης έκρηξης. Στα αρχικά στάδια της εξέλιξης του σύμπαντος ένα μέρος της ενέργειάς του μετασηματίστηκε σε ακτινοβολία, που υπάρχει μέχρι σήμερα. Η ακτινοβολία αυτή ανιχνεύεται με κατάλληλες συσκευές και βρέθηκε ότι αντιστοιχεί στην ακτινοβολία ενός σώματος που έχει θερμοκρασία 3 K (-270°C) περίπου, έτσι λέμε ότι η θερμοκρασία του σύμπαντος σήμερα είναι 3 K.

### 5.3. Διάσταση βασικών εννοιών

Στον τομέα της διάστασης των βασικών ερευνών παρουσιάζονται οι ορισμοί της ενέργειας, οι μορφές της ενέργειας, η μεταφορά και διατήρηση της ενέργειας, η θερμότητα, η σχέση μεταξύ ενέργειας και δυνάμεων, η ενέργεια στις χημικές διεργασίες και την καθημερινή ζωή και μια σειρά προτεινόμενων ασκήσεων.

### 5.3.1. Ορισμοί της ενέργειας

Τι είναι ενέργεια; Το ότι υπάρχει μια ενιαία ποσότητα που ονομάζεται ενέργεια οφείλεται στο αξιοσημείωτο γεγονός ότι η συνολική ενέργεια ενός συστήματος διατηρείται. Ανεξάρτητα από τις ποσότητες ενέργειας που μεταφέρονται μεταξύ των υποσυστημάτων και αποθηκεύονται με διάφορους τρόπους μέσα στο σύστημα, η συνολική ενέργεια ενός συστήματος αλλάζει μόνο κατά την ποσότητα ενέργειας που μεταφέρεται μέσα και έξω από το σύστημα.

Στη μακροσκοπική κλίμακα, η ενέργεια εκδηλώνεται σε πολλαπλά φαινόμενα, όπως κίνηση, φως, ήχος, ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία και θερμική ενέργεια. Ιστορικά, εισήχθησαν διαφορετικές μονάδες για την ενέργεια που υπάρχει σε αυτά τα διαφορετικά φαινόμενα και χρειάστηκε λίγος χρόνος μέχρι να αναγνωριστούν οι σχέσεις μεταξύ τους. Η ενέργεια γίνεται καλύτερα κατανοητή στη μικροσκοπική κλίμακα, στην οποία μπορεί να μοντελοποιηθεί είτε ως κινήσεις σωματιδίων είτε ως αποθηκευμένες σε δυναμικά πεδία (ηλεκτρικά, μαγνητικά, βαρυτικά) που μεσολαβούν στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων. Αυτή η τελευταία ιδέα περιλαμβάνει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ένα φαινόμενο στο οποίο η ενέργεια που αποθηκεύεται σε πεδία κινείται στο διάστημα (φως, ραδιοκύματα) χωρίς υποστηρικτικό μέσο ύλης.

Η ενέργεια είναι μια ποσοτική ιδιότητα ενός συστήματος που εξαρτάται από την κίνηση και τις αλληλεπιδράσεις της ύλης και της ακτινοβολίας μέσα σε αυτό το σύστημα. Το ότι υπάρχει μια ενιαία ποσότητα που ονομάζεται ενέργεια οφείλεται στο γεγονός ότι η συνολική ενέργεια ενός συστήματος διατηρείται, ακόμη και όταν, εντός του συστήματος, η ενέργεια μεταφέρεται συνεχώς από το ένα αντικείμενο στο άλλο και μεταξύ των διαφόρων πιθανών μορφών του. Μονάδα ενέργειας είναι το Joule.

### 5.3.2. Μορφές ενέργειας

Στη μακροσκοπική κλίμακα, η ενέργεια εκδηλώνεται με πολλούς τρόπους, όπως στην κίνηση, τον ήχο, το φως και τη θερμική ενέργεια. Η «μηχανική ενέργεια» αναφέρεται γενικά σε κάποιο συνδυασμό κίνησης και αποθηκευμένης ενέργειας σε μια μηχανή λειτουργίας. Η «χημική ενέργεια» χρησιμοποιείται γενικά για να σημαίνει την ενέργεια που μπορεί να απελευθερωθεί ή να αποθηκευτεί σε χημικές διεργασίες και η «ηλεκτρική ενέργεια» μπορεί να σημαίνει ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία ή ενέργεια που μεταδίδεται από

ηλεκτρικά ρεύματα. Ιστορικά, διαφορετικές μονάδες και ονόματα χρησιμοποιήθηκαν για την ενέργεια που υπάρχει σε αυτά τα διαφορετικά φαινόμενα, και χρειάστηκε λίγος χρόνος μέχρι να αναγνωριστούν οι σχέσεις μεταξύ τους. Αυτές οι σχέσεις γίνονται καλύτερα κατανοητές στη μικροσκοπική κλίμακα, στην οποία όλες οι διαφορετικές εκδηλώσεις ενέργειας μπορούν να μοντελοποιηθούν είτε ως κινήσεις σωματιδίων είτε ως ενέργεια που αποθηκεύεται σε πεδία (τα οποία μεσολαβούν στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σωματιδίων). Αυτή η τελευταία έννοια περιλαμβάνει την ακτινοβολία, ένα φαινόμενο στο οποίο η ενέργεια που αποθηκεύεται σε πεδία κινείται στο διάστημα.

Η ενέργεια κίνησης ονομάζεται κινητική ενέργεια. Όσο πιο γρήγορα κινείται ένα δεδομένο αντικείμενο, τόσο περισσότερη ενέργεια διαθέτει. Η κινητική ενέργεια ορίζεται σε ένα δεδομένο πλαίσιο αναφοράς, είναι ανάλογη με τη μάζα του κινούμενου αντικειμένου και μεγαλώνει με το τετράγωνο της ταχύτητάς του, σύμφωνα με τον τύπο:

$$E_{\text{κιν}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

όπου  $m$  είναι η μάζα του κινούμενου αντικειμένου και  $v$  η ταχύτητα του.

Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε πεδία μέσα σε ένα σύστημα μπορεί επίσης να περιγραφεί ως δυναμική ενέργεια. Ένα σύστημα αντικειμένων μπορεί δηλαδή να περιέχει αποθηκευμένη (δυναμική) ενέργεια, ανάλογα με τις σχετικές θέσεις τους. Για παράδειγμα, η ενέργεια αποθηκεύεται – σε βαρυτική αλληλεπίδραση με τη Γη – όταν ένα αντικείμενο υψώνεται και η ενέργεια απελευθερώνεται όταν το αντικείμενο πέφτει ή χαμηλώνει. Για κάθε σύστημα όπου η αποθηκευμένη ενέργεια εξαρτάται μόνο από τη χωρική διαμόρφωση του συστήματος, η δυναμική ενέργεια είναι μια χρήσιμη έννοια (π.χ. ένα τεράστιο αντικείμενο πάνω από την επιφάνεια της Γης, ένα συμπιεσμένο ή τεντωμένο ελατήριο). Ορίζεται ως διαφορά στην ενέργεια σε σύγκριση με κάποια αυθαίρετη διαμόρφωση αναφοράς ενός συστήματος. Για παράδειγμα, η ανύψωση ενός αντικειμένου αυξάνει την αποθηκευμένη ενέργεια στο βαρυτικό πεδίο μεταξύ αυτού του αντικειμένου και της Γης (βαρυτική δυναμική ενέργεια) σε σύγκριση με αυτήν για το αντικείμενο στην επιφάνεια της Γης. όταν το αντικείμενο πέφτει, η αποθηκευμένη ενέργεια μειώνεται και η κινητική ενέργεια του αντικειμένου αυξάνεται. Όταν ένα εκκρεμές ταλαντεύεται, κάποια αποθηκευμένη ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια και πάλι σε αποθηκευμένη ενέργεια κατά τη διάρκεια κάθε αιώρησης. (Και στα δύο παραδείγματα η ενέργεια μεταφέρεται έξω από το σύστημα λόγω συγκρούσεων με τον αέρα και για το εκκρεμές επίσης λόγω τριβής στη στήριξή του). Η δυναμική ενέργεια λόγω

βαρύτητας είναι ανάλογη με τη μάζα του σώματος, το ύψος του πάνω από την επιφάνεια της Γης και την επιτάχυνση της βαρύτητας, σύμφωνα με τον τύπο:

$$E_{\text{δυν}} = m \cdot g \cdot h$$

όπου  $m$  είναι η μάζα του αντικειμένου,  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας στη συγκεκριμένη περιοχή και  $h$  το ύψος του από την επιφάνεια της Γης. Οποιαδήποτε αλλαγή στη δυναμική ενέργεια συνοδεύεται από αλλαγές σε άλλες μορφές ενέργειας εντός του συστήματος ή από μεταφορές ενέργειας μέσα ή έξω από το σύστημα.

Το άθροισμα της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας ονομάζεται μηχανική ενέργεια. Δηλαδή:

$$E_{\text{μηχ}} = E_{\text{δυν}} + E_{\text{κιν}}$$

Όταν σ' ένα σώμα ή σύστημα επιδρούν μόνο βαρυτικές, ηλεκτρικές ή δυνάμεις ελαστικής παραμόρφωσης, η μηχανική του ενέργεια διατηρείται σταθερή.

Η ύλη σε οποιαδήποτε θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν περιέχει θερμική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια είναι η τυχαία κίνηση των σωματιδίων (είτε δονήσεις σε στερεά ύλη είτε μόρια είτε ελεύθερη κίνηση σε ένα αέριο), αυτή η ενέργεια κατανέμεται μεταξύ όλων των σωματιδίων ενός συστήματος μέσω συγκρούσεων και αλληλεπιδράσεων σε απόσταση. Αντίθετα, ένα ηχητικό κύμα είναι ένα κινούμενο σχέδιο δονήσεων σωματιδίων που μεταδίδει ενέργεια μέσω ενός μέσου.

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία περιέχουν επίσης ενέργεια. Η ενέργεια αποθηκεύεται στα ηλεκτρικά πεδία μεταξύ των φορτισμένων σωματιδίων και στα μαγνητικά πεδία μεταξύ των μαγνητών και αλλάζει όταν αυτά τα αντικείμενα μετακινούνται το ένα σε σχέση με το άλλο. Οποιαδήποτε αλλαγή στις σχετικές θέσεις των φορτισμένων αντικειμένων (ή στις θέσεις ή τους προσανατολισμούς των μαγνητών) αλλάζει τα πεδία μεταξύ τους και συνεπώς την ποσότητα ενέργειας που αποθηκεύεται σε αυτά τα πεδία. Όταν ένα σωματίδιο σε ένα μόριο στερεάς ύλης δονείται, η ενέργεια μετασχηματίζεται συνεχώς εμπρός και πίσω μεταξύ της ενέργειας της κίνησης και της ενέργειας που αποθηκεύεται στο ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο εντός της ύλης. Η ύλη σε σταθερή μορφή ελαχιστοποιεί την αποθηκευμένη ενέργεια στα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία μέσα σε αυτήν. Αυτό ορίζει τις θέσεις ισορροπίας και την απόσταση των ατομικών πυρήνων σε ένα μόριο ή ένα εκτεταμένο στερεό

και τη μορφή των συνδυασμένων κατανομών φορτίου ηλεκτρονίων τους (π.χ. χημικοί δεσμοί, μέταλλα). Η αποθηκευμένη ενέργεια μειώνεται σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις και αυξάνεται σε άλλες.

Η ακτινοβολία μπορεί να εκπέμπεται ή να απορροφάται από την ύλη. Όταν η ύλη απορροφά φως ή υπέρυθρη ακτινοβολία, η ενέργεια αυτής της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμική κίνηση των σωματιδίων στην ύλη ή, για μικρότερα μήκη κύματος (υπεριώδεις, ακτίνες X), η ενέργεια της ακτινοβολίας απορροφάται από τα άτομα ή τα μόρια και μπορεί πιθανώς να ιονιστεί όταν χτυπά σε ένα ηλεκτρόνιο. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (όπως το φως και οι ακτίνες X) μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ένα κύμα μεταβαλλόμενων ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Στην υποατομική κλίμακα (δηλαδή, στην κβαντική θεωρία), πολλά φαινόμενα που περιλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (π.χ. φωτοηλεκτρικό φαινόμενο) μοντελοποιούνται καλύτερα ως ένα ρεύμα σωματιδίων που ονομάζονται φωτόνια. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία από τον ήλιο είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας για τη ζωή στη Γη.

