



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΦΛΩΡΙΝΑΣ

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΔΗΜΟΤΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

**«Η ΕΜΠΛΟΚΗ ΤΩΝ ΕΚΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΙΓΝΩΣΗΣ ΑΝΑΦΟΡΙΚΑ ΜΕ ΤΗ ΦΥΣΗ ΚΑΙ ΤΟ
ΡΟΛΟ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ»**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑΣ ΖΩΗΣ
ΜΠΑΡΑ**

ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΤΙΤΛΟΥ

Στις «Θετικές Επιστήμες και Νέες Τεχνολογίες»

**ΦΛΩΡΙΝΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2017**

Φύλλο εξέτασης

1. Επόπτης: Πνευματικός Δημήτριος

Βαθμός: _____

Υπογραφή: _____ Ημερομηνία: _____

2. Δεύτερος Βαθμολογητής: Σπύρτου Άννα, Αναπλ. καθηγήτρια ΠΤΔΕ

Βαθμός: _____

Υπογραφή: _____ Ημερομηνία: _____

3. Τρίτος Βαθμολογητής: Κωνσταντίνου Κωνσταντίνος, Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

Βαθμός: _____

Υπογραφή: _____ Ημερομηνία: _____

Γενικός βαθμός: _____

Η συγγραφέας **Ευαγγελία –Ζωή Μπαρά** βεβαιώνει ότι το περιεχόμενο του παρόντος έργου είναι αποτέλεσμα προσωπικής εργασίας και ότι έχει γίνει η κατάλληλη αναφορά στις εργασίες τρίτων, όπου κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο, σύμφωνα με τους κανόνες της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.

Υπογραφή: _____

Ημερομηνία: _____

Στην οικογένεια μου,
την εκ γενετής και την επίκτητη

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	7
Abstract	9
Ευχαριστίες	11
Κεφάλαιο πρώτο: Εισαγωγή.....	13
1.1 Η Εννοιολογική αλλαγή στη Φυσική	13
1.2 Μοντέλα στις φυσικές επιστήμες.....	17
1.2.1 Ορισμός μοντέλων/ Η Φύση και ο ρόλος των μοντέλων	17
1.2.2 Κατηγοριοποίηση μοντέλων	19
1.2.3 Μοντελοποίηση στις φυσικές επιστήμες.....	21
1.2.4 Αντιλήψεις μαθητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση.....	27
1.2.5 Η ανάπτυξη επιστημολογικής επίγνωσης για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων ως μια διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής	31
1.3 Εκτελεστικές λειτουργίες	38
1.3.1 Ορισμός και φύση	38
1.3.2 Οι τρεις εκτελεστικές λειτουργίες: Αναστολή, Εναλλαγή, Ανανέωση	41
1.3.3 Η ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών.....	43
1.3.4 Έργα μέτρησης εκτελεστικών λειτουργιών.....	45
1.3.5 Εκτελεστικές λειτουργίες στην εκπαίδευση	47
1.3.6 Σχέση Εννοιολογικής Αλλαγής και Εκτελεστικών Λειτουργιών	52
1.4 Θεματικό πλαίσιο	55
1.4.1 Η Νανοεπιστήμη στην εκπαίδευση.....	56
1.4.2 Οι μεγάλες ιδέες της νανοεπιστήμης στην εκπαίδευση	58
1.4.3 Η N-ET στη τυπική και μη τυπική εκπαίδευση.....	64
1.4.4 Η N-ET στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα	68
1.4.5 Ιδέες των μαθητών για τη N-ET	70
1.5 Η παρούσα έρευνα	76
1.5.1 Σκοπός και σημαντικότητα της έρευνας	76
1.5.2 Η Σημαντικότητα της παρούσας έρευνας.....	79
1.5.3 Ερευνητικά ερωτήματα/ Υποθέσεις.....	80
Κεφάλαιο Δεύτερο: Μεθοδολογία	83
2.1 Συμμετέχοντες	83
2.2 Ερευνητικός σχεδιασμός	84
2.3 Ανάπτυξη της διδακτικής παρέμβασης.....	86
2.3.1 Σχεδιαστικός άξονας: Επιστημονικά μοντέλα	86
2.3.2 Σχεδιαστικός άξονας : N-ET.....	88
2.4 Η Διδακτική παρέμβαση.....	93

2.5 Μέσα συλλογής δεδομένων	99
2.5.1 Ψυχομετρικά εργαλεία	99
2.5.2 Διαγνωστικά δοκίμια.....	107
2.6 Διαδικασία συλλογής δεδομένων.....	116
2.6.1 Ψυχομετρικά εργαλεία.....	116
2.6.2 Διαγνωστικά δοκίμια.....	117
2.7 Ανάλυση δεδομένων.....	118
2.7.1 Ανάλυση διαγνωστικού δοκιμίου για τα μοντέλα	118
2.7.2 Ανάλυση διαγνωστικού δοκιμίου για την N-ET	138
2.7.3 Συμφωνία μεταξύ βαθμολογητών.....	148
2.7.4 Στατιστική ανάλυση.....	150
Κεφάλαιο Τρίτο: Αποτελέσματα.....	151
3.1 Αλλαγή των ιδεών για τα επιστημονικά μοντέλα και το περιεχόμενο της N-ET.....	151
3.1.1 Αλλαγή των ιδεών αναφορικά με το περιεχόμενο της N-ET	151
3.1.2 Αλλαγή των ιδεών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων	158
3.1.3 Συσχέτιση γνώσεων για τα μοντέλα με τις γνώσεις για το περιεχόμενο της N-ET..	172
3.2 Περιγραφή επιδόσεων στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών.....	176
3.3 Προβλεπτική ικανότητα εκτελεστικών λειτουργιών	178
3.3.1 Προβλεπτική ικανότητα εκτελεστικών λειτουργιών για την αρχική κατανόηση	180
3.3.2 Προβλεπτική ικανότητα εκτελεστικών λειτουργιών για την τελική κατανόηση	182
3.4 Σύγκριση προβλεπτικής ικανότητας εκτελεστικών λειτουργιών σε σχέση με την νοητική ικανότητα	184
3.4.1 Αρχική κατανόηση.....	185
3.4.1 Τελική κατανόηση	186
Κεφάλαιο Τέταρτο: Συμπεράσματα- Συζήτηση.....	192
4.1 Συμπεράσματα αναφορικά με τη διδακτική παρέμβαση.....	192
4.1.1 Κατανόηση του περιεχόμενου της N-ET.....	192
4.1.2 Κατανόηση για τη φύση και ρόλο των μοντέλων	194
4.2 Συμπεράσματα αναφορικά με τη συσχέτιση της επιστημολογικής κατανόησης και της κατανόησης του περιεχομένου.....	197
4.3 Συμπεράσματα αναφορικά με την προβλεπτική ικανότητα των εκτελεστικών λειτουργιών στις αρχικές ιδέες.....	197
4.4 Συμπεράσματα αναφορικά με την προβλεπτική ικανότητα των εκτελεστικών λειτουργιών στις τελικές ιδέες	199
4.5 Συμπεράσματα αναφορικά με τη σύγκριση των εκτελεστικών λειτουργιών και της νοητικής ικανότητας ως προβλεπτικούς παράγοντες.....	199
4.6 Περιορισμοί της έρευνας.....	201
4.7 Προτάσεις	202
4.7.1 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	202

4.7.2 Προτάσεις προς τους εκπαιδευτικούς	203
Κεφάλαιο Πέμπτο: Βιβλιογραφία	205
Κεφάλαιο έκτο: Παράρτημα.....	223
6.1 Φύλλο εργασίας.....	223
6.2 Διαγνωστικό δοκίμιο για τη Νάνο	257
6.3 Διαγνωστικό δοκίμιο για τα μοντέλα.....	3

Περίληψη

Οι μαθητές παρουσιάζουν δυσκολίες, ακόμη και μετά από ρητή διδασκαλία, στην τροποποίηση των ιδεών τους αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων. Η σχέση μεταξύ της εννοιολογικής κατανόησης και αλλαγής και των εκτελεστικών λειτουργιών ξεκίνησε να μελετάται συστηματικά μέσα από συσχετιστικές μελέτες. Παρόλα αυτά, υπάρχει έλλειψη πειραματικών δεδομένων, αναφορικά με την εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών (Ε.Λ) στην εννοιολογική αλλαγή και κατανόηση μετά από διδακτικές παρεμβάσεις.

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση των εκτελεστικών λειτουργιών ως προβλεπτικούς παράγοντες της εννοιολογικής αλλαγής και κατανόησης μετά από σειρά διδακτικών παρεμβάσεων. Διεξήχθη πειραματικός σχεδιασμός με μία πειραματική ομάδα και μετρήσεις πριν και μετά τις διδακτικές παρεμβάσεις. Το δείγμα της έρευνας διαμορφώθηκε από 62 μαθητές ΣΤ΄ τάξης Δημοτικού. Οι αρχικές και τελικές ιδέες των μαθητών καταγράφηκαν με τη χρήση προ-πειραματικού και μετα-πειραματικού δοκιμίου για τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων, καθώς και για το περιεχόμενο της Νανοεπιστήμης- Νανοτεχνολογίας (N-ET). Οι εκτελεστικές λειτουργίες της εναλλαγής, αναστολής και της ανανέωσης της μνήμης εργασίας, όπως και η νοητική ικανότητα των μαθητών εξετάστηκαν, πριν τη διδακτική παρέμβαση, με τη χρήση έργων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (computerized tasks).

Για τη διερεύνηση της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών πραγματοποιήθηκε ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης με ανεξάρτητες μεταβλητές τις Ε.Λ. και εξαρτημένες μεταβλητές την αρχική και τελική κατανόηση των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET. Επιπλέον, για τη διερεύνηση του ερωτήματος αν οι Ε.Λ ή η νοημοσύνη αποτελούν καλύτερους προβλεπτικούς παράγοντες της εννοιολογικής κατανόησης και αλλαγής, πραγματοποιήθηκε σύγκριση

δύο μοντέλων – υποδειγμάτων παλινδρόμησης, ένα μοντέλο με τις εκτελεστικές λειτουργίες και ένα μοντέλο με προβλεπτικό παράγοντα τη νοημοσύνη. Επιπλέον, κατασκευάστηκε και ένα μοντέλο που περιείχε ως προβλεπτικούς παράγοντες τις Ε.Λ. υπό την παρουσία της νοημοσύνης, ώστε να μελετηθεί αν η επίδραση των Ε.Λ. παραμένει στατιστικά σημαντική.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση παλινδρόμησης έδειξαν ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας, μπορούν να προβλέψουν την αρχική και τελική κατανόηση για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Ταυτόχρονα, οι εκτελεστικές λειτουργίες αποτελούν προβλεπτικούς παράγοντες της τελικής κατανόησης για το περιεχόμενο της N-ET. Επιπλέον, στα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι Ε.Λ αποτελούν καλύτερους προβλεπτικούς παράγοντες της εννοιολογικής κατανόησης από τη νοητική ικανότητα. Μπορούμε επομένως να ισχυριστούμε ότι στη βελτίωση που πραγματοποιήθηκε στην εννοιολογική κατανόηση των μαθητών εμπλέκονται οι εκτελεστικές τους λειτουργίες.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έχουν εκπαιδευτικές προεκτάσεις. Φανερόνεται η αναγκαιότητα τροποποίησης των μεθόδων διδασκαλίας, προσανατολισμένες στον εκτελεστικό έλεγχο, με σκοπό την αποτελεσματικότερη διαχείριση της παρέμβασης των αρχικών διαισθητικών ιδεών. Ταυτόχρονα, διαφαίνεται και η αναγκαιότητα εξάσκησης των εκτελεστικών λειτουργιών στο σχολικό πλαίσιο, με σκοπό την βελτίωση των ακαδημαϊκών επιδόσεων των μαθητών.

Λέξεις κλειδιά: Εκτελεστικές λειτουργίες, εννοιολογική κατανόηση και αλλαγή, επιστημονικά μοντέλα, Νανοτεχνολογία

Abstract

Students face difficulties, even after explicit instruction, change their intuitive ideas about the nature and role of scientific models. The relation between executive functions and conceptual understanding and change is, now, being systematically examined through correlation studies. Nevertheless, empirical data about the contribution of the executive functions (E.F.) in Conceptual Change and Understanding after the implementation of a learning sequence, are absent.

The purpose of the present study was to examine whether the executive functions can be considered as predicting factors for conceptual change and understanding after the implementation of a learning sequence. An experimental research design was adopted with pre- and post- measurements. Sixty two sixth-grade Greek pupils participated in the study. The pupils' initial and final ideas were examined via pre-experimental and post-experimental questionnaires regarding the nature and the role of scientific models, as well as the content of nanoscience and technology. Shifting, Inhibition and Updating executive functions, as well as Intelligence were examined with the use of computerized tasks.

In order to search the predictive power of E.F., linear regression analyses took place, having Executive function as the independent variable and pre-test, post-test performance as the dependent variable. In order to compare predictive power of E.F. and intelligence, a comparison was made between two models-regression examples: a model containing E.F. and another one containing intelligence as a predicting factor. Furthermore, to test if the statistical significance of the E.F. predictive power remains in the presence of intelligence, a new model-regression example was made with E.F. and intelligence as predicting factors.

Results revealed that inhibition, shifting and updating executive functions are able to predict the initial understanding and the final conceptual understanding about the nature and the role of scientific models as well as the final conceptual understanding of the content of nanoscience and technology. Moreover, results support that executive functions were more efficient than intelligence at predicting conceptual understanding. Thus, we can claim that executive functions are implicated in the improvement of the pupils' conceptual understanding.

The results of this research have educational implications. There is a need to modify the teaching methods, oriented to executive control, in order to more effectively manage the intervention of the intuitive ideas. At the same time, there is a need for exercising executive functions in the school context in order to improve students' academic performance.

Keywords: Executive functions, conceptual understanding and change, scientific models, Nanoscience technology

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δύο επιβλέποντες καθηγητές μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, τον κ. Δημήτριο Πνευματικό, Καθηγητή στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας και την κ. Άννα Σπύρτου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια στο Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Τους ευχαριστώ, όχι μόνο για τη βοήθεια, τη καθοδήγηση και τη στήριξή τους στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τα 6 χρόνια συνεργασίας σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο, που με διαμόρφωσαν ως μελλοντικό εκπαιδευτικό και άνθρωπο.

Επίσης, θέλω να ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Κωνσταντίνου, Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Κύπρου, για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ στα πλαίσια του προγράμματος Erasmus+ με το Πανεπιστήμιο Κύπρου και την ερευνητική του ομάδα. Η εμπειρία που αποκόμισα, τόσο παρακολουθώντας τα μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κύπρου, όσο και από τη συνύπαρξη στο χώρο της ερευνητικής ομάδας του κ. Κωνσταντίνου, αποτέλεσε εμπειρία ζωής. Θα ήθελα να ευχαριστήσω, επιπλέον, προσωπικά την κ. Όλια Τσιβτανίδου, μεταδιδακτορική φοιτήτρια και συνεργάτη στο Πανεπιστήμιο Κύπρου, για την καθοδήγηση και την ακούραστη βοήθειά της στα πλαίσια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπρόσθετα, θέλω να ευχαριστήσω τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του κ. Κωνσταντίνου: την Παντελίτσα Καρνάου, την Μαρία Χαραλάμπους, την Αγγέλα Χατζηγεωργίου, την Τροοδία Θεωδόρου, την Ευαγγελία Ηρακλέους, την Ειρήνη Δρυμιώτου, τον Δημήτρη Κουρσάρη και τον Μιχάλη Λιβιτζιή, που με έκαναν να νιώσω ότι αποτελώ μέλος της ομάδας τους και με βοήθησαν σε ό,τι χρειάστηκα σε ακαδημαϊκό, αλλά και προσωπικό επίπεδο.

Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες της κ. Σπύρτου, Λεωνίδα Μάνου και Γιώργο Πέικο, για την αμέριστη βοήθειά τους στην ανάλυση των δεδομένων των διαγνωστικών μου δοκιμίων καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα του κ. Πνευματικού, Γιώργο Κυριανάκη, για την βοήθειά του στην ανάλυση των δεδομένων που προέκυψαν από τα έργα εκτελεστικών λειτουργιών. Χωρίς αυτούς η ανάλυση των δεδομένων μου δεν θα μπορούσε να διεκπεραιωθεί.

Επιπλέον, ευχαριστώ από καρδιάς τους διευθυντές, τους δασκάλους, τους γονείς και τους μαθητές, που δέχθηκαν να πραγματοποιήσω την έρευνά μου στο σχολείο τους και συνεργάστηκαν μαζί μου, ώστε να έλθει αυτή η έρευνα εις πέρας. Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που μου παρείχε την ευκαιρία να σπουδάσω και επένδυσε στη μόρφωσή μου. Ελπίζω να ανταποκρίθηκα στις προσδοκίες τους.

Κεφάλαιο πρώτο: Εισαγωγή

1.1 Η Εννοιολογική αλλαγή στη Φυσική

Ένας από τους κυριότερους λόγους για τον οποίο οι μαθητές δυσκολεύονται να κατανοήσουν τις επιστημονικές έννοιες βρίσκεται στο γεγονός ότι διαθέτουν εναλλακτικά εννοιολογικά πλαίσια για να εξηγούν τον κόσμο, τα οποία διαφέρουν με τα εννοιολογικά πλαίσια που είναι κοινά αποδεκτά από την επιστημονική κοινότητα (Carey, 2000).

Σύμφωνα με την Vosniadou (2008, 2013) η έρευνα στην εννοιολογική αλλαγή [E.A.] εξετάζει πώς οι έννοιες μεταβάλλονται, μέσω της διαδικασίας μάθησης και της ανάπτυξης σε συγκεκριμένους επιστημονικούς τομείς [domain specific], εστιάζοντας περισσότερο στις δυσκολίες των μαθητών κατά την εκμάθηση των πιο προηγμένων εννοιών και αυτών που έρχονται σε αντίθεση με την διαισθητική τους αντίληψη.

Τα παιδιά πριν εκτεθούν στη συστηματική διδασκαλία, αναπτύσσουν μια «διαισθητική φυσική» [naïve physics] με την οποία εξηγούν διαισθητικά τα φυσικά φαινόμενα βάσει της καθημερινής τους εμπειρίας και της αλληλεπίδρασης τους με το κοινωνικό-πολιτισμικό περιβάλλον (Carey, 2009· Vosniadou, 2002). Οι αρχικές εξηγήσεις του φυσικού κόσμου με βάση την «διαισθητική φυσική» δεν είναι αποσπασματικές παρατηρήσεις αλλά αποτελούν ένα συνεκτικό επεξηγηματικό σύστημα - μια θεωρία πλαισίου [framework theory] (Vosniadou, 2013).

Κατά την διαδικασία εκμάθησης των φυσικών επιστημών οι μαθητές χρησιμοποιούν μηχανισμούς εμπλουτισμού, προκειμένου να εμπλουτίσουν τις υπάρχουσες γνωσιακές δομές με νέες αλλά ασύμβατες πληροφορίες με την προηγούμενή τους γνώση. Κατά την διαδικασία αυτή οι μαθητές είναι πιθανό να προσθέτουν τις επιστημονικές πληροφορίες στις προϋπάρχουσες ιδέες τους χωρίς να

ενδιαφέρονται για την ύπαρξη εσωτερικής συνοχής, με αποτέλεσμα να προκαλείται κατακερματισμός- αποσπασματικότητα [fragmentation] της εσωτερικής συνοχής της θεωρίας πλαισίου τους. Αντιθέτως, είναι πιθανό οι μαθητές, επιδιώκοντας τη συνεκτικότητα με την υπάρχουσα γνωστική τους δομή και την εσωτερική συνοχή, κατά την διαδικασία αφομοίωσης της επιστημονικής άποψης να διαστρεβλώνουν την επιστημονική άποψη. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία «συνθετικών μοντέλων» ή όπως αλλιώς αναφέρονται «παρανοήσεων» (Vosniadou & Skopeliti, 2014). Δύο κριτήρια που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό των συνθετικών μοντέλων και της αποσπασματικότητας, είναι η εσωτερική συνοχή και η επεξηγηματική επάρκεια. Ένα συνθετικό μοντέλο πρέπει να παρουσιάζει και τα δύο κριτήρια, ώστε να μην θεωρηθεί ως κατακερματισμός- αποσπασματικότητα.

Επομένως, φαίνεται ότι πέρα από τις προϋπάρχουσες διαισθητικές αντιλήψεις-ιδέες [pre-conceptions], οι μαθητές διαμορφώνουν και παρανοήσεις [misconceptions] ως αποτέλεσμα λανθασμένων ερμηνειών των επιστημονικών φαινομένων, μετά την έκθεσή τους σε συστηματική διδασκαλία (Vosniadou, 2013). Ένα παράδειγμα δημιουργίας συνθετικών μοντέλων βρίσκεται στο φαινόμενο μέρας-νύχτας, στο οποίο η «νύκτα» ερμηνεύεται από τα παιδιά τρίτης και πέμπτης Δημοτικού (για περισσότερες πληροφορίες βλέπε Vosniadou & Brewer, 1992) ως αποτέλεσμα της δύσης του ήλιου πίσω από τα βουνά. Όταν αυτοί οι μαθητές έρθουν, μέσα από την συστηματική διδασκαλία, σε επαφή με την επιστημονική άποψη ότι η γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της, τότε είναι πιθανό, καθώς και η ιδέα της γης που γυρίζει έρχεται σε σύγκρουση με την διαισθητική τους εμπειρία, να διαστρεβλώσουν την επιστημονική πληροφορία. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία μίας νέας ιδέας, σύμφωνα με την οποία ο ήλιος γυρίζει γύρω από την γη κάθε 24 ώρες. Οι μαθητές αυτοί, επομένως, διαμορφώνουν μία συνθετική εξήγηση του φαινομένου διατηρώντας στοιχεία από την αρχική τους ιδέα —ότι ο ήλιος κινείται και όχι η γη— αλλά τροποποιώντας το είδος

της κίνησης σε περιστροφική. Η αλλαγή που πραγματοποιούν οι μαθητές συμβαίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε επιτυγχάνεται εσωτερική συνέπεια των ιδεών τους (Vosniadou & Skopeliti, 2014). Οι συνθετικές αυτές ιδέες που διαμορφώνουν οι μαθητές, σύμφωνα με την Vosniadou (2013), δηλώνουν ότι η γνώση των μαθητών βρίσκεται σε μία ενδιάμεση κατάσταση, ανάμεσα στην αρχική ιδέα και την επιστημονική ιδέα που ερμηνεύει το φαινόμενο. Η κατάσταση αυτή μπορεί να θεωρηθεί πρόοδος των ιδεών των μαθητών και επομένως να αποτελεί την γέφυρα για την εννοιολογική αλλαγή.

Όπως φαίνεται κι από τα παραπάνω, η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής αποτελεί μία σταδιακή και αργή διαδικασία (Vosniadou, 2002), η οποία απαιτεί αλλαγές στις οντολογικές κατηγοριοποιήσεις, στις επιστημολογικές πεποιθήσεις και στις αναπαραστάσεις του ατόμου (Vosniadou, 2013). Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής χαρακτηρίζεται από σταδιακές αναθεωρήσεις των πεποιθήσεων και των προϋποθέσεων [presuppositions] της θεωρίας πλαισίου των μαθητών, διαμορφώνοντας όλο και πιο εκλεπτυσμένες ιδέες μέχρι την πραγματοποίηση ολικής εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, 2008).

Αναφορικά με τις αλλαγές στις οντολογικές κατηγορίες μπορεί να αναφερθεί ως παράδειγμα τα νοητικά μοντέλα των μαθητών αναφορικά με την γη. Όπως περιγράφουν στην έρευνά τους οι Vosniadou και Brewer (1992), οι μαθητές διαμορφώνουν πριν την συστηματική διδασκαλία ένα αρχικό νοητικό μοντέλο της γης ως επίπεδη, ως αποτέλεσμα της καθημερινής εμπειρίας τους και των προϋποθέσεων που αποδίδουν στα άψυχα φυσικά σώματα.

Οι μαθητές, εντάσσουν τη γη στην οντολογική κατηγορία των φυσικών σωμάτων και κατ' επέκταση της προσδίδουν και όλες τις προϋποθέσεις αυτής της κατηγορίας (Vosniadou & Skopeliti, 2005). Κατ' επέκταση, για να γίνει αντιληπτή η έννοια της γης πρέπει οι μαθητές να επανακατηγοριοποιήσουν την έννοια της γης από την

οντολογική κατηγορία «φυσικό σώμα» στην οντολογική κατηγορία «αστρονομικό σώμα», της οποίας κατηγορίας θα αποδίδουν και στο εξής τις οντολογικές προϋποθέσεις (Vosniadou, 2013). Επιπλέον, οι Vosniadou και Skopeliti (2005) υποστηρίζουν την ύπαρξη αναπτυξιακών μεταβολών στην κατηγοριοποίηση της γης από την οντολογική κατηγορία των «φυσικών σωμάτων» στην οντολογική κατηγορία των «αστρονομικών σωμάτων».

Η αλλαγή αυτή στην οντολογική κατηγορία της γης σε «αστρονομικό σώμα» συνοδεύεται από αλλαγές και σε επίπεδο αναπαραστάσεων (Vosniadou, 2013) καθώς ο μαθητής έχει την δυνατότητα να αναπαραστήσει την γη ως ένα σφαιρικό περιστρεφόμενο πλανήτη που πραγματοποιεί περιφορά στο διάστημα. Η δημιουργία νέων αναπαραστάσεων μπορεί να υποβοηθηθεί και μέσω της χρήσης εξωτερικών μοντέλων (Vosniadou, 2013).

Σημαντικό ρόλο φαίνεται να έχουν και οι επιστημολογικές πεποιθήσεις των μαθητών και η ανάπτυξή τους. Οι μαθητές θα πρέπει να κάνουν μία διάκριση ανάμεσα στο «φαίνεται» και στο «είναι», ώστε να μπορούν να αντιληφθούν ότι η γη αν και φαίνεται επίπεδη από την προοπτική κάποιου που βρίσκεται πάνω της στην πραγματικότητα οι περιορισμένες δυνατότητες των αισθήσεων οδηγούν στο λανθασμένο συμπέρασμα, ότι η γη είναι επίπεδη.

Αναφορικά με τις επιστημολογικές πεποιθήσεις οι Stathopoulou & Vosniadou, (2007a· 2007b) υποστηρίζουν ότι αποτελούν ένα συνεκτικό σύστημα, με τη μορφή θεωρίας, για την φύση της γνώσης και τις διαδικασίες απόκτησής της. Στα αποτελέσματα τους φάνηκε ότι οι μαθητές [Γυμνασίου] με τις πιο εκλεπτυσμένες επιστημολογικές πεποιθήσεις αναφορικά με την κατασκευή, την σταθερότητα και τη δομή της επιστημονικής γνώσης είχαν στατιστικά καλύτερη επίδοση στο έργο της φυσικής, από τους μαθητές με τις πιο διαισθητικές επιστημολογικές πεποιθήσεις. Το

έργο που πραγματοποίησαν οι μαθητές περιλάμβανε ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής αναφορικά με την κίνηση και την δύναμη - Νευτώνια δυναμική [FMCE]. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές με εκλεπτυσμένες επιστημολογικές πεποιθήσεις θεωρούν ότι η δομή της γνώσης αποτελεί ένα οργανωμένο σύστημα θεωρητικών στοιχείων, ενώ αντίθετα οι μαθητές με πιο διαισθητικές επιστημολογικές πεποιθήσεις την θεωρούν ένα αποσπασματικό σύνολο στοιχείων που μπορούν να παρέχουν μοναδικές ορθές απαντήσεις σε προβλήματα. Επιπλέον, οι μαθητές με εκλεπτυσμένες επιστημολογικές πεποιθήσεις αναφορικά με την κατασκευή και την σταθερότητα θεωρούν ότι η γνώση είναι αβέβαιη και μεταβάλλεται, όπως και η διαδικασίες απόκτησής της σε αντίθεση με τους μαθητές με διαισθητικές επιστημολογικές πεποιθήσεις που θεωρούν την γνώση αμετάβλητη και βέβαιη και τις διαδικασίες απόκτησής της συγκεκριμένες και σταθερές.

1.2 Μοντέλα στις φυσικές επιστήμες

1.2.1 Ορισμός μοντέλων/ Η Φύση και ο ρόλος των μοντέλων

*Εξοπλισμένος με τις πέντε αισθήσεις του,
ο άνθρωπος εξερευνά το σύμπαν γύρω του
και αποκαλεί την περιπέτεια αυτή «επιστήμη».*
Edwin Powell Hubble, (1954)

Η επιστήμη μπορεί να οριστεί ως ένα δυναμικό σύνολο μοντέλων (Constantinou, 1999· Hestenes, 1997). Τα μοντέλα κατασκευάζονται μέσω της διαδικασίας της μοντελοποίησης (Fretz et al., 2002) και έχουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση και αιτιολόγηση της επιστημονικής γνώσης (Koronen, 2006). Αυτή η προσέγγιση συνενώνει τις διαδικασίες με τα αποτελέσματά της επιστήμης (Gilbert, 1991) .

Ως επιστημονικό μοντέλο μπορεί να οριστεί ένα σύμπλεγμα αναπαραστάσεων, κανόνων και συλλογιστικών δομών, ένα παραγωγικό εργαλείο που επιτρέπει την αναπαράσταση, την επεξήγηση και την πρόβλεψη φυσικών φαινομένων (Harrison &

Treagust, 2000· Schwarz, 2002· Schwarz και White, 2005· Schwarz et al. 2009). Το επιστημονικό μοντέλο είναι μια αφηρημένη, απλοποιημένη αναπαράσταση ενός συστήματος φαινομένων που αποσαφηνίζει και οπτικοποιεί τα χαρακτηριστικά του, εξηγεί ένα φαινόμενο και η χρήση του μας επιτρέπει να κάνουμε προβλέψεις (σχετικά με το υπό μελέτη φαινόμενο) (Harrison & Treagust, 2000). Η κατασκευή των επιστημονικών μοντέλων δίνει, επίσης, τη δυνατότητα να προσεγγίσουμε ένα φαινόμενο που μπορεί να είναι πολύ μικρό ή πολύ μεγάλο, πολύ γρήγορο, πολύ παλιό, πολύ μακρινό ή πολύ πολύπλοκο και διαφορετικά δεν θα μπορούσαμε να το προσεγγίσουμε (Crawford & Cullin, 2004).

Επομένως, ένα μοντέλο είναι μία αναπαράσταση ενός στόχου, ο οποίος μπορεί να είναι ένα αντικείμενο, μία ιδέα, ένα φαινόμενο, μια διαδικασία κλπ (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000· Van Driel & Verloop, 1999a) που έχει κατασκευαστεί για να επιτελέσει ένα συγκεκριμένο σκοπό (Gilbert et al., 2000). Πιο συγκεκριμένα, ένα επιστημονικό μοντέλο επιτελεί τρεις βασικούς σκοπούς: (α) την αναπαράσταση, δηλαδή να αναπαραστήσει το στόχο που μοντελοποιεί περιλαμβάνοντας τα αντικείμενα, τις μεταβλητές, τις σχέσεις και τις διαδικασίες του (Constantinou, 1999), (β) την επεξήγηση, δηλαδή την παροχή μίας μηχανιστικής ερμηνείας του φαινομένου, (γ) την πρόβλεψη αλλαγών σε πτυχές του φαινομένου (Papaenripidou, Nicolaou, & Constantinou, 2014· Schwarz et al., 2009· Schwarz & White, 2005).

Ταυτόχρονα, τα μοντέλα δεν χαρακτηρίζονται από στατικότητα, προβάλλοντας τη «σωστή» επιστημονική γνώση. Αντιθέτως, μεταβάλλονται συνεχώς με την εύρεση νέων επιστημονικών στοιχείων, ώστε να ενσωματώνουν σε αυτά την νέα γνώση (Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009).

1.2.2 Κατηγοριοποίηση μοντέλων

Σύμφωνα με τους Nicolaou και Constantinou (2014) μπορούμε να διακρίνουμε τρεις διαφορετικές κατηγορίες μοντέλων: τα νοητικά [Mental models], τα επιστημονικά [Scientific models] και τα εννοιολογικά [Conceptual models].

«Τα νοητικά μοντέλα αποτελούν εσωτερικές αναπαραστάσεις που ενεργούν ως ένα δομικό ανάλογο καταστάσεων ή διαδικασιών» (Greca & Moreira, 2001, σελ. 108). Τα εννοιολογικά μοντέλα είναι εξωτερικές αναπαραστάσεις, οικοδομημένες από ερευνητές, μηχανικούς ή/και εκπαιδευτικούς με σκοπό την προώθηση της εννοιολογικής κατανόησης φυσικών φαινομένων (Greca & Moreira, 2001). Τέλος, τα επιστημονικά μοντέλα είναι επεξηγηματικές αναπαραστάσεις των παρατηρούμενων μοτίβων που επιτρέπουν την κατανόηση του πώς λειτουργεί ο φυσικός κόσμος (Crawford & Cullin, 2004). Παρακάτω περιγράφονται μερικές ακόμη κατηγοριοποιήσεις των μοντέλων, όπως αυτές περιγράφονται στην βιβλιογραφία.

Κατηγοριοποίηση των μοντέλων ως προς το οντολογικό τους επίπεδο. Αναφορικά με την προσπάθεια κατηγοριοποίησης των μοντέλων, σημαντική συμβολή στην βιβλιογραφία αποτελεί η έρευνα των Gilbert, Boulter και Rutherford (1998) και Gilbert et al.(2000). Οι ερευνητές Gilbert, Boulter και Rutherford το 1998 και οι Gilbert et al. (2000) προτείνουν μία ταξινόμηση των μοντέλων ως προς το οντολογικό τους επίπεδο καταλήγοντας σε κατηγορίες: (1) νοητικά, (2) εκφρασμένα, (3) συναίνεσης ή (4) επιστημονικά, και (5) διδακτικά μοντέλα, ενώ το 2000 οι Gilbert et al. διαχωρίζουν τα μοντέλα συναίνεσης από τα επιστημονικά και προσθέτουν στην κατηγοριοποίησή τους τα (6) ιστορικά, (7) αναλυτικών προγραμμάτων.

Αναλυτικότερα, τα νοητικά μοντέλα είναι οι προσωπικές γνωστικές αναπαραστάσεις, κατασκευασμένες από το κάθε υποκείμενο ατομικά ή και συλλογικά. Τα εκφρασμένα μοντέλα αποτελούν νοητικά μοντέλα τα οποία έχουν διατυπωθεί

δημόσια μέσω ενός ατόμου ή ομάδας ατόμων. Τα *μοντέλα συναίνεσης* είναι τα εκφρασμένα μοντέλα που έχουν τεθεί υπό συζήτηση και πειραματισμό και θεωρούνται ότι έχουν κάποια αξία για την κοινότητα που τα μελετά, με αποτέλεσμα να έχουν γίνει κοινώς αποδεκτά από την συγκεκριμένη κοινότητα. Τα *επιστημονικά μοντέλα* είναι τα εκφρασμένα μοντέλα, τα οποία μετά από πειραματικούς ελέγχους, την κρίση και την έκδοσή τους σε επιστημονικά περιοδικά, έχουν γίνει αποδεκτά από μία επιστημονική κοινότητα. Τα *ιστορικά μοντέλα* είναι τα μοντέλα συναίνεσης που έχουν αναπτυχθεί σε συγκεκριμένα ιστορικά πλαίσια, που χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες π.χ. φιλοσοφικές πεποιθήσεις. Τα *μοντέλα αναλυτικών προγραμμάτων* είναι απλοποιημένες εκδοχές των επιστημονικών ή ιστορικών μοντέλων που εντάσσονται στα επίσημα αναλυτικά προγράμματα. Τα *διδασκικά μοντέλα* είναι εκδοχές των μοντέλων συναίνεσης, αναλυτικών προγραμμάτων και των ιστορικών μοντέλων που μπορούν να κατασκευαστούν από τους εκπαιδευτικούς ή τους μαθητές.