Η ιδέα ότι υπάρχουν διαφορετικές μορφές ενέργειας, όπως η θερμική ενέργεια, η μηχανική ενέργεια και η χημική ενέργεια, είναι παραπλανητική, καθώς υπονοεί ότι η φύση της ενέργειας σε καθεμία από αυτές τις εκδηλώσεις είναι ξεχωριστή, ενώ στην πραγματικότητα όλες είναι τελικά, την ατομική κλίμακα, κάποιο μείγμα κινητικής ενέργειας, αποθηκευμένης ενέργειας και ακτινοβολίας. Είναι επίσης παραπλανητικό να αποκαλούμε τον ήχο ή το φως μια μορφή ενέργειας. Είναι φαινόμενα που, μεταξύ των άλλων ιδιοτήτων τους, μεταφέρουν ενέργεια από τόπο σε τόπο και μεταξύ αντικειμένων.

### **5.3.3. Μεταφορά και διατήρηση της ενέργειας**

Πώς μεταφέρεται και διατηρείται η ενέργεια; Οι αλληλεπιδράσεις των αντικειμένων μπορούν να εξηγηθούν και να προβλεφθούν χρησιμοποιώντας την έννοια της μεταφοράς ενέργειας από ένα αντικείμενο ή σύστημα αντικειμένων σε ένα άλλο. Η συνολική ενέργεια μέσα σε ένα καθορισμένο σύστημα αλλάζει μόνο με τη μεταφορά ενέργειας μέσα ή έξω από το σύστημα. Η συνολική μεταβολή της ενέργειας σε οποιοδήποτε σύστημα είναι πάντα ίση με τη συνολική ενέργεια που μεταφέρεται μέσα ή έξω από το σύστημα. Η διαπίστωση αυτή οδηγεί στη διατύπωση μιας από τις γενικότερες αρχές της φυσικής, την αρχή διατήρησης της ενέργειας:

«Η ενέργεια ποτέ δεν παράγεται από το μηδέν και ποτέ δεν εξαφανίζεται. Μπορεί να μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, ή να μεταφέρεται από ένα σώμα σε άλλο».

Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί ή να καταστραφεί, αλλά μπορεί να μεταφερθεί από το ένα μέρος στο άλλο και να μεταφερθεί μεταξύ των συστημάτων. Πολλοί διαφορετικοί τύποι φαινομένων μπορούν να εξηγηθούν με όρους μεταφοράς ενέργειας. Οι μαθηματικές εκφράσεις, οι οποίες ποσοτικοποιούν τις αλλαγές στις μορφές ενέργειας μέσα σε ένα σύστημα και τις μεταφορές ενέργειας μέσα ή έξω από το σύστημα, επιτρέπουν στην έννοια της διατήρησης της ενέργειας να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη και την περιγραφή της συμπεριφοράς ενός συστήματος.

Η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί από τόπο σε τόπο με κινούμενα αντικείμενα ή μέσω ήχου, φωτός, θερμότητας ή ηλεκτρικών ρευμάτων. Όταν τα αντικείμενα συγκρούονται ή έρχονται σε επαφή με άλλο τρόπο, η ενέργεια κίνησης ενός αντικειμένου μπορεί να μεταφερθεί για να αλλάξει η κίνηση ή η αποθηκευμένη ενέργεια (π.χ. αλλαγή στο σχήμα ή τη θερμοκρασία) των άλλων αντικειμένων. Για μακροσκοπικά αντικείμενα, οποιαδήποτε τέτοια διαδικασία (π.χ. συγκρούσεις, επαφή ολίσθησης) μεταφέρει επίσης μέρος της ενέργειας στον περιβάλλοντα αέρα μέσω του ήχου ή της θερμότητας. Για τα μόρια, οι συγκρούσεις μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε μεταφορές ενέργειας μέσω χημικών διεργασιών, οι οποίες αυξάνουν ή μειώνουν τη συνολική ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας σε ένα σύστημα ατόμων. η αλλαγή στην αποθηκευμένη ενέργεια εξισορροπείται πάντα από μια αλλαγή στη συνολική κινητική ενέργεια – αυτή των μορίων που υπάρχουν μετά τη διαδικασία σε σύγκριση με την κινητική ενέργεια των μορίων που υπάρχουν πριν από αυτήν.

Τα μη ελεγχόμενα συστήματα εξελίσσονται πάντα προς πιο σταθερές καταστάσεις – δηλαδή προς πιο ομοιόμορφη κατανομή ενέργειας εντός του συστήματος ή μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος του. Π.χ. κάθε αντικείμενο ή σύστημα που μπορεί να υποβαθμιστεί χωρίς πρόσθετη ενέργεια είναι ασταθές. Τελικά θα αλλάξει ή θα καταρρεύσει, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να παραμείνει σε ασταθή κατάσταση για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν αποσυντεθεί (π.χ. μακρόβια ραδιενεργά ισότοπα).



### 5.3.4. Η Θερμότητα

Θερμότητα ονομάζουμε την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ τους. Η θέρμανση είναι μια διαδικασία μεταφοράς ενέργειας. Η μεταφορά θερμότητας συμβαίνει όταν δύο αντικείμενα ή συστήματα βρίσκονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Η ενέργεια μετακινείται από αντικείμενα υψηλότερης θερμοκρασίας και σε χαμηλότερης θερμοκρασίας, ψύχοντας τα πρώτα και θερμαίνοντας τα δεύτερα. Αυτή η μεταφορά γίνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους—με αγωγιμότητα μέσα στα στερεά, με τη ροή υγρού ή αερίου (συναγωγή) και με ακτινοβολία, η οποία μπορεί να ταξιδέψει στο διάστημα. Ακόμη και όταν ένα σύστημα είναι απομονωμένο (όπως η Γη στο διάστημα), η ενέργεια μεταφέρεται συνεχώς μέσα και έξω από αυτό με ακτινοβολία. Όταν οι θερμοκρασίες των δύο σωμάτων γίνουν ίσες σταματά η μεταφορά θερμότητας και τότε λέμε ότι έχουμε θερμική ισορροπία.