Κατηγοριοποίηση των μοντέλων με βάση τον τρόπο αναπαράστασης. Μία επιπλέον κατηγοριοποίηση των μοντέλων μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση τον τρόπο αναπαράστασης του στόχου (Gilbert et al., 2000). Αναλυτικότερα, τα μοντέλα μπορούν να διακριθούν σε (1) απτά ή υλικής υπόστασης (concrete) π.χ. η τρισδιάστατη υδρόγειος σφαίρα, (2) λεκτικά μοντέλα (verbal), που δηλώνουν την περιγραφή στοιχείων και των μεταξύ τους σχέσεων σε μία αναπαράσταση π.χ. η προφορική αναπαράσταση του φαινομένου της μέρας- νύχτας, (3) μαθηματικά μοντέλα (mathematical mode), που περιλαμβάνουν μαθηματικές εξισώσεις, (4) τα οπτικά μοντέλα (visual mode), όπως τα γραφήματα και τα διαγράμματα, (5) τα μοντέλα που αναπαρίστανται με συμβολικό τρόπο (symbolic mode), ο οποίος περιλαμβάνει τον οπτικό, τον προφορικό και το μαθηματικό τρόπο αναπαράστασης. Τέλος, (6) τα μοντέλα ως χειρονομίες (gesture mode), στα οποία η αναπαράσταση πραγματοποιείται

με τη χρήση κινήσεων μερών του σώματος, όπως π.χ. η κίνηση του σώματος ως αναπαράσταση της κίνησης των μορίων κατά την μεταφορά θερμότητας.

1.2.3 Μοντελοποίηση στις φυσικές επιστήμες

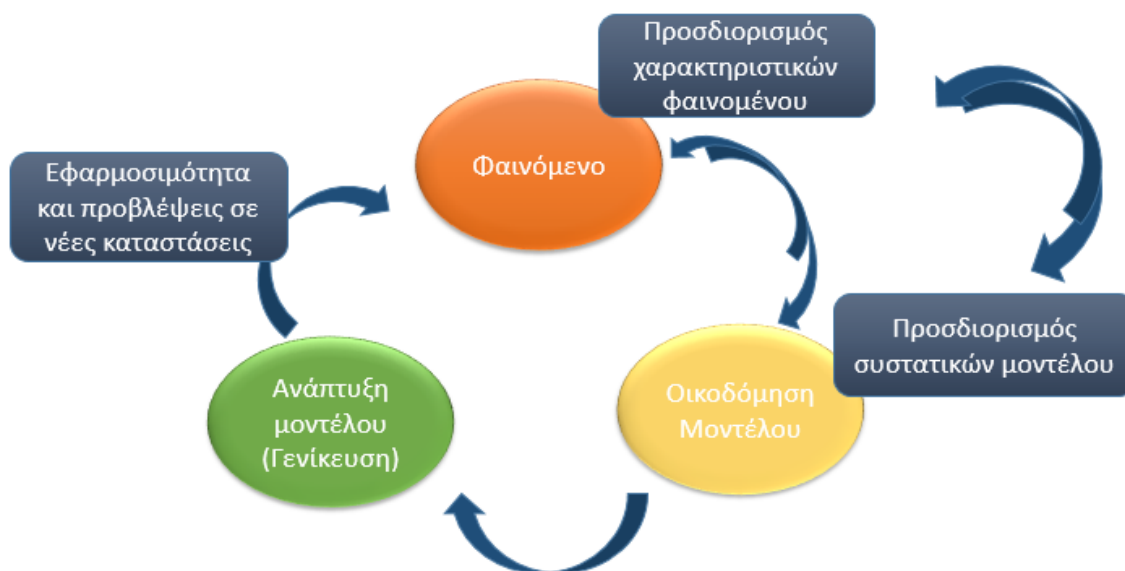
Μοντελοποίηση είναι η διαδικασία οικοδόμησης και χρήσης μοντέλων (Hestenes, 1997), η οποία θεωρείται ζωτικό στοιχείο της επιστήμης (Halloun, 2007) και μία από τις οκτώ πρακτικές που προτείνονται για την διδασκαλία των Φυσικών επιστημών στις ΗΠΑ (NRC, 2012). Σύμφωνα με τον Hodson (1992) η εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες έχει τριπλό σκοπό: α) την μάθηση της επιστήμης [παραγόμενες ιδέες] β) την μάθηση για την επιστήμη [την μεθοδολογία, την ιστορία και την φιλοσοφία], και τέλος γ) οι μαθητές να κάνουν επιστήμη. Αυτοί οι τρεις στόχοι σύμφωνα με τους Justi και Gilbert (2002) και Gilbert et al. (2000) φανερώνουν την αξία και τον κεντρικό ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης στην διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

Η εμπλοκή σε διαδικασίες μοντελοποίησης επιτρέπει στους μαθητές να εκφράσουν και να εξωτερικεύσουν τα νοητικά τους μοντέλα και τον τρόπο σκέψης τους και ως εκ τούτου να αναδειχθεί η κατανόησή τους για την επιστημολογία της μοντελοποίησης και της επιστήμης γενικότερα (Gilbert, 1991). Ταυτόχρονα, τα μοντέλα ως παιδαγωγικά εργαλεία μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη του επιστημονικού γραμματισμού (Halloun, 2007), καθώς οι μαθητές μέσα από την διαδικασία της μοντελοποίησης εμπλέκονται σε πρακτικές επιστημονικής διερεύνησης και ανακαλύπτουν τον τρόπο που εργάζονται οι επιστήμονες (Schwarz & White, 2005).

Τέλος, πέρα από την κατανόηση του πώς παράγεται η επιστημονική γνώση (NRC, 2012) η εμπλοκή σε διαδικασίες μοντελοποίησης μπορεί να διευκολύνει την μάθηση της επιστήμης (Hestenes, 1997). Μέσα από την ανάπτυξη δεξιοτήτων μοντελοποίησης, δημιουργείται μία δομή μεταφερόμενων δεξιοτήτων (Constantinou, 1999) που επιτρέπει στους μαθητές να συστηματοποιήσουν τις προσωπικές τους εμπειρίες από το

φυσικό κόσμο αλλά και να αξιολογήσουν πληροφορίες που λαμβάνουν από τρίτους (Hestenes, 1997).

Είναι, επομένως, φανερή η σημασία διαμόρφωσης διδακτικών προσεγγίσεων που θα συμβάλουν στην ανάπτυξη της ικανότητας μοντελοποίησης των μαθητών. Ο Constantinou (1999) πρότεινε το *μαθησιακό κύκλο της μοντελοποίησης* επηρεαζόμενος από το μαθησιακό κύκλο του Karpus (1977), ενώ παρουσιάζει ομοιότητες και με τον *κύκλο μοντελοποίησης* του Halloun (2007). Αναλυτικότερα, ο *μαθησιακός κύκλος της μοντελοποίησης* (Constantinou, 1999) αποτελείται από δύο στάδια: την δημιουργία του μοντέλου [model formulation] και την ανάπτυξη του μοντέλου [model deployment]. Σε κάθε πέρασμα μέσα από τον κύκλο της μοντελοποίησης, η κατανόηση των μοντέλων και της διαδικασίας της μοντελοποίησης αυξάνεται. Οι μαθητές γίνονται πιο αυτόνομοι επιστημονικοί στοχαστές, ικανοί να κατασκευάσουν τα δικά τους μοντέλα και να τα αξιολογήσουν (Constantinou, 1999).



Σχήμα 1: Ο μαθησιακός κύκλος της μοντελοποίησης (Constantinou, 1999)

Στο στάδιο της δημιουργίας του επιστημονικού μοντέλου, οι μαθητές καλούνται να μελετήσουν ένα φυσικό φαινόμενο και να αναγνωρίσουν τα συστατικά του, δηλαδή τα αντικείμενα, τις διαδικασίες, τις μεταβλητές και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις. Για παράδειγμα, στο φαινόμενο της μεταφοράς θερμότητας με επαφή, ως αντικείμενα μπορούμε να ορίσουμε π.χ. δύο κύβους - αυτόν με την μεγαλύτερη και αυτόν με την μικρότερη θερμοκρασία, ως μεταβλητή μπορούμε να ορίσουμε την θερμοκρασία που μεταβάλλεται, ως διαδικασία την επαφή μεταξύ των σωμάτων διαφορετικών θερμοκρασιών, και, τέλος, ως σχέση την μεταβολή της θερμοκρασίας με το πιο ψυχρό σώμα να γίνεται θερμότερο και το αντίστροφο, μέχρι να επέλθει θερμική ισορροπία. Τα συστατικά αυτά θα βοηθήσουν τους μαθητές στην κατασκευή του μοντέλου και κυρίως θα συμβάλουν στην παροχή του μηχανισμού λειτουργίας του φαινομένου. Κατά την διαδικασία κατασκευής πραγματοποιείται μία κυκλική πορεία σύγκρισης ανάμεσα στο μοντέλο και το φαινόμενο με σκοπό τον έλεγχο και την βελτίωσή του.

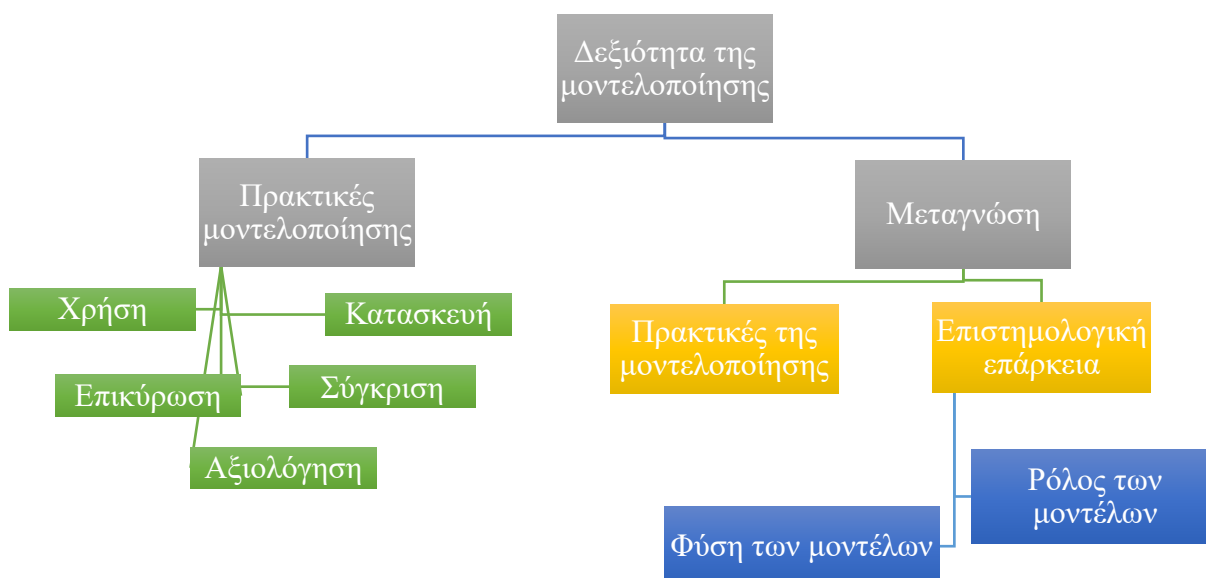
Στο στάδιο ανάπτυξης του μοντέλου, οι μαθητές αφού αναπαραστήσουν τα στοιχεία του μοντέλου και παρέχουν το μηχανισμό λειτουργίας του μοντέλου, καλούνται να ορίσουν τους περιορισμούς και τις προϋποθέσεις του μοντέλου τους και στη συνέχεια να εφαρμόσουν το μοντέλο τους σε νέες καταστάσεις, όπως για παράδειγμα, τι θα συμβεί στην θερμοκρασία δύο σωμάτων με διαφορετική θερμοκρασία και διαφορετικό όγκο, που έρχονται σε επαφή. Το στάδιο ανάπτυξης του μοντέλου, αποτελεί μία αφαιρετική διαδικασία που στοχεύει στην δημιουργία γενικεύσεων και τη διατύπωση προβλέψεων αναφορικά με τις νέες καταστάσεις.

Στη βάση του μαθησιακού κύκλου της μοντελοποίησης (Constantinou, 1999) αναγνωρίζονται τα δομικά χαρακτηριστικά της δεξιότητας της μοντελοποίησης, και επομένως οι δεξιότητες και η γνώση που αναπτύσσει το άτομο από την εμπλοκή του στην διαδικασία μοντελοποίησης. Σύμφωνα με το Modeling competence framework

[MCF] (Nicolau & Constantinou, 2014 Παπαεργιρίδου, 2012) στο οποίο θα βασιστεί η παρούσα έρευνα, τα δομικά χαρακτηριστικά της δεξιότητας της μοντελοποίησης μπορούν να αναλυθούν σε δύο κατηγορίες, τις πρακτικές μοντελοποίησης [modeling practices] και την μεταγνώση [meta-knowledge].

1.2.3.1.1 Οι πρακτικές της μοντελοποίησης

Οι πρακτικές της μοντελοποίησης (Schwarz et al., 2009) στις οποίες εμπλέκονται οι μαθητές είναι η κατασκευή του μοντέλου, η χρήση του, η σύγκριση μοντέλων και η αξιολόγηση και η επικύρωση του μοντέλου.



Σχήμα 2: Δεξιότητα της μοντελοποίησης (Nicolau & Constantinou, 2014)

Αναλυτικότερα η κατασκευή του μοντέλου (Constantinou, 1999· Hestenes, 1997· Stratford, Krajcik, & Soloway, 1998) αποτελεί την βάση για την πραγματοποίηση των υπόλοιπων πρακτικών. Είναι η διαδικασία κατά την οποία οι μαθητές επιλέγουν τον τρόπο αναπαράστασης ενός φαινομένου, αφού πρώτα το αναλύσουν και επιλέξουν τα στοιχεία που θα περιλαμβάνει το μοντέλο, δηλαδή τα αντικείμενα, τις διαδικασίες, τις μεταβλητές και τις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα σε αυτές (Constantinou, 1999· Hestenes,

1997). Η αναγνώριση των στοιχείων του φαινομένου και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων, αποτελεί θεμελιακό βήμα, ώστε το μοντέλο που οικοδομείται να επεξηγεί επιτυχώς τον υποκείμενο μηχανισμό του (Stratford et al., 1998). Το μοντέλο που θα κατασκευάσουν οι μαθητές θα αποτελεί μία αναπαράσταση του φαινομένου με επεξηγηματική και προβλεπτική ισχύ (Schwarz et al., 2009· Hestenes, 1997).

Η *χρήση του μοντέλου* (NRC, 2012· Schwarz et al., 2009) αναφέρεται στην αποτελεσματική χρήση του μοντέλου στην περιγραφή, την εξήγηση του φαινομένου και την πρόβλεψη μελλοντικής συμπεριφοράς του φαινομένου. Ταυτόχρονα, το μοντέλο χρησιμοποιείται κατά την διαδικασία σύγκρισής του μοντέλου (Hestenes, 1997· Stratford et al., 1998).

Η *σύγκριση του μοντέλου* είναι η πρακτική κατά την οποία ο μαθητής συγκρίνει το μοντέλο του με άλλα μοντέλα ή με το ίδιο το φαινόμενο που αναπαριστά (Hestenes, 1997· Stratford et al., 1998). Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές συγκρίνουν διαφορετικά μοντέλα αναπαράστασης του ίδιου φαινομένου με βάση συγκεκριμένα κριτήρια όπως η αληθοφάνεια, η ακρίβεια αναπαράστασης του μηχανισμού του φαινομένου και η ικανότητά του να ελέγχει προβλέψεις (Schwarz & White, 2005). Οι μαθητές, κατά την σύγκριση του μοντέλου που οικοδόμησαν με το πραγματικό φαινόμενο, προσδιορίζουν την δυνατότητα του μοντέλου τους να αναπαριστά να επεξηγεί και να προβλέπει το φαινόμενο, με απώτερο σκοπό την βελτίωση του μοντέλου σε αυτά τα τρία επίπεδα (Justi & Gilbert, 2002· Stratford et al., 1998).

Η πρακτική της *αξιολόγησης* αποτελεί φυσικό επακόλουθο της πρακτικής της σύγκρισης, καθώς οι μαθητές καλούνται να αξιολογήσουν αν το βελτιωμένο τους μοντέλο είναι κατάλληλο, και, επομένως, αν αναπαριστά το φαινόμενο περιλαμβάνοντας τα συστατικά του, αν παρέχει ένα επεξηγηματικό μηχανισμό του φαινομένου και αν επιτρέπει τον έλεγχο προβλέψεων (Schwarz & White, 2005· Snir,

Smith, & Raz, 2003· Stratford et al., 1998). Οι μαθητές είναι σημαντικό να εμπλέκονται σε διαδικασίες αξιολόγησης και αναθεώρησης των μοντέλων τους, ώστε να αντιληφθούν τις σχέσεις ανάμεσα στα μοντέλα και τα δεδομένα, αλλά και τον κοινωνικό χαρακτήρα της διαδικασίας της μοντελοποίησης (Clement, 2008).

Τέλος, η *επικύρωση* του μοντέλου (Halloun, 1996) αποτελεί την τελευταία πρακτική και αναφέρεται στην εφαρμογή του μοντέλου σε νέα φαινόμενα ίδιας κλάσης με το υπό μελέτη φαινόμενο. Αυτή η διαδικασία είναι αφαιρετική, καθώς ο μαθητής θα πρέπει να αποπλαισιώσει το μοντέλο από το υπό μελέτη φαινόμενο και να το εφαρμόσει σε νέα φαινόμενα.

Πέρα από τις πρακτικές της μοντελοποίησης στις οποίες εμπλέκονται οι μαθητές, δομικά χαρακτηριστικά της δεξιότητας μοντελοποίησης αποτελούν η μεταγνώση σχετικά με τις πρακτικές και διαδικασίες μοντελοποίησης [metacognitive knowledge] και η επιστημολογική επάρκεια-επίγνωση αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων [meta-modeling knowledge].