Οι διεργασίες που διέπουν τη συναγωγή και την αγωγή μπορούν να γίνουν κατανοητές με όρους μοντέλων των πιθανών κινήσεων των σωματιδίων στην ύλη. Τα μικροσκοπικά σωματίδια από τα οποία αποτελείται ένα σώμα μπορούν να χαρακτηριστούν ως οι δομικοί λίθοι του. Στα περισσότερα σώματα οι δομικοί λίθοι είναι τα μόρια, σε μερικά όμως μπορεί να είναι τα άτομα ή και τα ιόντα. Οι μακροσκοπικές ιδιότητες των στερεών και των υγρών μπορούν επίσης να ερμηνευτούν με βάση τον τρόπο κίνησης των δομικών τους λίθων. Τα υγρά έχουν σταθερό όγκο, δεν έχουν συγκεκριμένο σχήμα, αλλά παίρνουν το σχήμα του δοχείου μέσα στο οποίο τα μεταγγίζουμε. Επίσης ρέουν. Φανταζόμαστε ότι στα υγρά οι δομικοί λίθοι επίσης κινούνται άτακτα «γλιστρώντας» ο ένας επάνω στον άλλο, αλλά διατηρώντας σταθερές αποστάσεις. Αντιθέτως, τα στερεά έχουν συγκεκριμένο σχήμα και βέβαια όγκο. Οι δομικοί τους λίθοι είναι τοποθετημένοι σε καθορισμένες θέσεις γύρω από τις οποίες κινούνται άτακτα. Η συνεχής, άτακτη κίνηση των δομικών λίθων συνδέεται στενά με τη θερμοκρασία του σώματος: Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ενός σώματος, τόσο μεγαλύτερη κινητική ενέργεια έχουν οι δομικοί του λίθοι λόγω της άτακτης κίνησής τους. Επίσης, η μεταφορά ενέργειας μεταξύ των δομικών λίθων μέσω συγκρούσεων αντιστοιχεί στη μεταφορά θερμότητας μεταξύ των σωμάτων.

Η κινητική ενέργεια που έχουν συνολικά οι δομικοί λίθοι ενός σώματος, επειδή κινούνται άτακτα, ονομάζεται θερμική ενέργεια του σώματος. Η θερμική ενέργεια ενός σώματος εξαρτάται τόσο από την κινητική ενέργεια κάθε δομικού λίθου όσο και από το συνολικό τους αριθμό. Επομένως, η θερμική ενέργεια εξαρτάται από τη θερμοκρασία και από τη μάζα του

σώματος. Ένα σώμα με μεγάλη μάζα είναι δυνατόν να έχει περισσότερη θερμική ενέργεια από ένα άλλο σώμα με μικρότερη μάζα, έστω και αν το δεύτερο έχει πολύ υψηλότερη θερμοκρασία. Από την άλλη μεριά, η θερμοκρασία ενός σώματος συνδέεται με τη μέση κινητική ενέργεια των δομικών του λίθων. Δηλαδή, με την κινητική ενέργεια του καθενός δομικού λίθου, αν θεωρήσουμε ότι όλοι έχουν την ίδια. Επομένως, η θερμοκρασία του σώματος δεν εξαρτάται από τον αριθμό των δομικών του λίθων, δηλαδή από τη μάζα του σώματος. Έτσι εξηγείται γιατί η θερμοκρασία είναι ίδια σε όλα τα σημεία ενός σώματος, που βρίσκεται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του.

Οι δομικοί λίθοι (μόρια) κάθε αερίου κινούνται ελεύθερα μακριά ο ένας από τον άλλο. Μεταξύ των δομικών λίθων μορίων ενός αερίου δεν ασκούνται δυνάμεις. Οι δομικοί λίθοι ενός αερίου δεν αλληλεπιδρούν. Οι δομικοί λίθοι ενός υγρού αλληλεπιδρούν, με αποτέλεσμα να συγκρατούνται μεταξύ τους και να δημιουργούν σταγόνες. Οι δομικοί λίθοι ενός στερεού σώματος επίσης αλληλεπιδρούν, αλλά ισχυρότερα από ό,τι στα υγρά. Έτσι, στα στερεά συγκρατούνται σε καθορισμένες θέσεις, με αποτέλεσμα να συνθέτουν ένα σώμα με σταθερό όγκο και συγκεκριμένο σχήμα. Επομένως στα υγρά και στα στερεά κάθε δομικός λίθος εκτός από κινητική ενέργεια έχει επίσης και δυναμική ενέργεια λόγω της αλληλεπίδρασής του με τους άλλους δομικούς λίθους. Η κινητική και δυναμική ενέργεια που έχουν συνολικά οι δομικοί λίθοι, επειδή κινούνται άτακτα και επειδή ασκούνται δυνάμεις μεταξύ τους, ονομάζεται εσωτερική ενέργεια του σώματος.

Η θερμότητα, ως μορφή ενέργειας, υπακούει στην αρχή διατήρησης της ενέργειας. Επομένως ισχύει ότι:

«Το ποσό θερμότητας ( $Q$ ) που απορροφά ή αποβάλλει ένα θερμοδυναμικό σύστημα είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα της μεταβολής της εσωτερικής του ενέργειας και του έργου που παράγει ή δαπανά το σύστημα»

Η παραπάνω διατύπωση αποτελεί τον 1<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό νόμο και η μαθηματική του είναι:

$$\Delta U = Q - W$$

Όπου  $\Delta U$  είναι η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας ενός συστήματος,  $Q$  το ποσό της θερμότητας που απορροφά το σύστημα από το περιβάλλον και  $W$  το έργο που παράγεται από το σύστημα (μηχανικό, ηλεκτρικό κ.λπ.).

Η θερμοκρασία του σώματος προσδιορίζεται από την ένδειξη του θερμομέτρου, το οποίο πρέπει να βρίσκεται σε επαφή με αυτό. Η λειτουργία των θερμομέτρων βασίζεται στη μεταβολή των ιδιοτήτων ορισμένων υλικών όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία τους. Για παράδειγμα, στο υδραργυρικό θερμοόμετρο όταν η θερμοκρασία αυξάνεται, το μήκος της στήλης του υδραργύρου μεγαλώνει. Τα θερμοόμετρα υπάρχουν σε διάφορους τύπους και μεγέθη.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιούμε κλίμακες βαθμονόμησης των θερμομέτρων, οι σημαντικότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