Αναλυτικότερα, η μεταγνώση για τις πρακτικές της μοντελοποίησης αναφέρεται στην ικανότητα των μαθητών να αναστοχάζονται σχετικά με τα βήματα που ακολούθησαν κατά την διαδικασία μοντελοποίησης του υπό μελέτη φαινομένου (Schwarz & White, 2005). Επιπλέον, η ικανότητα μοντελοποίησης συμπεριλαμβάνει την ανάπτυξη επιστημολογικής επάρκειας - επίγνωσης, δηλαδή την κατανόηση για την φύση των μοντέλων και την εκτίμηση του ρόλου των μοντέλων. Σχετικά με την φύση των μοντέλων για παράδειγμα, οι μαθητές καλούνται να αντιληφθούν ότι το μοντέλο είναι ανθρώπινο κατασκεύασμα, αναπαράσταση και όχι αντίγραφο του πραγματικού φαινομένου, ότι αναπαριστούν ιδέες και επιστημονικούς θεωρητικούς κανόνες, και ότι μεταβάλλονται με σκοπό την καλύτερη αναπαράσταση ενός φαινομένου (Schwarz & White, 2005· Schwarz et al., 2009). Αναφορικά με το ρόλο των μοντέλων, τα μοντέλα

μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναπαράσταση, επεξήγηση και την πρόβλεψη μελλοντικής εξέλιξης του φαινομένου, όπως επίσης και ως μέσο επικοινωνίας (Schwarz et al., 2009).

Οι Schwarz και White (2005) υποστηρίζουν ότι χωρίς την μεταγνώση αναφορικά με τις πρακτικές μοντελοποίησης αλλά και την επιστημολογική επάρκεια για την φύση και το ρόλο των μοντέλων, οι μαθητές δεν μπορούν πραγματικά να αντιληφθούν την φύση της επιστήμης και να αναπτύξουν ακριβείς και παραγωγικές επιστημολογίες. Βλέπουμε, επομένως, ότι υπάρχει διαφορά ανάμεσα στην μάθηση με μοντέλα και την μάθηση για τα μοντέλα (De Jong, Van Driel, & Verloop, 2005). Ενώ το πρώτο εξυπηρετεί στην προώθηση της εννοιολογικής κατανόησης, το δεύτερο επικεντρώνεται στην απόκτηση επιστημονικού γραμματισμού. Ταυτόχρονα, η απόκτηση επιστημονικού γραμματισμού, μέσω ρητής διδασκαλίας, αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων, φαίνεται να συμβάλει σημαντικά στην εννοιολογική κατανόηση του περιεχόμενου της Φυσικής, όπως για παράδειγμα το φαινόμενο της πλευσης - βύθισης και την κατανόηση της έννοιας της πυκνότητας (Zoupidis, Pnevmatikos, Spyrtou, & Kariotoglou, 2016).

1.2.4 Αντιλήψεις μαθητών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση

Πολύ λίγοι μαθητές αντιλαμβάνονται την επιστήμη ως μια διαδικασία οικοδόμησης και αναθεώρησης επιστημονικών μοντέλων και θεωριών για τον κόσμο (Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996). Η διερευνητική διδασκαλία της επιστήμης, μέσα από ρητές διαδικασίες οικοδόμησης και αναθεώρησης μοντέλων κρίνεται σημαντική (Sandoval, 2005).

Θεμελιακή έρευνα σε σχέση με τις αντιλήψεις των μαθητών για την έννοια των επιστημονικών μοντέλων και τη χρήση τους στην επιστημονική διαδικασία είναι αυτή των Grosslight, Unger, Jay και Smith (1991) σε 55 μαθητές δευτεροβάθμιας

εκπαίδευσης. Την έρευνα αυτή ακολούθησαν άλλες έρευνες, όπως αυτές των Treagust, Chittleborough και Mamiala (2002) σε 228 μαθητές και των Saari και Viiri (2003) σε 31 μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης.

Πιο συγκεκριμένα, στην έρευνα των Grosslight et al. (1991) πραγματοποιήθηκαν συνεντεύξεις για την διερεύνηση των ιδεών αναφορικά με πέντε παράγοντες: (1) τη φύση των μοντέλων, (2) το σκοπό τους, (3) το σχεδιασμό και την οικοδόμηση τους, (4) την μεταβλητότητα και (5) την πολλαπλότητα των μοντέλων. Τις απόψεις των μαθητών σε παρόμοιους παράγοντες διερεύνησαν και οι Treagust et al. (2002) με την χρήση ερωτηματολογίου και οι Saari και Viiri (2003) με την πραγματοποίηση ημι-δομημένων συνεντεύξεων. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών παρουσιάζουν συμφωνία αναφορικά με τις ιδέες των μαθητών.

Οι Grosslight et al. (1991) με βάση τις απαντήσεις των μαθητών στις πέντε προαναφερθείσες διαστάσεις αναγνώρισαν τρία βασικά επίπεδα γνώσης σχετικά με τα μοντέλα, τα οποία περιγράφουν τις απόψεις των μαθητών για την φύση και το ρόλο των μοντέλων. Σε ό,τι αφορά τη διάσταση «φύση των μοντέλων», στο πρώτο επίπεδο κατατάχθηκαν οι μαθητές που θεωρούσαν τα μοντέλα ως παιχνίδια ή ως αντίγραφα της πραγματικότητας. Η πλειονότητα των μαθητών και στις έρευνες των Treagust et al. (2002) και Saari και Viiri (2003) [29 από τους 31] διατηρούσαν αυτήν την ιδέα αναφορικά με την φύση των μοντέλων. Ταυτόχρονα, αναφορικά με την πολλαπλότητα των μοντέλων, οι περισσότεροι μαθητές θεωρούσαν ότι υπάρχουν για να δείξουν κυριολεκτικά διαφορετικές πλευρές (μέσα- έξω) ή διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας (Grosslight et al., 1991).

Στο δεύτερο επίπεδο οι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι το μοντέλο δεν χρειάζεται να είναι ακριβές αντίγραφο, αλλά μία αναπαράσταση αντικειμένων ή γεγονότων. Παρόλα αυτά, οι μαθητές αυτού του επιπέδου επικεντρώνονται στο μοντέλο ως αναπαράσταση

αντικειμένων και όχι ιδεών για τα πραγματικά αντικείμενα και γεγονότα, ενώ ο ρόλος του κατασκευαστή είναι περιορισμένος. Ταυτόχρονα, η μεταβλητότητα του μοντέλου σχετίζεται μόνο με το ίδιο το μοντέλο και όχι με το φαινόμενο και τα πειραματικά δεδομένα, π.χ. λάθη που μπορεί να έχουν συμβεί στο μοντέλο (Grosslight et al., 1991· Saari & Viiri, 2003).

Στο τρίτο επίπεδο, στο οποίο δεν κατατάχθηκε κανένας μαθητής, γίνεται αντιληπτό ότι τα μοντέλα μπορεί να είναι πέρα από υλικής υπόστασης και αφηρημένα που αναπαριστούν ιδέες, όπως π.χ. μαθηματικές εξισώσεις. Ταυτόχρονα, ένα μοντέλο χαρακτηρίζεται από μεταβλητότητα και μπορεί να αντικατασταθεί από άλλο μοντέλο με μεγαλύτερη επεξηγηματική και προβλεπτική ικανότητα. Τέλος, δίνεται έμφαση στο ότι τα μοντέλα είναι ανθρώπινα κατασκευάσματα και άρα ο ρόλος του κατασκευαστή είναι σημαντικός στην διαμόρφωση του μοντέλου.

Σχετικά με την διάσταση «σκοπός των μοντέλων» στο πρώτο επίπεδο της έρευνας των Grosslight et al., (1991) κατατάχθηκαν οι μαθητές που θεωρούσαν ότι ο σκοπός των μοντέλων είναι να αντιγράψουν στοιχεία της πραγματικότητας [simple copy theory epistemology] ενώ δεν διαχώριζαν τις ιδέες που υπόκεινται του μοντέλου και τα πειραματικά δεδομένα που ενισχύουν ή οδηγούν στην απόρριψή ενός μοντέλου (Grosslight et al., 1991· Saari & Viiri, 2003· Treagust et al., 2002).

Στο δεύτερο επίπεδο κατατάχθηκαν οι μαθητές που αναγνώριζαν την σημασία των ιδεών του κατασκευαστή του μοντέλου, ενώ το μοντέλο δεν αποτελεί μία απλή αντιγραφή της πραγματικότητας. Τέλος, αντιλαμβάνονταν ότι τα πειραματικά δεδομένα μπορεί να φανερώσουν την ανάγκη για αλλαγές σε πτυχές του μοντέλου, όμως συνέχιζαν να επικεντρώνονται στο μοντέλο και την μοντελοποιημένη πραγματικότητα και όχι στις ιδέες που απεικονίζονται. Ταυτόχρονα, οι Treagust et al., (2002) υποστηρίζουν ότι οι μαθητές [50% του δείγματος] δυσκολεύονται να

αντιληφθούν την προβλεπτική ικανότητα των μοντέλων, την δυνατότητα δημιουργίας θεωρίας και ελέγχου υποθέσεων. Αναφορικά με την μεταβλητότητα των μοντέλων οι Schwarz et al.(2009) στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης κατατάσσουν τους μαθητές που θεωρούν ότι τα μοντέλα αλλάζουν με σκοπό την βελτίωση της εμφάνισής τους.

Στο τρίτο επίπεδο, στο οποίο δεν κατατάχθηκε κανένας μαθητής, ο σκοπός των μοντέλων είναι η κατανόηση φαινομένων, η κατασκευή και ο έλεγχος των επιστημονικών θεωριών και όχι η απλή αντιγραφή της πραγματικότητας, ενώ ο κατασκευαστής του μοντέλου έχει ενεργό ρόλο.

Πίνακας 1: Ιδέες των μαθητών για την φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων

Φύση των μοντέλων	Ρόλος των μοντέλων
1. Το μοντέλο ως ακριβές αντίγραφο (Grosslight et al., 1991· Saari & Viiri, 2003·Treagust et al., 2002)	1.Η αντιγραφή του στόχου (Grosslight et al., 1991·Schwarz et al., 2009)
2. Η μεταβλητότητα του μοντέλου ως αποτέλεσμα λαθών στην κατασκευή (Grosslight et al., 1991)	2.Ψυχαγωγικός (Grosslight et al., 1991)
3. Η μεταβλητότητα του μοντέλου για την βελτίωση της εμφάνισης του (Schwarz et al.,2009)	3.Χρησιμεύουν ως υποδείγματα (Grosslight et al., 1991)
4. Διαφορετικά μοντέλα υπάρχουν για να δείξουν κυριολεκτικά διαφορετικές πλευρές (μέσα- έξω) ή διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας (Grosslight et al., 1991)	
5. Το μοντέλο αναπαριστά αντικείμενα και όχι ιδέες (Grosslight et al., 1991·Saari & Viiri, 2003).	4.Μη αντιληπτός ο προβλεπτικός ρόλος των μοντέλων (Treagust et al., 2002· Grosslight et al., 1991)
6. Ο ρόλος του κατασκευαστή δεν λαμβάνεται υπόψη (Grosslight et al., 1991).	

1.2.5 Η ανάπτυξη επιστημολογικής επίγνωσης για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων ως μια διαδικασία εννοιολογικής αλλαγής

Η ανάπτυξη επιστημολογικής επίγνωσης για την φύση και το ρόλο των μοντέλων αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία (Schwarz & White, 2005). Πολλές έρευνες υποστηρίζουν ότι οι μαθητές ακόμη και όταν εμπλέκονται σε διαδικασίες οικοδόμησης μοντέλων, δεν καταφέρνουν να διαμορφώσουν επιστημολογική επάρκεια - επίγνωση [Epistemological awareness] αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων (Carey & Smith, 1993· Grosslight et al.,1991). Αντίθετα, έχει σημειωθεί ότι για την ανάπτυξη της επιστημολογικής επάρκειας θα πρέπει να υπάρχει μία μεταγνωστική διαδικασία αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων (Smith, Snir, & Grosslight, 1992).

Προσπάθειες σε αυτό το επίπεδο έχουν πραγματοποιηθεί από διάφορους ερευνητές της διδακτικής των φυσικών επιστημών. Για παράδειγμα, οι Saari και Viiri (2003) πραγματοποίησαν μία διερευνητική μαθησιακή ακολουθία [research-based teaching sequence] μοντελοποίησης σε μαθητές γυμνασίου [7th Grade], αναφορικά με τις καταστάσεις της ύλης και την δομή της στο μικρό-επίπεδο. Μέσα από την ανάλυση των ημι-δομημένων συνεντεύξεων φάνηκε ότι πριν την παρέμβαση, οι αντιλήψεις των περισσότερων [29 εκ των 31] μαθητών σχετικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων ανήκαν στο κατώτερο επίπεδο A, δηλαδή ότι το μοντέλο μπορεί να είναι μόνο υλικής υπόστασης, αποτελεί αντίγραφο του πραγματικού αντικειμένου και η μεταβλητότητα του μοντέλου σχετίζεται με την ύπαρξη λαθών σε αυτό. Μετά την παρέμβαση, η οποία περιελάμβανε ρητή διδασκαλία αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων, μόνο οι μισοί μαθητές [16] είχαν διαμορφώσει την επιστημονικά αποδεκτή αντίληψη [Γ κατηγορία], θεωρώντας τα μοντέλα ως αναπαραστάσεις ενός στόχου και ότι μεταβάλλονται βάση της διερευνητικής αξιολόγησης του αν επιτελούν το στόχο τους [επεξήγηση, πρόβλεψη]. Ταυτόχρονα, υπήρχαν δύο μαθητές του επιπέδου κατανόησης A που διατήρησαν τις αρχικές τους πεποιθήσεις.

Οι Schwarz και White (2005) δίδαξαν ρητά, σε μαθητές γυμνασίου, την φύση και το ρόλο των μοντέλων εμπλέκοντας τους μαθητές σε διαδικασίες μοντελοποίησης μαζί με συζητήσεις αναστοχασμού, μέσα από την χρήση του αναλυτικού προγράμματος the Model-Enhanced Thinker Tools (METT). Αναλυτικότερα, οι μαθητές αφού πραγματοποίησαν «πραγματικά» πειράματα αναφορικά με την κίνηση και τις δυνάμεις, χρησιμοποίησαν το λογισμικό METT για να κατασκευάσουν και να συγκρίνουν διαφορετικά μοντέλα που αναπαριστούν τις ιδέες τους αναφορικά με τις αρχές που διέπουν το φαινόμενο, χρησιμοποιώντας και στοιχεία από το «πραγματικό πείραμα» με σκοπό να εξάγουν κανόνες, ώστε να εξηγούν και να προβλέπουν το φαινόμενο της κίνησης και της δύναμης. Ακολούθησε κείμενο με πληροφορίες για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων καθώς και εμπλοκή σε συνολικές συζητήσεις. Η γνώση των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων αξιολογήθηκε μέσα από το Modeling assessment paper-pencil tests και από τη συνέντευξη 12 εκ των μαθητών. Στα αποτελέσματα της έρευνάς τους παρατηρήθηκε βελτίωση των απόψεων των μαθητών αναφορικά με την φύση [από 64% σε 73%] και το ρόλο των μοντέλων [από 57% σε 74%], ενώ όπως αναφέρουν οι ερευνητές οι μαθητές με χαμηλότερες ακαδημαϊκές επιδόσεις στο Individual Test of Academic Skills (ITAS) φάνηκε να ωφελήθηκαν από την παρέμβαση κατά μέσο όρο 3% σε σχέση με τους μαθητές υψηλών επιδόσεων που ωφελήθηκαν κατά μέσο όρο 11%.

Στην έρευνα των Schwarz et al. (2009), μαθητές Ε' και Στ' Δημοτικού ενεπλάκησαν σε διαδικασίες μοντελοποίησης [κατασκευή, χρήση, αξιολόγηση, αναθεώρηση] σχετικά με τα φαινόμενα της εξάτμισης και της συμπύκνωσης [5th grade] και του φωτός [6th grade] ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιούνταν και μεταγνωστικές/ αναστοχαστικές συζητήσεις αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων. Μέσα από τις συνεντεύξεις με τους μαθητές και τα μοντέλα που κατασκεύασαν, υποστηρίζεται ότι οι μαθητές μετά τη διδακτική παρέμβαση παρουσίασαν μετακίνηση των απόψεών τους

αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων σε πιο εκλεπτυσμένες πεποιθήσεις. Οι μαθητές μετακινήθηκαν από το χαμηλότερο επίπεδο κατανόησης 1 [μοντέλο ως κυριολεκτική απεικόνιση ενός και μόνο φαινομένου και δεν τροποποιείται - μεταβάλλεται], κυρίως στο επίπεδο 2 [μοντέλο ως απεικόνιση αλλά και επεξήγηση ενός φαινομένου και δεν λαμβάνεται υπόψη η αξία της επεξηγηματικής δυναμικής του μοντέλου ως αιτία τροποποίησης-μεταβολής του] αλλά και σε μεμονωμένες περιπτώσεις στο επίπεδο 3 [το μοντέλο χρησιμοποιείται για να εξηγήσει και να προβλέψει και ένα μοντέλο μεταβάλλεται ανάλογα με την ικανότητά του να προβλέπει και να επεξηγεί]. Τέλος, οι μαθητές δεν κατάφεραν να προσεγγίσουν το ανώτερο επίπεδο κατανόησης 4.