- Η κλίμακα Κελσίου στην οποία η θερμοκρασία συμβολίζεται ως  $T_C$ . Η θερμοκρασία που λιώνει ο πάγος και γίνεται νερό ορίζεται σε 0 βαθμούς ( $0^\circ\text{C}$ ) και η θερμοκρασία που το νερό βράζει και γίνεται αέριο ορίζεται στους 100 βαθμούς ( $100^\circ\text{C}$ ). Η κλίμακα προκύπτει χωρίζοντας το διάστημα μεταξύ των δύο αυτών αριθμών σε 100 ίσα τμήματα.
- Η κλίμακα Κέλβιν στην οποία η θερμοκρασία συμβολίζεται ως  $T_K$ . Η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό Κέλβιν είναι ίση με μεταβολή θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό Κελσίου. Επειδή τα πειράματα έδειξαν ότι κανένα υλικό δεν μπορεί να ψυχθεί σε θερμοκρασία μικρότερη από  $-273^\circ\text{C}$ , στην κλίμακα Κέλβιν το 0 ορίστηκε στη θερμοκρασία αυτή. Επομένως, για να μετατρέψουμε τους βαθμούς Κελσίου ( $T_C$ ) σε βαθμούς Κέλβιν ( $T_K$ ), χρησιμοποιούμε την αριθμητική σχέση:  $T_K = T_C + 273$ .
- Η κλίμακα Φαρενάιτ στην οποία η θερμοκρασία συμβολίζεται ως  $T_F$ . Στην κλίμακα αυτή το 0 ορίζεται ως η θερμοκρασία ενός μείγματος ίσων ποσοτήτων από πάγο, νερό και θαλασσινό αλάτι και η θερμοκρασία του υγιούς ανθρώπινου σώματος ορίζεται ως 96 βαθμοί. Η κλίμακα προκύπτει χωρίζοντας το διάστημα μεταξύ των δύο αυτών αριθμών σε 96 ίσα τμήματα. Για να μετατρέψουμε τους βαθμούς Κελσίου ( $T_C$ ) σε βαθμούς Φαρενάιτ ( $T_F$ ), χρησιμοποιούμε την αριθμητική σχέση:  $T_F = 32^\circ + 1,8 \cdot T_C$ .

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος είναι οι εξής:

- Η μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος είναι ανάλογη της ποσότητας της θερμότητας που μεταφέρεται προς ή από αυτό.
- Η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για συγκεκριμένη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός σώματος, είναι ανάλογη της μάζας του.

- Η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για συγκεκριμένη μεταβολή της θερμοκρασίας δυο σωμάτων ίδιας μάζας, εξαρτάται από το είδος του υλικού των σωμάτων.

Η μαθηματική έκφραση των παραπάνω συμπερασμάτων αποτελεί τον νόμο της Θερμιδομετρίας και είναι η εξής:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

Όπου Q είναι η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από ή προς ένα σώμα, m η μάζα του σώματος και c είναι μια σταθερά, που εξαρτάται από το υλικό του σώματος και ονομάζεται ειδική θερμότητα. Η ειδική θερμότητα ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας που χρειάζεται για να μεταβληθεί η θερμοκρασία 1 kg κάποιου υλικού κατά 1°C και χαρακτηρίζει το κάθε υλικό. Από τον νόμο της Θερμιδομετρίας προκύπτει ότι η μονάδα της ειδικής θερμότητας είναι το  $\frac{J}{kg \cdot C}$ .

### 5.3.5. Σχέση μεταξύ ενέργειας και δυνάμεων

Πώς συνδέονται οι δυνάμεις με την ενέργεια; Όταν δύο αντικείμενα αλληλεπιδρούν, το καθένα ασκεί μια δύναμη στο άλλο. Αυτές οι δυνάμεις μπορούν να μεταφέρουν ενέργεια μεταξύ των αντικειμένων. Για παράδειγμα, όταν η ενέργεια μεταφέρεται σε ένα σύστημα Γης – αντικειμένου καθώς ένα αντικείμενο ανυψώνεται, η ενέργεια του βαρυτικού πεδίου του συστήματος αυξάνεται. Αυτή η ενέργεια απελευθερώνεται καθώς το αντικείμενο πέφτει. Ο μηχανισμός αυτής της απελευθέρωσης είναι η βαρυτική δύναμη. Ομοίως, δύο μαγνητικά και ηλεκτρικά φορτισμένα αντικείμενα που αλληλεπιδρούν σε απόσταση ασκούν δυνάμεις μεταξύ τους που μπορούν να μεταφέρουν ενέργεια μεταξύ των αντικειμένων που αλληλεπιδρούν.

Για τη σχέση μεταξύ δύναμης και ενέργειας πρέπει να γνωρίζουμε τα εξής:

- Η μεταφορά της ενέργειας σε μια σύγκρουση οφείλεται στις δυνάμεις επαφής μεταξύ των συγκρουόμενων αντικειμένων που δημιουργούν πεδία ηλεκτρομαγνητικής δύναμης μεταξύ των επιφανειακών σωματιδίων.
- Όταν δύο αντικείμενα που αλληλεπιδρούν μέσω ενός πεδίου δύναμης αλλάζουν τη σχετική τους θέση, η ενέργεια στο πεδίο δύναμης μεταξύ τους αλλάζει.
- Οι μεγαλύτερες ταχύτητες κατά τη διάρκεια μιας σύγκρουσης μπορούν να προκαλέσουν μεγαλύτερη αλλαγή στο σχήμα των αντικειμένων που συγκρούονται.

- Όταν τα αντικείμενα συγκρούονται, οι δυνάμεις επαφής μεταφέρουν ενέργεια έτσι ώστε να αλλάξουν οι κινήσεις των αντικειμένων.
- Για οποιοδήποτε τέτοιο ζεύγος αντικειμένων η δύναμη σε κάθε αντικείμενο δρα κατά την κατεύθυνση που η κίνηση αυτού του αντικειμένου προς αυτή την κατεύθυνση θα μείωνε την ενέργεια στο πεδίο δύναμης μεταξύ των δύο αντικειμένων. Ωστόσο, η προηγούμενη κίνηση και άλλες δυνάμεις επηρεάζουν επίσης την πραγματική κατεύθυνση της κίνησης.

Οι δυνάμεις μεταξύ δύο αντικειμένων σε απόσταση εξηγούνται από τα πεδία δυνάμεων (βαρυτικά, ηλεκτρικά ή μαγνητικά) μεταξύ τους. Π.χ. οι μαγνήτες μπορούν να ασκήσουν δυνάμεις σε άλλους μαγνήτες ή σε μαγνητιζόμενα υλικά, προκαλώντας μεταφορά ενέργειας μεταξύ τους (π.χ., που οδηγεί σε αλλαγές στην κίνηση) ακόμα και όταν τα αντικείμενα δεν αγγίζονται. Τα πεδία δυνάμεων (βαρυτικά, ηλεκτρικά και μαγνητικά) περιέχουν ενέργεια και μπορούν να μεταδώσουν ενέργεια στο διάστημα από το ένα αντικείμενο στο άλλο. Όταν δύο αντικείμενα που αλληλεπιδρούν μέσω ενός πεδίου δύναμης αλλάζουν σχετική θέση, η ενέργεια που αποθηκεύεται στο πεδίο δύναμης αλλάζει. Κάθε δύναμη μεταξύ των δύο αλληλεπιδρώντων αντικειμένων ενεργεί προς την κατεύθυνση που η κίνηση προς αυτή την κατεύθυνση θα μείωνε την ενέργεια στο πεδίο δύναμης μεταξύ των αντικειμένων. Ωστόσο, η προηγούμενη κίνηση και άλλες δυνάμεις επηρεάζουν επίσης την πραγματική κατεύθυνση της κίνησης.

### **5.3.6. Η ενέργεια στις χημικές διεργασίες και την καθημερινή ζωή**

Πώς τα τρόφιμα και τα καύσιμα παρέχουν ενέργεια; Εάν η ενέργεια διατηρείται, γιατί λένε οι άνθρωποι ότι παράγεται ή χρησιμοποιείται; Στη συνηθισμένη γλώσσα, οι άνθρωποι μιλούν για «παραγωγή» ή «χρήση» ενέργειας. Αυτό αναφέρεται στο γεγονός ότι η ενέργεια σε συμπυκνωμένη μορφή είναι χρήσιμη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, την κίνηση ή τη θέρμανση αντικειμένων και την παραγωγή φωτός, ενώ η διάχυτη ενέργεια στο περιβάλλον δεν δεσμεύεται εύκολα για πρακτική χρήση. Επομένως, η παραγωγή ενέργειας συνήθως σημαίνει να μετατρέψεις κάποια αποθηκευμένη ενέργεια σε μια επιθυμητή μορφή - για παράδειγμα, η αποθηκευμένη ενέργεια του νερού πίσω από ένα φράγμα απελευθερώνεται καθώς το νερό ρέει κατηφορικά και οδηγεί μια γεννήτρια στροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία στη συνέχεια παραδίδεται στους χρήστες μέσω συστημάτων διανομής. Η έκφραση «παραγωγή ενέργεια» αναφέρεται δηλαδή στη μετατροπή της αποθηκευμένης ενέργειας σε μια επιθυμητή μορφή για πρακτική χρήση – για παράδειγμα,

η αποθηκευμένη ενέργεια του νερού πίσω από ένα φράγμα απελευθερώνεται έτσι ώστε να ρέει καταφορικά και να οδηγεί μια γεννήτρια στροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα τρόφιμα και τα καύσιμα απελευθερώνουν επίσης ενέργεια όταν χωνεύονται ή καίγονται. Όταν μηχανές ή ζώα «χρησιμοποιούν» ενέργεια (π.χ. για να μετακινηθούν), τις περισσότερες φορές η ενέργεια μεταφέρεται για να θερμάνει το περιβάλλον.

Η ενέργεια επίσης δεν καταστρέφεται στο τέλος της διαδικασίας. Τις περισσότερες φορές ένα μέρος ή το σύνολο του έχει μεταφερθεί για να θερμάνει το περιβάλλον. με την ίδια έννοια που το χαρτί δεν καταστρέφεται όταν γράφεται πάνω, υπάρχει ακόμα αλλά δεν είναι άμεσα διαθέσιμο για περαιτέρω χρήση. Αν και η ενέργεια δεν μπορεί να καταστραφεί, μπορεί να μετατραπεί σε λιγότερο χρήσιμες μορφές. Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας, διανομής ενέργειας ή για την εκτέλεση ορισμένων πρακτικών εργασιών (π. επιθυμητό σκοπό αντί να μεταφέρεται έξω από το σύστημα με ανεπιθύμητους τρόπους (π.χ. μέσω τριβής, η οποία τελικά οδηγεί σε μεταφορά θερμικής ενέργειας στο περιβάλλον). Π.χ. όταν δύο αντικείμενα τρίβονται μεταξύ τους, αυτή η αλληλεπίδραση ονομάζεται τριβή. Η τριβή μεταξύ δύο επιφανειών μπορεί να θερμάνει και τις δύο (π.χ. τρίψιμο των χεριών μεταξύ τους) – υπάρχουν τρόποι να μειωθεί η τριβή μεταξύ δύο αντικειμένων. Η βελτίωση της απόδοσης μειώνει το κόστος, τα απόβλητα υλικά και πολλές ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τα τρόφιμα, τα καύσιμα και οι μπαταρίες είναι ιδιαίτερα βολικοί ενεργειακοί πόροι, επειδή μπορούν να μετακινηθούν από μέρος σε μέρος για να παρέχουν διαδικασίες που απελευθερώνουν ενέργεια όπου χρειάζεται. Ένα σύστημα δεν καταστρέφει ενέργεια όταν εκτελεί οποιαδήποτε διαδικασία. Ωστόσο, η διαδικασία δεν μπορεί να συμβεί χωρίς να υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια. Τα φυσικά τρόφιμα και τα καύσιμα περιέχουν πολύπλοκα μόρια με βάση τον άνθρακα, τα οποία προέρχονται κυρίως από φυτική ύλη που έχει σχηματιστεί από τη φωτοσύνθεση. Η χημική αντίδραση αυτών των μορίων με το οξυγόνο απελευθερώνει ενέργεια. Τέτοιες αντιδράσεις παρέχουν ενέργεια για τα περισσότερα ζώα και για οικιστικές, εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Η ενέργεια που απελευθερώνεται από την καύση του καυσίμου ή την πέψη της τροφής ήταν κάποτε ενέργεια από τον ήλιο που δεσμεύτηκε από τα φυτά στη χημική διαδικασία που σχηματίζει φυτική ύλη (από τον αέρα και το νερό). Οι διαδικασίες πυρηνικής σύντηξης στο κέντρο του ήλιου απελευθερώνουν την ενέργεια που τελικά φτάνει στη Γη ως ακτινοβολία. Ο κύριος τρόπος με τον οποίο αυτή η ηλιακή ενέργεια συλλαμβάνεται και αποθηκεύεται στη Γη είναι μέσω της πολύπλοκης