Σε μία πιο πρόσφατη έρευνα (Zoupidis, Pnevmatikos, Spyrtou, & Kariotoglou, 2010) διαμορφώθηκε και αξιολογήθηκε μία Διδακτική Μαθησιακή Ακολουθία με στόχο την μάθηση της έννοιας της πυκνότητας ως ιδιότητα που επηρεάζει την πλεύση-βύθιση μέσω διαδικασιών μοντελοποίησης καθώς και την διαμόρφωση επιστημολογικής επάρκειας [Epistemological awareness] αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων. Συγκεκριμένα, οι Zoupidis et al. (2010) ακολούθησαν ρητή διδασκαλία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Χρησιμοποίησαν διαφορετικά μοντέλα ενός πλοίου [φυσικό-απτό, σκίτσο και προσομοίωση], του ηλιοκεντρικού συστήματος και το οπτικό μοντέλο «τελίτσες-στο-κυβάκι», της πυκνότητας διαφόρων υλικών και ενέπλεξαν τους μαθητές, μέσα από συζητήσεις και πειράματα, σε μια διαδικασία συνειδητοποίησης και αναθεώρησης των αρχικών τους πεποιθήσεων αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Καλούσαν, επομένως τους μαθητές να τροποποιήσουν τις αρχικές τους διαισθητικές πεποιθήσεις ότι τα μοντέλα αποτελούν αντίγραφα του στόχου και ο σκοπός τους είναι ψυχαγωγικός, με πιο εκλεπτυσμένες πεποιθήσεις (sophisticated beliefs), όπως π.χ. ότι τα μοντέλα αποτελούν αναπαραστάσεις ενός στόχου και ο σκοπός τους είναι η ερμηνεία, η περιγραφή και η

πρόβλεψη ενός φαινομένου. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι οι όλοι οι μαθητές [N=41] πριν τη διδακτική παρέμβαση διατηρούσαν μία «ψυχαγωγική αντίληψη» [recreational view], αναφορικά με το ρόλο των μοντέλων, ενώ όλοι οι μαθητές θεωρούσαν ότι αποτελεί όχι αναπαράσταση αλλά αντίγραφο της πραγματικότητας. Μετά την παρέμβαση 27 μαθητές μετακινήθηκαν σε πιο εκλεπτυσμένες αντιλήψεις αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι μόνο τέσσερεις μαθητές κατάφεραν να προσεγγίσουν την επιστημονική αντίληψη, δηλαδή ότι το μοντέλο αποτελεί μία αναπαράσταση με εξηγηματικό και προβλεπτικό ρόλο.

Από τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων ερευνών φαίνεται ότι η τροποποίηση των αντιλήψεων των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία. Στα αποτελέσματα των Saari και Viiri (2003) μόνο οι μισοί μαθητές κατάφεραν να τροποποιήσουν τις αντιλήψεις τους, ώστε να αντικατοπτρίζουν τις επιστημονικές [Επίπεδο κατανόησης Γ] ενώ υπήρχαν μαθητές που δεν κατάφεραν να τροποποιήσουν τις αντιλήψεις τους μένοντας στο ίδιο επίπεδο κατανόησης [Α επίπεδο κατανόησης]. Οι δυσκολίες και οι ατομικές διαφορές των μαθητών ήταν φανερές και στα αποτελέσματα των ερευνών των Zoupidis et al. (2010) καθώς μόνο 4 από τα 41 παιδιά κατάφεραν να τροποποιήσουν τις απόψεις τους αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων, ώστε να αντικατοπτρίζουν την επιστημονική άποψη. Παρομοίως, στην έρευνα των Schwarz και White (2005), αν και υπήρχε τροποποίηση των αντιλήψεων των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων, παρατηρήθηκε ότι οι μαθητές με υψηλότερες ακαδημαϊκές επιδόσεις ωφελήθηκαν περισσότερο [11%] από αυτούς με χαμηλότερες ακαδημαϊκές επιδόσεις [3%]. Από τις παραπάνω έρευνες βλέπουμε ότι η ανάπτυξη επιστημονικής γνώσης σχετικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων είναι δύσκολο να επιτευχθεί ακόμη και μετά από τη ρητή διδασκαλία αυτών των εννοιών. Τα αποτελέσματα αυτά

έρχονται και σε συμφωνία και με παλαιότερες έρευνες, όπως αυτή των Smith et al., (1992).

Υποστηρίζεται ότι η τροποποίηση των επιστημολογικών πεποιθήσεων των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων μπορεί να τεθεί σε αναλογία με την διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, όπως αυτή περιγράφεται από τη θεωρία πλαισίου [Framework theory] (Vosniadou, 2013). Αναλυτικότερα, οι μαθητές, όπως περιγράφηκε και στην προηγούμενη ενότητα, διαθέτουν εναλλακτικές πεποιθήσεις-ιδέες για την φύση και το ρόλο των μοντέλων (Grosslight et al., 1991· Saari & Viiri, 2003· Treagust et al., 2002) οι οποίες μπορεί να είναι αποτέλεσμα της εμπειρίας τους από μοντέλα που παρατηρούν στην καθημερινή ζωή (Saari & Viiri, 2003) [pre-conceptions] καθώς και ως αποτέλεσμα της χρήσης των μοντέλων στην εκπαίδευση [misconceptions]. Για παράδειγμα η παρουσίαση των μοντέλων στα βιβλία ως στατικά ή ως τελικές εκδόσεις της γνώσης (Snir et al., 2003· Van Driel & Verloop, 2002) και η παρουσίαση των επιστημονικών αρχών σε απομόνωση από τα μοντέλα που τους νοηματοδότησαν (Franco et al., 1999). Τέλος, ακόμη και οι ιδέες των ίδιων των εκπαιδευτικών για την φύση (Smit & Finegold, 1995) [να είναι όσο το δυνατό πιο όμοιο με το στόχο] και το ρόλο των μοντέλων [δεν γνωρίζουν την προβλεπτική τους ικανότητα] (Van Driel & Verloop, 1999) φαίνεται να επηρεάζουν τον τρόπο προσέγγισης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων μέσα από τις διδακτικές τους παρεμβάσεις.

Η τροποποίηση των αντιλήψεων για την φύση και το ρόλο των μοντέλων όπως και η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, 2002) αποτελεί μία σταδιακή και αργή διαδικασία, καθώς όπως φάνηκε σε έρευνες σαν αυτές που περιεγράφηκαν εκτενώς σε αυτό το κεφάλαιο, οι μαθητές δυσκολεύονται ακόμη και μετά από πολλές διδακτικές παρεμβάσεις να τροποποιήσουν τις απόψεις τους και να φτάσουν στα

υψηλότερα επίπεδα επιστημολογικής επίγνωσης (Saari & Viiri, 2003· Zoupidis et al., 2010), αλλά και να διατηρήσουν την νέα γνώση στο χρόνο (Saari & Viiri, 2003).

Ταυτόχρονα, μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι η εκλέπτυνση των πεποιθήσεων των μαθητών για την φύση και το ρόλο των μοντέλων απαιτεί αλλαγές στις οντολογικές κατηγοριοποιήσεις, στις επιστημολογικές πεποιθήσεις και στις αναπαραστάσεις των μαθητών, ακολουθώντας την διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής (Vosniadou, 2013). Πιο συγκεκριμένα, για να πραγματοποιηθεί ανάπτυξη επιστημολογικής επίγνωσης για την φύση και το ρόλο των μοντέλων απαιτείται αρχικά οι μαθητές να πραγματοποιήσουν αλλαγές στην οντολογική κατηγοριοποίηση των μοντέλων. Χρειάζεται να πραγματοποιηθεί μία επανακατηγοριοποίηση της έννοιας «μοντέλο» από την οντολογική κατηγορία «αντίγραφο ενός αντικειμένου» [replica] (Grosslight et al., 1991· Saari & Viiri, 2003· Treagust et al., 2002) στην οντολογική κατηγορία «μοντέλο ως αναπαράσταση με συγκεκριμένο σκοπό» [εξήγηση και πρόβλεψη ενός φαινομένου], με βάση τον οποίο επιλέγεται ο τρόπος αναπαράστασης και στη βάση του οποίου μεταβάλλεται το μοντέλο. Επομένως, χρειάζεται η επανακατηγοριοποίηση του μοντέλου ως επιστημονικό εργαλείο διερεύνησης (Snir et al., 2003).

Η πραγματοποίηση αυτής της μετατόπισης συνοδεύεται από τροποποιήσεις και στις επιστημολογικές πεποιθήσεις και τις αναπαραστάσεις των μαθητών. Η μετατόπιση αυτή επιτρέπει στο μαθητή να αναπαραστήσει νοητικά το μοντέλο με πολλαπλούς τρόπους αναπαράστασης και ταυτόχρονα η αναπαράσταση του μοντέλου δεν θα επικεντρώνεται μόνο στο ίδιο το μοντέλο, αλλά θα συνυπάρχει με το στόχο που αναπαριστά και το σκοπό που επιτελεί.

Τέλος, οι τροποποιήσεις στις επιστημολογικές τους πεποιθήσεις για την φύση και το ρόλο των μοντέλων αναφέρονται στην διαμόρφωση επιστημολογικών πεποιθήσεων, όπου τα μοντέλα αποτελούν ανθρώπινα δημιουργήματα με σκοπό να επιτελέσουν

συγκεκριμένους σκοπούς [αναπαράσταση, επεξήγηση, πρόβλεψη] και γι' αυτό είναι ευμετάβλητα και δεν αποτελούν μη μεταβαλλόμενα αντίγραφα της πραγματικότητας.

Η διαδικασία τροποποίησης των αρχικών διαισθητικών πεποιθήσεων των μαθητών σε πιο εκλεπτυσμένες, απαιτεί οι μαθητές να μπορούν διατηρήσουν όλες τις πληροφορίες στην εργαζόμενη τους μνήμη, να εναλλάσσονται μεταξύ των διαισθητικών και επιστημονικών ιδεών, ώστε να τις διαχωρίσουν, να αναστείλουν τις αρχικές τους διαισθητικές πεποιθήσεις για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και να τις ανανεώσουν με πιο εκλεπτυσμένες, οι οποίες αντικατοπτρίζουν την επιστημονική άποψη. Όλες αυτές οι διαδικασίες απαιτούν σύνθετες γνωστικές λειτουργίες, τις εκτελεστικές λειτουργίες.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι πολλές έρευνες (Schwarz, 2002·Wiser & Smith 2008 ·Schwarz & White 2005· Zoupidis et al., 2010 ·Zoupidis, Pnevmatikos, Spyrtou, & Kariotoglou, 2016) υποστηρίζουν ότι η ανάπτυξη επιστημολογικής επάρκειας / επίγνωσης για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων επηρεάζει την εννοιολογική κατανόηση του περιεχομένου. Η κατανόηση της φύσης των μοντέλων και του σκοπού τους είναι καίριας σημασίας στην εκμάθηση της φυσικής μέσα από τα μοντέλα (Schwarz, 2002). Για παράδειγμα, οι Wiser και Smith (2008) στην έρευνά τους υποστηρίζουν ότι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση της ατομικής - μοριακής θεωρίας αποτελεί και η επιστημολογική κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Επιπλέον, στα ευρήματα των Schwarz και White (2005) παρουσιάζεται ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων με την κατανόηση του περιεχομένου της Φυσικής. Παρομοίως και στα ευρήματα της έρευνας των Zoupidis et al. (2010) φάνηκε ότι η ανάπτυξη της επιστημολογικής επίγνωσης, μέσω της τροποποίησης των απόψεων των μαθητών για την φύση και των

ρόλο των μοντέλων σε πιο επιστημονικές, συνέβαλε στην κατανόηση των εννοιών της πυκνότητας και της πλεύσης -βύθισης.

1.3 Εκτελεστικές λειτουργίες

1.3.1 Ορισμός και φύση

Πρόσφατες έρευνες (Zaitchik, Iqbal, & Carey, 2013· Vosniadou et al., 2015·Χουντάλα, 2014) έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους στην διερεύνηση των σύνθετων γνωστικών λειτουργιών που διέπουν την διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, των εκτελεστικών λειτουργιών.

Οι εκτελεστικές λειτουργίες αποτελούν σημαντικούς μηχανισμούς ελέγχου γνωστικών διαδικασιών, που ρυθμίζουν την ανθρώπινη νόηση (Miyake et al., 2000) και επηρεάζουν την ανθρώπινη συμπεριφορά (Lezak, 1993). Πιο συγκεκριμένα, οι εκτελεστικές λειτουργίες αποσκοπούν στην διαμόρφωση της συμπεριφοράς βάσει του ελέγχου των εσωτερικών αναπαραστάσεων και των αυτό-κατευθυνόμενων συμπεριφορών του ατόμου, επιτυγχάνοντας στοχο-κατευθυνόμενες συμπεριφορές (Barkley, 1997).

Πέρα από τον ορισμό, στην βιβλιογραφία δεν υπάρχει συμφωνία και ως προς την φύση των εκτελεστικών λειτουργιών. Υπάρχει διάκριση των ερευνητών σε αυτούς που υποστηρίζουν την ύπαρξη ενός υποκείμενου κοινού μηχανισμού, της ενιαίας φύσης των εκτελεστικών λειτουργιών [theory of unity] και στους ερευνητές που υποστηρίζουν την μη ενιαία φύση των εκτελεστικών λειτουργιών, όπου οι εκτελεστικές λειτουργίες είναι συσχετιζόμενες αλλά διακριτές [non-unity].

Στην πρώτη κατηγορία ερευνητών ανήκουν οι Norman και Shallice (1986), οι οποίοι προτείνουν την ύπαρξη ενός Εποπτικού Συστήματος Προσοχής [Supervisory Attentional System, SAS], το οποίο κατά τις ελεγχόμενες διαδικασίες [μη – ρουτίνες] ελέγχει την επιλογή των σχημάτων, μέσω της παροχής επιπλέον ενεργοποίησης ή

αναστολής τους, επιτυγχάνοντας το σχεδιασμό μελλοντικών δράσεων, τη λήψη αποφάσεων και την διεργασία νέων ερεθισμάτων. Το εποπτικό σύστημα προσοχής τοποθετείται στο προμετωπιαίο φλοιό (Shallice, 2002).

Υπέρ της ύπαρξης ενός υποκείμενου κοινού μηχανισμού ήταν και ο Baddeley (1996) με το μοντέλο του για τη μνήμη εργασίας, το οποίο υποστήριζε την ύπαρξη μίας κεντρικής δομής ελέγχου, του κεντρικού εκτελεστή. Για την συγκεκριμενοποίηση του κεντρικού εκτελεστή ο Baddeley (1996) βασίστηκε στο Εποπτικό Σύστημα Προσοχής [Supervisory Attentional System, SAS] των Norman and Shallice (1986). Σύμφωνα με το μοντέλο του Baddeley (1996) η εργαζόμενη μνήμη αποτελείται από ένα περιορισμένης χωρητικότητας σύστημα προσοχής, τον κεντρικό εκτελεστή [central executive] και δύο συστήματα «σκλάβους», από τα οποία το ένα ειδικεύεται στη διατήρηση φωνολογικής πληροφορίας [φωνολογικός βρόχος] και το άλλο στη διατήρηση της οπτικοχωρικής [οπτικοχωρικό σημειωματάριο]. Τα δύο αυτά συστήματα βρίσκονται υπό την επιρροή του κεντρικού εκτελεστή.

Τέλος, την ύπαρξη ενός κοινού υποκείμενου μηχανισμού υποστήριξε και ο Barkley (1997) με το μοντέλο της αυτορρύθμισης [self –regulatory model]. Βασιζόμενος στην ελλειμματικό ανασταλτικό έλεγχο της συμπεριφοράς ατόμων με Διάσπαση Ελλειμματικής Προσοχής και Υπερκινητικότητα [ΔΕΠΥ], δημιούργησε το μοντέλο της αυτορρύθμισης σύμφωνα με το οποίο ο ανασταλτικός έλεγχος αποτελεί την βάση για την ικανοποιητική επίδοση σε όλες τις εκτελεστικές λειτουργίες.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ερευνητές που αμφισβητούν την ύπαρξη ενιαίας δομής, διερευνώντας τις ατομικές διαφορές των ατόμων σε έργα όπως το Wisconsin Card Sorting Test [WCST] και το Tower of Hanoi [TOH] (Miyake et al., 2000). Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών, σύμφωνα με τους Miyake et al. (2000)

υποστηρίζουν ότι η συσχέτιση ανάμεσα στα διαφορετικά έργα εκτελεστικών λειτουργιών είναι πολύ χαμηλή ($r= 0.40$).

Πιο συγκεκριμένα οι Godefroy, Cabaret, Petit-Chenal, Pruvo και Rousseaux (1999) με την έρευνά τους μελέτησαν τις επιδόσεις ατόμων που είχαν τραυματίσει το μετωπιαίο λοβό τους, σε έργα αξιολόγησης βραχύχρονης μνήμης και διαδικασιών ελέγχου. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι ασθενείς είχαν καλές επιδόσεις σε κάποια τεστ ενώ σε άλλα όχι, π.χ. καλές επιδόσεις στο WCST αλλά όχι στο TOH και το αντίστροφο, καταδεικνύοντας ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες βασίζονται σε πολλαπλές και ξεχωριστές διαδικασίες ελέγχου.

Σύμφωνα με τους Miyake et al. (2000), η απάντηση για την φύση των εκτελεστικών λειτουργιών ίσως να βρίσκεται στη μέση. Στην έρευνά τους μελέτησαν τις ατομικές διαφορές ενηλίκων μαθητών κολεγίου στις τρεις πιο συχνά μελετημένες εκτελεστικές λειτουργίες, την εναλλαγή πλαισίου, την ανανέωση της μνήμης εργασίας και την αναστολή. Οι ενήλικες εξετάστηκαν σε έργα που αντιπροσώπευαν κάθε μία από τις Εκτελεστικές Λειτουργίες (Ε.Λ.). καθώς και κάποια συνδυαστικά έργα όπως το WCST, το TOH, το random number generation (RNG), το operation span και το dual tasking. Τα αποτελέσματά της έρευνας υποστηρίζουν ότι υπάρχει μέτριος βαθμός συσχέτισης ανάμεσα στις εκτελεστικές λειτουργίες, οι οποίες θεωρούνται διακριτές και συμβάλουν με διαφορετικό τρόπο σε κάθε έργο. Υποστήριξαν, επομένως την ενιαία και μη-ενιαία προσέγγιση για τη φύση των εκτελεστικών λειτουργιών.

Παρόμοια αποτελέσματα είχε και η έρευνα των Lehto, Juujärvi, Kooistra και Pulkkinen, (2003) με δείγμα 108 μαθητές ηλικίας 8-13 ετών. Αν και χρησιμοποίησαν διαφορετικά έργα εκτελεστικών λειτουργιών [battery of tests] από αυτά των Miyake et al. (2000), υιοθέτησαν την κατηγοριοποίηση και την ορολογία των Miyake et al. (2000), εξάγοντας τρία βασικά στοιχεία των εκτελεστικών λειτουργιών: την

εργαζόμενη μνήμη [WM], την αναστολή [Inhibition] και την εναλλαγή [Shifting]. Στα αποτελέσματά τους καταγράφηκαν χαμηλές συσχετίσεις ανάμεσα στις τρεις εκτελεστικές λειτουργίες, υποστηρίζοντας την ύπαρξη ενιαίας και μη ενιαίας δομής των εκτελεστικών λειτουργιών και στα παιδιά.

1.3.2 Οι τρεις εκτελεστικές λειτουργίες: Αναστολή, Εναλλαγή, Ανανέωση

Οι εκτελεστικές λειτουργίες αποτελούν αλληλένδετες γνωστικές ικανότητες (Collette et al., 2005) και στη βιβλιογραφία παρατηρείται προσπάθεια αποσαφήνισής τους και κατασκευής θεωρητικών μοντέλων για τη προσέγγισή τους. Το πιο διαδεδομένο θεωρητικό πλαίσιο είναι αυτών των Miyake et al. (2000), οι οποίοι διέκριναν τρεις βασικές εκτελεστικές λειτουργίες την αναστολή [inhibition], την εναλλαγή [shifting] και την ανανέωση της μνήμης εργασίας [updating]. Στην παρούσα διπλωματική θα ακολουθηθεί το θεωρητικό πλαίσιο των Miyake et al. (2000). Στη βιβλιογραφία υπάρχουν καλά μελετημένα και σχετικά απλά γνωστικά έργα που έχουν σχεδιαστεί για τη μέτρησή των τριών αυτών εκτελεστικών λειτουργιών, οι οποίες φαίνεται να εμπλέκονται και στα πιο περίπλοκα, κλασικά έργα εκτελεστικών λειτουργιών (Miyake et al., 2000).

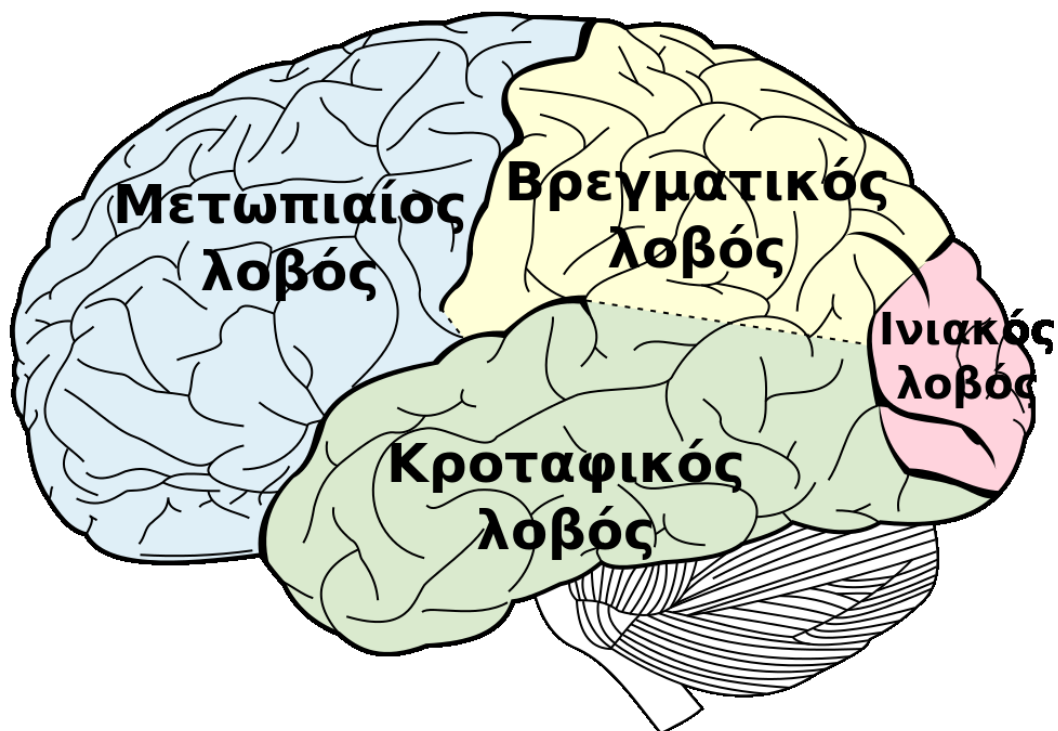
Πιο συγκεκριμένα, η αναστολή είναι η ικανότητα του ατόμου να επιτυγχάνει εμπρόθετη αναστολή των αυτόματων αποκρίσεων όπου είναι απαραίτητο (Miyake et al., 2000). Το άτομο, δηλαδή, επιτυγχάνει την παύση μίας σκέψης ή συμπεριφοράς όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο [για έργα ανασταλτικού ελέγχου βλέπε κεφάλαιο 1.3.4]. Επιπλέον, αυτή η εκτελεστική λειτουργία χρησιμοποιείται για την αντίσταση κατά την παρεμβολή ερεθισμάτων [Resistance to Distractor Interference], ώστε το άτομο να διατηρεί την προσοχή του στο στόχο όταν έρχεται αντιμέτωπο με μη σχετικά με αυτόν ερεθίσματα (Friedman & Miyake, 2004).

Ο Nigg (2000) διέκρινε τέσσερις διαφορετικούς τύπους αναστολής. Ο πρώτος τύπος αναφέρεται ως *interference control*, δηλαδή έλεγχος παρεμβολής – ανταγωνιστικού ερεθίσματος, ο δεύτερος τύπος είναι η γνωστική αναστολή (*Cognitive inhibition*), δηλαδή η καταστολή από την εργαζόμενη μνήμη μη επιθυμητών πληροφοριών (π.χ. σκέψεων). Ο τρίτος τύπος αναστολής αναφέρεται ως αναστολή συμπεριφοράς (*Behavioral inhibition*), δηλαδή αναστολή μιας αυτοματοποιημένης απόκρισης ή μιας μη κοινωνικά αποδεκτής συμπεριφοράς. Τέλος, ο τελευταίος τύπος αναστολής είναι αυτός της οφθαλμολογικής αναστολής (*Oculomotor*), δηλαδή η αναστολή των αυτόματων σακκαδικών κινήσεων (*effortful suppression of reflexive saccade*).

Η λειτουργία της εναλλαγής [για έργα εναλλαγής βλέπε κεφάλαιο 1.3.4] αναφέρεται στην ικανότητα του ατόμου να μετατοπίζεται μπρος-πίσω μεταξύ πολλαπλών έργων (Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006). Επιπλέον, η λειτουργία της εναλλαγής αναφέρεται πέρα από την ικανότητα εμπλοκής και απεμπλοκής από το πλαίσιο του έργου, στην ικανότητα εκτέλεσης μίας νέας διαδικασίας υπό τη δράση ενεργής παρεμβολής ή αρνητικής προέγερσης εξαιτίας προηγούμενης διαφορετικής διεργασίας με τον ίδιο τύπο ερεθισμάτων (Allport & Wylie, 2000).

Τέλος, η λειτουργία της ανανέωσης της μνήμης εργασίας [για έργα ανανέωσης της μνήμης εργασίας βλέπε κεφάλαιο 1.3.4] επιτρέπει στο άτομο να παρακολουθεί και να κωδικοποιεί τις εισερχόμενες πληροφορίες και να αναθεωρεί, όταν χρειάζεται, τις πληροφορίες στην εργαζόμενη μνήμη αντικαθιστώντας τις παλιές και πλέον μη σχετικές πληροφορίες με νέες πιο σχετικές (Morris & Jones, 1990). Επομένως, η λειτουργία της ανανέωσης της μνήμης εργασίας δεν είναι η παθητική διατήρηση πληροφορίας, αλλά αντίθετα ο δυναμικός, ενεργητικός χειρισμός των περιεχομένων της μνήμης (Morris & Jones, 1990).

Αναφορικά με την εγκεφαλική οργάνωση των εκτελεστικών λειτουργιών, οι Collette et al., (2005) χρησιμοποιώντας τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων και πολλαπλά έργα εκτελεστικών λειτουργιών, εξέτασαν τις περιοχές του εγκεφάλου που είναι κοινές καθώς και ξεχωριστές για την αναστολή, την ανανέωση και την εναλλαγή. Στα αποτελέσματά τους φαίνεται η κοινή ενεργοποίηση των μετωπιαίων [frontal] και βρεγματικών [parietal] περιοχών και στις τρεις εκτελεστικές λειτουργίες, καθώς και η ενεργοποίηση των μετωπιαίων ή/και οπίσθιων [posterior] περιοχών για τις εκτελεστικές λειτουργίες της ανανέωσης της μνήμης εργασίας και της εναλλαγής.



Εικόνα 1: Gray, (1918). Η ανατομία του ανθρώπινου σώματος (*Anatomy of the Human Body*).

1.3.3 Η ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών

Μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στον παραλληλισμό ανάμεσα στην ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών και της ωρίμανσης του μετωπιαίου λοβού. Εμπειρικά

δεδομένα φανερώνουν ότι η σταδιακή αύξηση των εκτελεστικών λειτουργιών συμπίπτει με αναπτυξιακές εκτοξεύσεις στο μετωπιαίο λοβό (Anderson, Anderson, & Garth, 2001). Και οι δύο βρίσκονται σε μια ανώριμη κατάσταση στη παιδική ηλικία, η οποία ακολουθείται από την παρατεταμένη ανάπτυξή τους στην εφηβεία ως την ενηλικίωση (Casey, Giedd, & Thomas, 2000).

Οι διαφορές στην νευρική εκτέλεση συγκεκριμένων περιοχών του μετωπιαίου φλοιού οδηγούν στην μοναδική χρονική στιγμή εμφάνισης των εκτελεστικών λειτουργιών και της άφιξης στα επίπεδα των ενηλίκων (Casey et al., 2000· Espy, 2004).

Για παράδειγμα οι Senn, Espy & Kaufmann (2004) ανίχνευσαν την εκτελεστική λειτουργία της αναστολής σε παιδιά 3 ετών, υποστηρίζοντας ότι τα παιδιά όταν είναι σε μικρή ηλικία χρησιμοποιούν τον ανασταλτικό έλεγχο και λιγότερο τη μνήμη εργασίας για να λύσουν τα διάφορα προβλήματα που συναντούν στην καθημερινότητά τους. Αντίθετα, στα μεγαλύτερα παιδιά η χρήση της μνήμης εργασίας ήταν εκτενέστερη. Τα ευρήματα αυτά μπορεί να οφείλονται στο διαφορετικό ρυθμό ανάπτυξης των δύο αυτών λειτουργιών, με την εκτελεστική λειτουργία της αναστολής να αναπτύσσεται ταχύτερα από την μνήμη εργασίας.

Σύμφωνοι με τα ευρήματα των Senn et al. (2004) είναι και οι Huizinga και van der Molen (2006) που στην έρευνά τους με δείγμα ηλικίας 7, 11, 15 και 21 ετών, έλεγξαν με την χρήση του Wisconsin Card Sorting Task (WCST) τις διαφορές που παρουσιάζονται στις επιδόσεις ανάλογα με την ηλικία. Στα αποτελέσματά τους υποστηρίζεται ότι αναφορικά με τη μνήμη εργασίας, επιδόσεις ενηλίκων παρατηρούνταν μετά την ηλικία των 12 ετών και συνέχιζαν να αναπτύσσονται ως και την πρώιμη ενηλικίωση. Σχετικά με την εκτελεστική λειτουργία της εναλλαγής, το κόστος εναλλαγής μειώνεται μέχρι την ηλικία των 15, η ικανότητα όμως εναλλαγής μεταξύ έργων (shift task sets) φτάνει στα επίπεδα ενηλίκων κατά την εφηβεία. Τέλος,

αναφορικά με την εκτελεστική λειτουργία της αναστολής οι ερευνητές παρατήρησαν ότι η επίδοση στα έργα αναστολής αυξανόταν ραγδαία ως την ηλικία των 11 ετών, ενώ οι επιδόσεις αυτές δεν διέφεραν από αυτές των 15χρονων και των 21χρονων . Επιπρόσθετα, το έργο μορφής Stroop έδειξε, μια πρόωμη και σημαντική μείωση των λαθών, αλλά όχι στο χρόνο αντίδρασης. Επομένως, σύμφωνα με τα ευρήματα της έρευνας των Huizinga και van der Molen (2006) παρατηρούνται διαφορετικές αναπτυξιακές τάσεις στην αναστολή, εναλλαγή και ανανέωση της μνήμης εργασίας.

Πέρα από την ακρίβεια, διαφορές παρουσιάζονται και στο χρόνο αντίδρασης κατά την εκτέλεση των έργων εκτελεστικών λειτουργιών. Στην έρευνα των Davidson, Amso, Anderson, & Diamond (2006) το δείγμα – παιδιά 4-13 ετών και ενήλικες – παρουσίασε την δυσκολία του στο έργο μνήμης εργασίας και αναστολής σε πλαίσιο εναλλαγής με διαφορετικό τρόπο. Πιο συγκεκριμένα, τα παιδιά που ήταν μικρότερα των 10 ετών παρουσίασαν μικρότερη ακρίβεια με μικρές διαφορές στο χρόνο απόκρισης, ενώ από την ηλικία των 9 ως 13 η ακρίβεια παρουσίασε βελτίωση. Απεναντίας, ο χρόνος αντίδρασης παρουσίασε αντίθετη πορεία. Οι ενήλικες χρειάζονταν λιγότερο χρόνο για να απαντήσουν σωστά.

Οι έρευνες της ανάπτυξης των εκτελεστικών λειτουργιών κατά την διάρκεια της ζωής του ατόμου υποδηλώνουν ότι η ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών ακολουθεί μία πορεία που θα μπορούσε να περιγράψει ως αντίστροφη καμπύλη [U-shaped Curve] (Zelazo, Craik, & Booth, 2004). Μετά την ενηλικίωση του ανθρώπου ξεκινά η φθίνουσα πορεία των εκτελεστικών του λειτουργιών (Dempster, 1992).

1.3.4 Έργα μέτρησης εκτελεστικών λειτουργιών

Για τη μέτρηση των εκτελεστικών λειτουργιών χρησιμοποιούνται διάφορα έργα που στοχεύουν στην ανίχνευσή τους μέσα από την πρόκληση της ενεργοποίησής τους

(Miyake et al., 2000). Τα έργα μέτρησης μπορεί να μετρούν την ακρίβεια στην απόκριση [accuracy] αλλά και το χρόνο αντίδρασης [Reaction time, RT].

Για τη μέτρηση της **ανανέωσης της μνήμης εργασίας** χρησιμοποιούνται έργα όπως: (1) το έργο «N-πίσω» [N-back], στο οποίο τα υποκείμενα πρέπει να παρακολουθούν τα διαδοχικά παρουσιαζόμενα ερεθίσματα και να απαντήσουν θετικά, όταν το παρόν ερέθισμα ταιριάζει με εκείνο που συνέβη N γύρους πριν. Το συγκεκριμένο έργο απαιτεί την κωδικοποίηση, την ανανέωση και την απόρριψη των πληροφοριών της μνήμης εργασίας κάθε φορά που εμφανίζεται ένα νέο ερέθισμα (Jaeggi et al., 2003). Άλλα γνωστά έργα είναι (2) το «Παρατήρησε τον ήχο» [tone monitoring task] και το έργο «μνήμη γράμματος» [letter memory task] (Morris & Jones, 1990).

Για τη μέτρηση της **εναλλαγής** χρησιμοποιούνται έργα όπως: (1) το έργο « συν – πλην» [the plus–minus task] (Jersild, 1927), (2) το έργο «αριθμός-γράμμα» [number–letter task] (Rogers & Monsell, 1995). Τέλος, (3) το έργο «χρώμα-σχήμα» [Visually Cued Color-Shape task], στο οποίο οι συμμετέχοντες βλέπουν τέσσερις κάρτες, καθεμία από τις οποίες αποτελεί ένα σχήμα [τρίγωνο, κύκλος, τετράγωνο, ρόμβος], εμφανιζόμενο σε διαφορετικούς χρωματισμούς. Στην συνέχεια, τους ζητείται να ταξινομήσουν τις δοθείσες κάρτες σύμφωνα με το σχήμα ή το χρώμα τους, ανάλογα με το αν κάτω από το σχήμα εμφανίζεται ένα X ή ένα Y (Zelazo et al., 2004)

Για τη μέτρηση της **αναστολής** τα γνωστότερα έργα που πραγματοποιούνται με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι: (1) το Stroop-task (Perret, 1974 ·Stroop, 1935), στο οποίο οι μαθητές βλέπουν λέξεις χρωμάτων, γραμμένες με διαφορετικό μελάνι [π.χ. πράσινο] και πρέπει αναστείλουν την κυρίαρχη τάση τους να απαντήσουν αναφορικά με το χρώμα που γράφει η λέξη και να απαντήσουν με βάση το χρώμα με το οποίο είναι γραμμένη η λέξη και το αντίστροφο (Stroop effect). Άλλο έργο μέτρησης

της αναστολής είναι (2) το Stop-signal (Lappin & Eriksen, 1966· Logan, 1994), στο οποίο τα παιδιά ενώ ακολουθούν μια διαδικασία, πρέπει να τη σταματούν έγκαιρα όταν αντιληφθούν ένα συγκεκριμένο οπτικό και ακουστικό ερέθισμα. Το έργο (3) Go-No-Go είναι ακόμη ένα έργο στον Η/Υ, στο οποίο όπως και στο Stop-signal, το παιδί πρέπει να αναστείλει μια αυτοματοποιημένη προηγούμενη διαδικασία μετά την εμφάνιση συγκεκριμένου ερεθίσματος (Brocki & Bohlin, 2004· Casey et al., 1997). Πιο συγκεκριμένα, όταν γίνεται αντιληπτό ένα προκαθορισμένο ερέθισμα (π.χ. μία πράσινη βούλα), πρέπει το υποκείμενο να πατάει ένα προκαθορισμένο πλήκτρο από τον υπολογιστή [συνθήκη GO]. Αντίθετα, όταν γίνεται αντιληπτό άλλο συγκεκριμένο ερέθισμα π.χ. μια πολύχρωμη βούλα, δεν πρέπει να πατά το πλήκτρο [συνθήκη NoGO]. Τα παραπάνω έργα μπορούν να ελέγξουν την ακρίβεια και το χρόνο αντίδρασης.