χημικής διαδικασίας που είναι γνωστή ως φωτοσύνθεση. Πρόκειται για μια χημική αντίδραση κατά την οποία με την εισροή ενέργειας (δηλαδή από το ηλιακό φως) τα φυτά χρησιμοποιούν το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό για να σχηματίσουν σύνθετα μόρια οργανικά τροφής με βάση τον άνθρακα (σάκχαρα και να απελευθερώσουν οξυγόνο.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε ορυκτά καύσιμα (δηλαδή άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), πυρηνική σχάση ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. ηλιακή, αιολική, παλιρροιακή, γεωθερμική και υδροηλεκτρική ενέργεια). Οι μεταφορές σήμερα εξαρτώνται κυρίως από ορυκτά καύσιμα, αλλά η χρήση ηλεκτρικών και εναλλακτικών καυσίμων (π.χ. υδρογόνο, βιοκαύσιμα) οχημάτων αυξάνεται. Όλες οι μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων μεταφοράς έχουν συνδεδεμένο οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος και οφέλη, τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι ρυθμιστικές αποφάσεις μπορούν να αλλάξουν την ισορροπία αυτών των δαπανών και οφελών. Είναι σημαντικό να μπορούμε να συγκεντρώνουμε την ενέργεια έτσι ώστε να είναι διαθέσιμη για χρήση όπου και όταν χρειάζεται. Για παράδειγμα, οι μπαταρίες είναι φυσικώς μεταφερόμενες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας, ενώ η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής μεταφέρεται από τόπο σε τόπο.

## Συμπεράσματα

Η εξεύρεση μεθόδων διδασκαλίας της φυσικής που μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση των εννοιών της από τους μαθητές είναι ένα ζήτημα που απασχολεί ιδιαίτερα την εκπαιδευτική κοινότητα, με ζητούμενο την υιοθέτηση διδακτικών πρακτικών που θα κάνουν το μάθημα πιο ευχάριστο και εύκολο στην κατανόηση, αλλά και θα μυήσουν τους μαθητές στην επιστημονική σκέψη. Στο παρελθόν η διδασκαλία ήταν περισσότερο θεωρητική και δασκαλοκεντρική και απαιτούσε από τους μαθητές τη στείρα εκμάθηση και αναπαραγωγή τύπων και την επίλυση ασκήσεων μέσω μεθοδολογίας. Σήμερα όμως, η σύγχρονες διδακτικές προσεγγίσεις εστιάζουν στη διαδραστική προσέγγιση της διδασκαλίας και προϋποθέτουν την ενεργό συμμετοχή των μαθητών, ενώ διεγείρουν το ενδιαφέρον τους μέσω της ανάδειξης των επιστημονικών πρακτικών και της διεπιστημονικότητας των θεωρητικών εννοιών.

Ένα τέτοιο μοντέλο διδασκαλίας είναι αυτό των τριών διαστάσεων, το οποίο σε κάθε θεματική ενότητα της φυσικής αρχικά παρουσιάζει στους μαθητές τις αντίστοιχες επιστημονικές πρακτικές, συνεχίζει με αναφορές σε διεπιστημονικές έννοιες συσχετίζοντας τη φυσική με άλλες επιστήμες και τέλος, παρουσιάζει τις θεωρητικές έννοιες ως αποτέλεσμα όλων αυτών που προηγήθηκαν. Με τον τρόπο αυτό αφενός η φυσική και οι δύσκολες έννοιές της γίνονται προσιτές στους μαθητές, αφετέρου δε οξύνεται η κριτική τους ικανότητα, μαθαίνουν να εργάζονται με επιστημονικό τρόπο και αντιμετωπίζουν την επιστήμη ολιστικά.



## Βιβλιογραφία

### Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών για τη φυσική του Γυμνασίου (ΦΕΚ 421/Β/30-1-2023).

Αντωνίου, Α., Δημητριάδης, Π., Καμπούρης, Κ., Παπαμιχάλης, Κ. & Παπασιμίπα, Λ. (χ.χ.). *Φυσική Β Γυμνασίου*. Διόφαντος.

Βλάχος, Ι. (2004). *Εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες – Η μέθοδος της Εποικοδόμησης*. Γρηγόρης.

Bechelard, G. (1993). Η μόρφωση του επιστημονικού πνεύματος. Το επιστημολογικό εμπόδιο. Γ. Κουζέλης (επιμ.) *Επιστημολογία – Κείμενα*. Νήσος, 324-384.

Γεωργίου, Ν. (2022). Γνωστική Ανάπτυξη. Γεωργίου, Ν. Παπαγεώργη, Ι., Στυλιανού-Γεωργίου, Α. & Κωνσταντίνου, Μ. (επιμ.). *Εκπαιδευτική Ψυχολογία. Πυξίδα στη διδασκαλία και τη μάθηση*. Πεδίο.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robinson, V. (2000). *Οικο-Δομώντας τις Έννοιες των Φυσικών Επιστημών*. Τυπωθήτω –Δαρδανός.

Frey, K. (2005). *Η Μέθοδος Project: Μια μορφή συλλογικής εργασίας στο σχολείο ως θεωρία και πράξη*. (μτφρ. Κ. Μάλλιου). Αφοί Κυριακίδη.

Καραπαναγιώτη, Χ. (2014). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών* [Ανοικτά πανεπιστημιακά μαθήματα]. Πανεπιστήμιο Πατρών – Τμήμα Χημείας. <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CHEM2024/OPEN/%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%204.pdf>.

Κόκκοτας, Π. (2020). *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών - Σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (Τ. 2)*. Γρηγόρης.

Κοσσυβάκη, Φ. (2006). *Εναλλακτική Διδακτική - Προτάσεις για μετάβαση από τη Διδακτική του Αντικειμένου στη Διδακτική του Ενεργού Υποκειμένου*. Gutenberg.

Κουμαράς, Π. (2017). *Διδάσκοντας φυσική αύριο*. Gutenberg.