Τέλος, το έργο (4) Anti-saccade (Hallett, 1978), αποτελεί ένα οφθαλμοκινητικό έργο στο οποίο υπάρχει ένας ακίνητος στόχος, π.χ. μία βουλίτσα, στην οποία το υποκείμενο καλείται να καθηλώσει το βλέμμα του. Στην συνέχεια ένα ερέθισμα παρουσιάζεται σε μια πλευρά του στόχου και το υποκείμενο πρέπει να αναστείλει την κίνηση του ματιού του προς συγκεκριμένο ερέθισμα και να κατευθύνει το μάτι του στην αντίθετη πλευρά από το ερέθισμα.

Τέλος, υπάρχουν και πιο σύνθετα έργα στα οποία εμπλέκονται περισσότερες από μία εκτελεστικές λειτουργίες. Τέτοια έργα είναι το Wisconsin Card Sorting Test [WCST], το οποίο προτείνεται για την μέτρηση της εναλλαγής και της αναστολής, καθώς και το Tower of Hanoi [TOH] (Simon, 1975) και το Tower of London [TOL] (Shallice, 1982).

1.3.5 Εκτελεστικές λειτουργίες στην εκπαίδευση

Τα τελευταία χρόνια δίνεται έμφαση στην εξέταση της συσχέτισης των εκτελεστικών λειτουργιών με διάφορες δεξιότητες των μαθητών (Bull & Scerif, 2001)

και τις ακαδημαϊκές επιδόσεις των μαθητών (Blair & Razza, 2007). Μεγάλο μέρος των ερευνών αυτών επικεντρώνονται στην διερεύνηση της συσχέτισης των εκτελεστικών λειτουργιών και ακαδημαϊκών επιτευγμάτων μαθητών διαφορετικών ηλικιών και μαθησιακών ικανοτήτων, στα γνωστικά αντικείμενα των μαθηματικών και της γλώσσας. Λιγότερες έρευνες αφορούν τη διερεύνηση τέτοιων πιθανών συσχετίσεων με επιδόσεις των μαθητών στις φυσικές επιστήμες. Οι έρευνες αυτές υποθέτουν ότι οι επιδόσεις στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών έχουν θετική συσχέτιση με τις ακαδημαϊκές επιδόσεις. Δηλαδή, όσο καλύτερες οι επιδόσεις στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών, τόσο καλύτερες και οι επιδόσεις των μαθητών στην γλώσσα, τα μαθηματικά και την φυσική. Πέρα από την διερεύνηση συσχετίσεων κάποιες έρευνες, όπως αυτή των Bull και Scerif (2001) υποθέτουν ότι οι επιδόσεις στις εκτελεστικές λειτουργίες μπορούν να αποτελέσουν προβλεπτικό παράγοντα των σχολικών επιδόσεων.

Οι Best, Miller και Naglieri (2011) διερεύνησαν τη σχέση ανάμεσα στις επιδόσεις σε έργα εκτελεστικών λειτουργιών και την ακαδημαϊκή επίδοση σε άτομα 5 με 17 ετών σε μαθηματικές και γλωσσικές δεξιότητες. Για να απαντήσουν στα ερωτήματά τους χρησιμοποίησαν για την μέτρηση των εκτελεστικών λειτουργιών ένα σύστημα γνωστικής αξιολόγησης [Cognitive Assessment System] (Naglieri & Das, 1997) και για τη μέτρηση των ακαδημαϊκών επιδόσεων πραγματοποιήθηκαν δοκιμασίες βασικών δεξιοτήτων με την χρήση του Woodcock–Johnson Tests of Achievement–Revised (Woodcock & Johnson, 1989). Στα αποτελέσματά τους παρουσιάζεται συσχέτιση ανάμεσα στις εκτελεστικές λειτουργίες και την επίδοση στα μαθηματικά και την αναγνωστική ικανότητα σε όλο το ηλικιακό εύρος του δείγματος. Επομένως, οι εκτελεστικές λειτουργίες επηρεάζουν τις ακαδημαϊκές επιδόσεις των μαθητών, αποτελώντας παράγοντα που εξηγεί ως ένα βαθμό τις ατομικές διαφορές των μαθητών.

Στην έρευνά τους οι Bull και Scerif (2001) επικεντρώθηκαν στις δυσκολίες που παρουσιάζουν μαθητές με χαμηλές μαθηματικές δεξιότητες στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών. Τα αποτελέσματά τους υποστηρίζουν ότι οι μαθητές αυτοί παρουσιάζουν δυσκολίες στα έργα που μετρούν την ικανότητά τους να αναστέλλουν πληροφορίες [Stroop task] και να αναστέλλουν μία κυρίαρχη μαθημένη στρατηγική ώστε να την εναλλάσσουν με μία νέα [WCST task]. Ταυτόχρονα, παρουσιάζουν και δυσκολίες στην διατήρηση πληροφοριών στην εργαζόμενη μνήμη. Παρόμοια ήταν και τα ευρήματα των St Clair-Thompson και Gathercole (2006), οι οποίοι μελέτησαν την σχέση των τριών εκτελεστικών λειτουργιών – αναστολή, εναλλαγή και ανανέωση της μνήμης εργασίας – και της μνήμης εργασίας με τις επιδόσεις μαθητών 11-12 ετών. Χρησιμοποίησαν δύο έργα για κάθε εκτελεστική λειτουργία, βασιζόμενα σε αυτά που χρησιμοποίησαν οι Miyake et al. (2000) καθώς και τα αποτελέσματα των εθνικών εξετάσεων που προβλέπονταν από το αναλυτικό πρόγραμμα. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους έδειξαν ότι η μνήμη εργασίας σε μεγαλύτερο βαθμό και η αναστολή σε μικρότερο παρουσίασαν υψηλή συσχέτιση με τις επιδόσεις στα μαθηματικά, ενώ δεν παρουσιάστηκε συσχέτιση με την εκτελεστική λειτουργία της εναλλαγής.

Στην ίδια έρευνα (St Clair-Thompson & Gathercole, 2006), πέρα από το μάθημα των μαθηματικών μελετήθηκε και η συσχέτιση των εκτελεστικών λειτουργιών με την επίδοση στο μάθημα της γλώσσας. Τα αποτελέσματα της έρευνας υποστηρίζουν την υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στην αναστολή και την μνήμη εργασίας με τις επιδόσεις στο μάθημα της γλώσσας ενώ δεν παρουσιάστηκε συσχέτιση με την εκτελεστική λειτουργία της εναλλαγής. Διαφορετικά αποτελέσματα είχε η έρευνα των van der Sluis, de Jong και van der Leij (2007), οι οποίοι μελέτησαν την συσχέτιση των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας με την αναγνωστική ικανότητα των μαθητών 9-12 ετών. Αναλυτικότερα, τα αποτελέσματα τους υποστηρίζουν την συσχέτιση της εναλλαγής και της ανανέωσης της μνήμης

εργασίας και όχι της αναστολής, με την αναγνωστική ικανότητα. Οι ερευνητές αναφέρουν ότι η έλλειψη συσχέτισης με την εκτελεστική λειτουργία της αναστολής οφείλεται πιθανά στην δυσκολία των έργων που χρησιμοποιήθηκαν να μετρήσουν τις ατομικές διαφορές στον ανασταλτικό έλεγχο.

Τέλος, σε σχέση με συσχετίσεις ανάμεσα στις εκτελεστικές λειτουργίες και τις επιδόσεις στις φυσικές επιστήμες, υπάρχουν έρευνες που συσχετίζουν την χωρητικότητα της μνήμης εργασίας [Working Memory Capacity, WMC] με την επίδοση στην επιστήμη. Για παράδειγμα, τα αποτελέσματα της έρευνας των Gathercole, Pickering, Knight και Stegmann (2004) υποστηρίζουν την ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στην χωρητικότητα της μνήμης εργασίας [WMC] και την επίδοση 14χρονων μαθητών στη φυσική. Στην έρευνα των Gathercole et al., (2004), για τη μέτρηση της επίδοσης των μαθητών στο μάθημα της φυσικής χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από το Key Stage assessment που πραγματοποίησε το σχολείο στα πλαίσια του προγράμματός του, ενώ για την μέτρηση της μνήμης εργασίας χρησιμοποιήθηκαν έργα forward και backward digit/letter span tasks και reading dual-tasks. Επιπλέον, οι St Clair-Thompson και Gathercole (2006) αναφέρουν την συσχέτιση της οπτικο-χωρικής μνήμης εργασίας μαθητών 11-12 ετών με τις επιδόσεις τους στη φυσική, όπως αυτές προήλθαν από τα αποτελέσματα των εθνικών εξετάσεων που προβλεπόντουσαν από το αναλυτικό πρόγραμμα.

Σημαντικές είναι και οι έρευνες που επικεντρώνονται στην συσχέτιση ανάμεσα στην περιορισμένη χωρητικότητα της μνήμης εργασίας και την επίλυση προβλημάτων στις φυσικές επιστήμες. Καθώς η χωρητικότητα της μνήμης εργασίας περιορίζει την ποσότητα των πληροφοριών που μπορούν να επεξεργαστούν για την επίλυση προβλημάτων, αναμένεται η πτώση της επίδοσης όταν υπερβαίνεται το όριο πληροφοριών που ένας μαθητής μπορεί να επεξεργαστεί (Johnstone & El-Banna,

1986). Το παραπάνω επιβεβαιώνεται από έρευνες που υποστηρίζουν ότι η επίδοση μαθητών μέσης και ανώτερης εκπαίδευσης, κατά την επίλυση προβλημάτων Χημείας, μειώθηκε όταν η ποσότητα των πληροφοριών ξεπερνούσε την χωρητικότητα της μνήμης εργασίας τους (Johnstone & El-Banna, 1986· Opdenacker et al., 1990).

Επιπλέον, μία πρόσφατη έρευνα (Rhodes et al., 2016) πραγματοποίησε διδακτική παρέμβαση και διερεύνησε την σχέση ανάμεσα στις εκτελεστικές λειτουργίες και την εννοιολογική κατανόηση για τα οξέα και τα αλκάλια στο μάθημα της χημείας σε 63 μαθητές γυμνασίου, μετά από παρέμβαση διάρκειας μίας διδακτικής ώρας. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους δείχνουν σημαντική μέτρια συσχέτιση της μνήμης εργασίας και της επίδοσης των μαθητών στο τεστ εννοιολογικής κατανόησης, ενώ δεν βρέθηκε συσχέτιση με της εκτελεστικές λειτουργίες της αναστολής και της ανανέωσης της μνήμης εργασίας.

Πέρα από την επίδραση των εκτελεστικών λειτουργιών στις επιδόσεις των μαθητών, υπάρχουν και έρευνες που υποστηρίζουν ότι οι εμπειρίες που έχουν τα παιδιά κατά την εκπαίδευση μπορούν να συμβάλλουν στο ρυθμό ανάπτυξης των εκτελεστικών λειτουργιών (McCrea, Mueller, & Parrila, 1999) και στην ενίσχυση της μνήμης εργασίας (Morrison, Smith, & Dow-Ehrensberger, 1995). Οι Diamond, Barnett, Thomas και Munro (2007) με την έρευνά τους υποστηρίζουν ότι μαθητές νηπιαγωγείου που συμμετείχαν στο The Tools of the Mind (Tools) αναλυτικό πρόγραμμα, το οποίο στοχεύει στην ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών μέσω δραστηριοτήτων προώθησής τους, παρουσίασαν καλύτερες επιδόσεις σε απαιτητικά έργα εκτελεστικών λειτουργιών, μετά από ένα χρόνο συμμετοχής στο πρόγραμμα, σε σχέση με μαθητές που διδάχθηκαν [*District's version of Balanced Literacy curriculum (dBL)*] το ίδιο περιεχόμενο χωρίς να δίνεται έμφαση σε δραστηριότητες προώθησης εκτελεστικών λειτουργιών.

1.3.6 Σχέση Εννοιολογικής Αλλαγής και Εκτελεστικών Λειτουργιών

Σύγχρονες έρευνες υποστηρίζουν ότι οι αρχικές διαισθητικές ιδέες που κατέχουν οι μαθητές συνεχίζουν να υπάρχουν ακόμη και αν έχουν υποστεί εννοιολογική αλλαγή, συνυπάρχοντας με τις αποκτηθείσες επιστημονικές (Shtulman & Valcarcel, 2012).

Επιπλέον, έρευνες που χρησιμοποιούν μεθοδολογία με χρήση της τεχνικής του χρόνου αντίδρασης, η οποία δίνει μία ένδειξη για την ποσότητα της νευρικής διεργασίας που συμβαίνει ανάμεσα στο ερέθισμα και την αντίδραση (Babai, Levyadun, Stavy, & Tirosh, 2006), υποστηρίζουν ότι οι διαισθητικές αυτές ιδέες φαίνεται να παρεμβαίνουν όταν κάποιος καλείται να πάρει μία απόφαση. Παραδείγματος χάριν, οι αρχικές διαισθητικές ιδέες των μαθητών παρεμβαίνουν κατά τη διαδικασία ταξινόμησης αντικειμένων, π.χ. αν ένα υλικό είναι υγρό ή στερεό (Babai & Amsterdamer, 2008), έμψυχων-άψυχων (Babai, Sekal, & Stavy, 2010), κατά την διαδικασία επιλογής αν ένα αντικείμενο έχει μεγαλύτερη ή μικρότερη περίμετρο όταν αλλάζει η επιφάνεια (Babai, Levyadun, Stavy, & Tirosh, 2006) με αποτέλεσμα να μειώνεται η ακρίβεια και να αυξάνεται ο χρόνος απόκρισης, στις απαντήσεις στις οποίες παρεμβαίνει η αρχική εναλλακτική ιδέα.

Κατά τη διαχείριση αυτής της παρέμβασης φαίνεται να ενεργοποιούνται περιοχές του εγκεφάλου στις οποίες έχει εντοπιστεί η λειτουργία της αναστολής [inhibition] (Stavy, Goel, Critchley, & Dolan, 2006), με σκοπό την αναστολή των άσχετων στοιχείων [π.χ. την κυρίαρχη έννοια της επιφάνειας] – διαισθητικών ιδεών, με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου αντίδρασης (Babai et al., 2006· Babai, Shalev, & Stavy, 2015).

Τα τελευταία χρόνια το ερευνητικό ενδιαφέρον έχει στραφεί στην διερεύνηση της σχέσης των εκτελεστικών λειτουργιών με την εννοιολογική αλλαγή και κατανόηση. Αν και η εννοιολογική αλλαγή εξετάζει πώς οι έννοιες μεταβάλλονται, μέσω της

διαδικασίας μάθησης και της ανάπτυξης σε συγκεκριμένους επιστημονικούς τομείς [domain specific], αυτές οι συγκεκριμένες προσεγγίσεις δεν αντιτίθενται αλλά είναι συμπληρωματικές των γενικών προσεγγίσεων [domain general approaches] (Vosniadou, 2014), καθώς τόσο οι συγκεκριμένοι όσο και οι γενικοί μηχανισμοί συμβάλουν στην μάθηση (Keil, 1994).

Πρόσφατα, οι Zaitchik et al. (2013) μελέτησαν την σχέση ανάμεσα στις επιδόσεις μαθητών ηλικίας 5-7 ετών σε έργα εκτελεστικών λειτουργιών και την εννοιολογική αλλαγή στην βιολογία. Στην έρευνά τους συμμετείχαν 79 παιδιά 5-7 ετών, οι οποίοι πραγματοποίησαν δύο σειρές έργων [battery tests], η μία για το περιεχόμενο της βιολογίας, π.χ. την κατανόηση των μαθητών για την ζωή, το θάνατο και τις λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος, και η άλλη αναφορικά με τις εκτελεστικές λειτουργίες και πιο συγκεκριμένα την εργαζόμενη μνήμη, την αναστολή και εναλλαγή. Υπέθεσαν ότι η διαφοροποίηση/διακύμανση στην ηλικία που τα παιδιά διαμορφώνουν μία θεωρία για την βιολογία σχετίζεται με τις διαφορές στις ικανότητές των εκτελεστικών λειτουργιών τους. Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους επιβεβαίωσαν την υπόθεσή τους δείχνοντας ότι οι ατομικές επιδόσεις μαθητών στις εκτελεστικές τους λειτουργίες προέβλεπαν την κατανόησή τους σε θέματα βιολογίας. Επιπλέον, οι ατομικές διαφορές στις εκτελεστικές λειτουργίες των μαθητών ήταν καλύτερος προβλεπτικός παράγοντας της κατανόησης, τόσο από την ηλικία όσο και από την νοητική ικανότητα.

Σε μία πρόσφατη έρευνά τους οι Vosniadou et al. (2015) διερεύνησαν την σχέση των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής και της εναλλαγής με την εννοιολογική αλλαγή και εννοιολογική κατανόηση στα Μαθηματικά και τη Φυσική σε 69 μαθητές Δημοτικού. Οι ερευνητές πραγματοποίησαν δύο έργα εννοιολογικής κατανόησης και αλλαγής, (1) το έργο επανακατηγοριοποίησης [Re-Categorization (ReCat) task], στο οποίο ζητούσαν από τους μαθητές να κατηγοριοποιήσουν μία έννοια σε δύο

διαφορετικές συνθήκες, την αρχική και την επιστημονική και (2) το έργο επιβεβαίωσης πρότασης-εικόνας [Sentence-Picture Verification Task (SPV)], για την αξιολόγηση της αλήθειας ή του ψεύδους επιστημονικών δηλώσεων και δηλώσεων κοινής λογικής. Επίσης, πραγματοποίησαν και δύο έργα εκτελεστικών λειτουργιών, με την μορφή του έργου Stroop για τον έλεγχο της αναστολής και της εναλλαγής. Τέλος, μέτρησαν τη νοητική ικανότητα των μαθητών με την χρήση ενός μη λεκτικού τεστ νοητικής ικανότητας. Τα αποτελέσματα της ερευνάς τους έδειξαν ότι οι επιδόσεις στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών ήταν ισχυρά συσχετιζόμενες με τις επιδόσεις στα έργα εννοιολογικής αλλαγής-κατανόησης, και ταυτόχρονα οι ΕΛ αποτέλεσαν ισχυρότερους προβλεπτικούς παράγοντες από την νοητική ικανότητα.