- Lakatos, I. (1986). *Μεθοδολογία των προγραμμάτων επιστημονικής έρευνας* (μτφρ. Α. Μεταξόπουλος). Σύγχρονα Θέματα.
- Μάμα-Τιμοθέου, Μ. (2022). Η κοινωνικο-γνωστική προσέγγιση στην εκπαίδευση. Γεωργίου, Ν. Παπαγεώργη, Ι., Στυλιανού-Γεωργίου, Α. & Κωνσταντίνου, Μ. (επιμ.). *Εκπαιδευτική Ψυχολογία. Πυξίδα στη διδασκαλία και τη μάθηση*. Πεδίο.
- Μπρίνια, Β. (2007). *Η εισαγωγή της μεθόδου Project (Βιωματική – Επικοινωνιακή Διδασκαλία) στη διδασκαλία των Οικονομικών Επιστημών*. Ένας Οδηγός Εφαρμογής. Gutenberg.
- Σαλβαράς, Ι. (2020). *Παρατήρηση και Αξιολόγηση στην Εκπαίδευση*. Γρηγόρης.
- Σδράλλης, Ι. (2013). *Η Διερευνητική Μέθοδος Διδασκαλίας των Φυσικών Επιστήμων στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση* [Διπλωματική εργασία]. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Σκορδούλης, Κ. & Στεφανίδου, Κ. (2021). *Διδακτική Μεθοδολογία των Φυσικών Επιστημών. Θεωρία και Πρακτική*. Προπομπός.
- Στασινός, Δ. (2020). *Η ειδική συμπεριληπτική εκπαίδευση 2027. Η ελκυστική εκδίπλωσή της στο νέο ψηφιακό σχολείο με ψηφιακούς πρωταθλητές*. Παπαζήσης.
- Ταρατόρη-Τσαλκατίδου, Ε. (2002). *Η Μέθοδος Project στη Θεωρία και στην Πράξη*. Αφοί Κυριακίδη.
- Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας φυσικές επιστήμες – Θεωρητικά ζητήματα, προβληματισμοί*. Πατάκης.

## **Ξενόγλωσση βιβλιογραφία**

- Baroudi, S. & Helder, M. (2019). Behind the scenes: teachers' perspectives on factors affecting the implementation of inquiry-based science instruction. *Research in Science & Technological Education*. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1651259>.
- Bishop, J. & Verleger, M. (2013). The Flipped Classroom: A Survey of the Research. *120th American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition*,

30, 1-18. <https://www.researchgate.net/publication/285935974> The flipped classroom A survey of the research.

- Borthick, A. & Jones, D. (2000). The motivation for collaborative discovery learning online and its application in an information systems assurance course. *Issues in Accounting Education*, 15 (2), 181-210. doi: [10.2308/iace.2000.15.2.181](https://doi.org/10.2308/iace.2000.15.2.181).
- Driver, R. & Oldham, V. (1986) A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122. doi: [10.1080/03057268608559933](https://doi.org/10.1080/03057268608559933).
- Duit, R. & Treagust, D. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25 (6), 671-688. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690305016>.
- Duncan, G. & Cavera, V. (2015). DCIs, SEPs, and CCs, oh my! Understanding the three dimensions of the NGSS. *Science and Children* 52 (2), 16-20.
- Ernest, P. (2004). Images of mathematics, values and gender: A philosophical perspective. B. Allen & S. Johnston-Wilder (eds.) *Mathematics education: Exploring the culture of learning*. Taylor & Francis e-Library, 91-116.
- Eryilmaz, A. (2002). Effects of conceptual assignments and conceptual change discussions on students' misconceptions and achievement regarding force and motion. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (10), 1001-1015. <https://doi.org/10.1002/tea.10054>.
- Fick, S. (2018). What does three-dimensional teaching and learning look like? Examining the potential for crosscutting concepts to support the development of science knowledge. *Science Education*, 102 (1), 5-35. <https://doi.org/10.1002/sce.21313>.
- Harlen W. (2012). Assessment & Inquiry Based Science Education: Issues in Policy and Practice. *Global Network of Science Academies (IAP) Science Education Programme*.

- Hodson, D. (1992). In Search of a Meaningful Relationship: An Exploration of Some Issues Relating to Integration in Science and Science Education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562. <https://doi.org/10.1080/0950069920140506>.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28 (2), 115-135. <https://doi.org/10.1080/0022027980280201>.
- Krajcik, J. (2015). Three-Dimensional Instruction: Using a New Type of Teaching in the Science Classroom. *Science and Children* 53 (3), 6-8.
- Liang, L. & Gabel, D. (2005). Effectiveness of a Constructivist Approach to Science Instruction for Prospective Elementary Teachers. *International Journal of Science Education*, 27 (10), 1143-1162. doi: [10.1080/09500690500069442](https://doi.org/10.1080/09500690500069442).
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. The National Academies Press.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A guide for teaching and learning*. The National Academies Press.
- National Research Council (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.
- Next Generation Science Standards (NGSS). <https://www.nextgenscience.org/>.
- Noddings, N. (1990). Constructivism in Mathematics Education. R. Davis, C. Maher, & N. Noddings (eds.) *Constructivist views on the teaching and learning of mathematics*, 7-18.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L., de Jong, T., Van Riesen, S., Kamp, E., Manoli, C., Zacharia, Z. & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>.
- Piaget, J. (1978). *Behavior and Evolution*. Pantheon.

- Prince, M. (2004). Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, 93 (3), 223-231.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>.
- Ritchhart, R., Church, M. & Morrison, K. (2011). *Making thinking visible: How to promote engagement, understanding, and independence for all learners*. John Wiley & Sons.
- Rodriguez, A. (2015). What about a dimension of engagement, equity and diversity practices? A critique of the next generation science standards. *Journal of Research in Science teaching*, 52 (7), 1031-1051. <https://doi.org/10.1002/tea.21232>.
- Saab, N., Van Joolingen, W. & Van Hout-Wolters, B. (2005). Communication processes in collaborative discovery. *British Journal of Educational Psychology*, 75, 603-621.  
[https://www.researchgate.net/publication/254922716\\_Communication\\_processes\\_in\\_collaborative\\_discovery](https://www.researchgate.net/publication/254922716_Communication_processes_in_collaborative_discovery).
- Sadler, T., Foulk, J. & Friedrichsen, P. (2016). Evolution of a Model for Socio-Scientific Issue Teaching and Learning. *International Journal of Education in Mathematics Science and Technology* 5 (1): 75-87. doi: [10.18404/ijemst.55999](https://doi.org/10.18404/ijemst.55999).
- Slavin, R. (2019). *Educational Psychology: Theory and Practice*. Pearson.
- Sternberg, R. & Sternberg, K. (2016). *Cognitive Psychology (7th edition)*. Wadsworth Publishing.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Zavershneva, E. & Van der Veer, R. (2019). Vygotsky and the cultural-historical approach to human development. W. Pickren, P. Hegarty, Ch. Logan, W. Long, P. Petikainen, & A. Rutherford (eds.) *Oxford research encyclopedia of psychology*. Oxford University Press.
- Zhou, M. & Brown, D. (2015). Educational learning theories. *Education Open Textbooks 1*.  
<http://oer.galileo.usg.edu/education-textbooks/1>.