Μία ακόμη έρευνα, η οποία συνδέει τις εκτελεστικές λειτουργίες με την εννοιολογική αλλαγή είναι αυτή της Χουντάλα (2014), η οποία επικεντρώνεται στην εξάντληση των εκτελεστικών λειτουργιών, γνωστή ως εξάντληση του εγώ [ego depletion]. Το δείγμα ήταν 93 μαθητές της Στ' Δημοτικού και 53 ενήλικες. Οι μαθητές Δημοτικού χωρίστηκαν σε δύο ομάδες [πειραματική και ελέγχου] και κάθε ομάδα πραγματοποίησε ένα γνωστικό έργο ανανέωσης της βραχύχρονης μνήμης [N-back task] με την διαφορά ότι η πειραματική ομάδα πραγματοποίησε την πιο απαιτητική 2-πίσω εκδοχή του έργου, ενώ η ομάδα ελέγχου την 1-πίσω εκδοχή. Στην συνέχεια, και οι δύο ομάδες πραγματοποίησαν ένα έργο κατηγοριοποίησης εννοιών της φυσικής, των μαθηματικών, της βιολογίας και της επιστημολογίας, που περιλάμβανε την *Αρχική συνθήκη*, όπου οι συμμετέχοντες έπρεπε να διαλέξουν ανάμεσα σε μία αρχική κατηγορία και μία ανώμαλη και την *Επιστημονική συνθήκη*, όπου οι συμμετέχοντες διάλεγαν ανάμεσα στην ίδια αρχική κατηγορία και την επιστημονική. Τα αποτελέσματα της έρευνας φανερώνουν ότι η εξάντληση των εκτελεστικών λειτουργιών των μαθητών μείωσε την επίδοσή τους μόνο στην κατηγοριοποίηση των

εννοιών στις επιστημονικές τους κατηγορίες, υποστηρίζοντας την άποψη ότι η εννοιολογική αλλαγή εμπλέκει εκτελεστικές λειτουργίες.

1.4 Θεματικό πλαίσιο

*«Όταν ο Νιλ Άρμστρογκ πάτησε στο φεγγάρι, το αποκάλεσε ένα μικρό βήμα για τον άνθρωπο κι ένα τεράστιο άλμα για την ανθρωπότητα. Οι Νανοεπιστήμη μπορεί να αποτελεί άλλο ένα τεράστιο άλμα για την ανθρωπότητα, αλλά με ένα βήμα τόσο μικρό, ώστε του Νιλ Άρμστρογκ να φαντάζει στο μέγεθος ενός ηλιακού συστήματος»
(Ratner & Ratner, 2003, page 10)*

Η Νανοεπιστήμη και Νανοτεχνολογία (NE-T) μπορεί να χαρακτηριστεί ως η «αναγέννηση» της μέχρι τώρα γνώσης μας για τα φυσικά φαινόμενα. Η NE-T αποτελεί έναν αναδυόμενο επιστημονικό κλάδο που εξετάζει τα φαινόμενα και την διαχείριση της ύλης στο ατομικό, μοριακό και μακρομοριακό επίπεδο, επιτρέποντας την δημιουργία υλικών με ξεχωριστές ιδιότητες (Roco, 2001).

Το πρόθεμα «νάνο», έχει ελληνική προέλευση και δηλώνει τη μείωση του μεγέθους. Ένα νανόμετρο είναι ένα δισεκατομμύριο φορές μικρότερο από το μέτρο ή 10^{-9} μέτρα. Αποδίδοντας το μέγεθος ενός αντικειμένου στο νανοεπίπεδο σε σχέση με μία μπάλα μπάσκετ, είναι ανάλογο με τη σχέση μεγέθους ανάμεσα στη μπάλα μπάσκετ και τη γη (Mansoori, 2005, κεφάλαιο 1). Τα υλικά που παρατηρούμε γύρω μας ονομάζονται χύδην υλικά [Bulk materials] και είναι τα «μεγάλα» κομμάτια ύλης. Αντίθετα, τα νάνο υλικά [Nanomaterials] είναι αυτά που διαθέτουν έστω και μία από τις διαστάσεις τους σε μέγεθος 1-100 nm ή 10^{-9} μέτρα.

Η νανοεπιστήμη διερευνά τις αρχές των μορίων και των νανοδομών με διαστάσεις 1-100 νανόμετρα [nm] (Stevens et al., 2009·Roco 2003). Η νανοτεχνολογία αποτελεί την τεχνολογική εφαρμογή των ευρημάτων της νανοεπιστήμης (Ratner & Ratner, 2003). Σύμφωνα με την πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (2004), η ενασχόληση με τις ιδιότητες της ύλης αποτελεί ένα συνδεδεμένο κρίκο ανάμεσα στο τεχνολογικό και τον επιστημονικό κλάδο, καθιστώντας την νανοτεχνολογία όρο ομπρέλα.

Οι τεχνολογικές εφαρμογές της νανοεπιστήμης μπορούν να εντοπιστούν σε μεγάλη έκταση στη Βιοϊατρική. Πιο συγκεκριμένα, τεχνολογικές εφαρμογές εντοπίζονται σε διαγνωστικά μέσα (Zhang & Wang, 2012), σε συστήματα μεταφοράς φαρμάκων (Davis, 1997) καθώς και στη κατασκευή ιστών (Shi, Votruba, Farokhzad, & Langer, 2010). Άλλες τεχνολογικές εφαρμογές βρίσκονται στη νανοηλεκτρονική και σε προηγμένα υλικά, όπως παραδείγματος χάρη τα διάφανα αντηλιακά (Nohynek, Lademann, Ribaud, & Roberts, 2007). Τέλος, παράδειγμα τεχνολογικών εφαρμογών αποτελούν και τα βιομιμητικά υλικά όπως η κατασκευή σούπερ υδροφοβικών, αδιάβροχων επιφανειών που αυτοκαθαρίζονται, βασιζόμενες στο φαινόμενο του λωτού (Genzer & Marmur, 2008), π.χ. οι αυτοκαθαριζόμενες τουαλέτες και τα ρούχα που δεν λερώνουν (Jones, Falvo, Taylor, & Broadwell, 2007).

1.4.1 Η Νανοεπιστήμη στην εκπαίδευση

Η σύγχρονη κοινωνία βασίζεται όλο και περισσότερο στα τεχνολογικά επιτεύγματα. Μόνο στην Αμερική, η ζήτηση για εργατικό δυναμικό με επιστημονικές και τεχνολογικές δεξιότητες αυξάνεται πέντε φορές πιο γρήγορα από αυτή για το υπόλοιπο εργατικό δυναμικό (Foley & Hersam, 2006). Ταυτόχρονα, όπως προλογεί η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2004) η νανοτεχνολογία αναμένεται να επηρεάσει σχεδόν όλες τις πτυχές της τεχνολογίας καθοδηγώντας την μελλοντική ανάπτυξη.

Παρατηρούμε, λοιπόν, μια στροφή της επιστημονικής και τεχνολογικής έρευνας στο πεδίο της νανοεπιστήμης-νανοτεχνολογίας (N-ET). Αυτή η στροφή της έρευνας αναμένεται να επηρεάσει την ζήτηση για ανθρώπινο δυναμικό που θα δουλεύει σε αυτούς τους τομείς, η οποία θα αυξηθεί ραγδαία μέσα στα επόμενα χρόνια (Jones et al., 2013·Roco, 2003· Palmberg, Dernis, & Miguet, 2009). Πιο συγκεκριμένα, αναμένεται να χρειαστούν σχεδόν ένα εκατομμύριο εργαζόμενοι γνώστες της NE-T για να στηρίξουν το τομέα της νανοτεχνολογίας (Roco 2003).

Είναι επομένως εμφανές ότι η προετοιμασία και εκπαίδευση του πληθυσμού αναφορικά με την επιστημονική και τεχνολογική γνώση σε ένα αναπτυσσόμενο τεχνολογικό περιβάλλον πρόκειται να αποτελέσει επιτακτική ανάγκη. Οι μαθητές ως αμερικανοί πολίτες είναι αναγκαίο να προετοιμαστούν για να συμμετάσχουν όχι μόνο ως καταναλωτές των τεχνολογικών επιτευγμάτων αλλά και ως παραγωγοί αυτών (Stevens, Sutherland, Schank, & Krajcik, 2007). Οι σημερινοί μαθητές θα επηρεαστούν περισσότερο από τα αποτελέσματα της νανοτεχνολογίας από κάθε προηγούμενη γενιά και πρόκειται να στελεχώσουν την επόμενη γενιά των πρωτοποριακών επιστημόνων. Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να είναι εξοικειωμένοι με τα εργαλεία, τα προϊόντα και τις συνέπειες που έρχονται ως αποτέλεσμα της νανοτεχνολογίας (Taylor, Jones, & Pearl, 2008).

Συνεπώς, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για εκπαιδευτική έρευνα στο πεδίο της νανοτεχνολογίας, με στόχο την προετοιμασία του εργατικού δυναμικού αλλά και την δημιουργία επιστημονικά εγγράμματων πολιτών, που θα μπορούν να συμμετέχουν ενεργά σε ζητήματα που αφορούν την N-ET (Laherto, 2012· Πέικος, Μάνου & Σπύρτου, 2013· Stevens et al., 2009).

Οι Stevens et al.(2009) υποστηρίζουν ότι η ένταξη της N-ET στα αναλυτικά προγράμματα θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μέσα από την ενσωμάτωση περιεχομένων της N-ET στα ήδη υπάρχοντα επιστημονικά περιεχόμενα και όχι με τη μορφή ξεχωριστών μαθημάτων. Προτείνεται, επομένως, η διεπιστημονική προσέγγιση της εκπαίδευσης, με προγράμματα σπουδών που δίνουν έμφαση στην προσέγγιση των κλάδων της επιστήμης ως όλο, με τη νανοεπιστήμη σε ρόλο συνδετικού κρίκου ανάμεσα τους (Jones et al., 2013).

1.4.2 Οι μεγάλες ιδέες της νανοεπιστήμης στην εκπαίδευση

Οι Stevens et al., (2009) και οι Stevens et al., (2007) προτείνουν 9 μεγάλες ιδέες για τη νανοεπιστήμη και νανοτεχνολογία στην εκπαίδευση, δίνοντας έμφαση στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Αυτές οι μεγάλες ιδέες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

Μέγεθος και κλίμακα. Τα Benchmarks κριτήρια αναφοράς (AAAS, 1993) θεωρούν την κλίμακα έννοια που επηρεάζει όλους τους κλάδους της επιστήμης. Έννοιες που σχετίζονται με το μέγεθος και την κλίμακα είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της αστρονομίας, της χημείας, της φυσικής και της γεωλογίας.

Παράγοντες όπως το μέγεθος ενός αντικειμένου, η κλίμακα, το σχήμα, η αναλογικότητα και η διάσταση, βοηθούν στην περιγραφή της ύλης και στη πρόβλεψη της συμπεριφοράς της. Ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου [καθορίζεται από στοιχεία όπως ο όγκος, το μήκος και η επιφάνεια], μπορούμε να διαχωρίσουμε τα αντικείμενα σε διαφορετικές κλίμακες: το μακρόκοσμο, το μικρόκοσμο και το νανόκοσμο. Καθεμία από αυτές τις κλίμακες-κόσμους διαθέτει τη δική της μονάδα μέτρησης [μέτρα m, μικρόμετρα μm , νανόμετρα nm] τα αντιπροσωπευτικά αντικείμενα [πχ. άνθρωπος, κύτταρο, DNA και ιοί], τα όργανα παρατήρησης [γυμνό μάτι, οπτικό, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο] και τα αντίστοιχα μοντέλα.

Η διαίρεση αυτή σε κόσμους αν και χρήσιμη, δεν είναι τόσο ακριβής, καθώς οι «κόσμοι» αυτοί χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη συνέχεια παρά αποσπασματικότητα και επομένως η διάκρισή τους δεν μπορεί να οριστεί ρητά. Γι' αυτό, θεωρείται πιο αποτελεσματική η χρήση τους ως οδηγούς για τα αντικείμενα παρόμοιου μεγέθους και την εξήγηση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους και όχι ως δείκτες άκαμπτης κατηγοριοποίησης.

Δομή της ύλης. Η ύλη αποτελείται από δομικά στοιχεία που σχηματίζουν μία ιεραρχία των δομών. Ξεκινώντας από το ατομικό επίπεδο, τα άτομα αλληλεπιδρούν σχηματίζοντας μόρια. Το είδος των ατόμων αλλά και η διευθέτησή τους καθορίζουν τις ιδιότητες της ύλης. Παρομοίως, σε υψηλότερα επίπεδα οργάνωσης, όπου πραγματοποιούνται αλληλεπιδράσεις μεταξύ ατόμων, μορίων και στοιχείων της νανοκλίμακας, το είδος των συστατικών αλλά και η διευθέτησή τους καθορίζουν τις ιδιότητες των νανοδομών [nanoscale assemblies]. Επομένως, για να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά και οι ιδιότητες της ύλης στις διαφορετικές κλίμακες, πρέπει να μελετηθούν η δομή και οι ιδιότητες των δομικών στοιχείων της ύλης.

Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις. Όλες οι αλληλεπιδράσεις μπορούν να περιγραφθούν με βάση τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις: τη βαρυτική, την ηλεκτρομαγνητική, τη πυρηνική και τις ασθενείς δυνάμεις. Η σχετική επίδραση κάθε δύναμης αλλάζει ανάλογα με τη κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, οι βαρυτικές δυνάμεις κυριαρχούν στη μακροκλίμακα, ενώ οι ηλεκτρομαγνητικές στη νανοκλίμακα.

Η νανοτεχνολογία εκμεταλλεύεται τις μοναδικές αλληλεπιδράσεις της ύλης στη νανοκλίμακα για τη δημιουργία υλικών με νέες λειτουργίες. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή αυτών των υλικών απαιτεί την κατανόηση των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ των δομικών συστατικών της νανοκλίμακας.

Κβαντικά φαινόμενα. Η συμπεριφορά της ύλης, όπως προαναφέρθηκε, καθορίζεται από την κλίμακα. Για παράδειγμα, στην νανοκλίμακα τα κβαντικά φαινόμενα γίνονται σημαντικότερα. Η ύλη υπάρχει τόσο σε κυματοειδή όσο και σε σωματιδιακή μορφή και γι' αυτό το λόγο δεν μπορούμε να προβλέψουμε τι θα συμβεί στην ύλη σε πολύ μικρές κλίμακες, αντίθετα μπορούμε μόνο να προσεγγίσουμε το αποτέλεσμα μέσω πιθανοτήτων.

Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος. Μία ακόμη σημαντική έννοια για τη N-ET είναι αυτή των ιδιοτήτων σε σχέση με το μέγεθος. Οι ιδιότητες της ύλης εξαρτώνται από τη κλίμακα και έτσι μεταβαίνοντας από τη μακροκλίμακα στη νανοκλίμακα οι ιδιότητες αλλάζουν και το υλικό αποκτά νέα λειτουργικότητα. Οι ιδιότητες αυτές καθορίζουν πώς το υλικό φαίνεται, συμπεριφέρεται καθώς και τη δυνατότητα τεχνολογικών εφαρμογών του. Ιδιότητες όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το χρώμα, η δύναμη και το βάρος μπορούν να αλλάξουν στο νανοεπίπεδο. Για παράδειγμα, το ασήμι ως χύδην υλικό είναι μη τοξικό, ενώ τα νανοσωματίδια ασήμιού είναι ικανά να σκοτώσουν ιούς με την επαφή (*Filipponi, Sutherland, & Center, 2010*).

Η αύξηση του λόγου επιφάνεια/όγκος που πραγματοποιείται καθώς το μέγεθος του υλικού προσεγγίζει τη νανοκλίμακα σχετίζεται με κυρίαρχες ιδιότητες της επιφάνειας [Surface-Dominated Properties], όπως η τριχοειδής δράση και η συνεκτικότητα [adhesion]. Κόβοντας ένα υλικό σε μικρότερα κομμάτια, οδηγούμαστε σε περισσότερη εκτεθειμένη επιφάνεια και κατ' επέκταση σε περισσότερα άτομα που εκτίθεται στην επιφάνεια αυτή και σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Η αύξηση του εμβαδού της εκτεθειμένης επιφανείας είναι η αιτία που μικρότερα τμήματα ύλης αντιδρούν ταχύτερα από τα μεγαλύτερα σε πανομοιότυπες συνθήκες. Επιπλέον, ο αυξημένος αριθμός των διαθέσιμων ατόμων στην επιφάνεια αυξάνει επίσης τον αριθμό των διπολικών αλληλεπιδράσεων και κατ' επέκταση τη συνεκτικότητα που παρουσιάζει [adhesion properties]. Οι αλλαγές στη συνεκτικότητα έχουν συνέπειες στο χειρισμό και τον έλεγχο υλικών στη νανοκλίμακα.

Επιπρόσθετα, η δομή στο νανοεπίπεδο χαρακτηρίζεται από ανώμαλη επιφάνεια [bumpiness] που είναι κολλώδης [stickiness] και βρίσκεται σε κινητικότητα [shakiness]. Επιφανειακές ανωμαλίες [bumpiness] παρουσιάζονται π.χ. στο λωτό και το πέταλο του τριαντάφυλλου που στη νανοκλίμακα διαμορφώνουν μία τραχεία

επιφάνεια, που χαρακτηρίζεται από υδροφοβικότητα. Η κολλώδης ιδιότητα αναφέρεται στις διαμοριακές αλληλεπιδράσεις-ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις που κυριαρχούν στην νανοκλίμακα και λόγω της αναλογίας επιφάνειας/όγκου η κολλότητα είναι πολύ έντονη στη νανοκλίμακα. Τέλος, η κινητικότητα αναφέρεται στο αποτέλεσμα της επιρροής της θερμικής ενέργειας στα μόρια.

Οι ιδιότητες της ύλης εξαρτώνται επομένως από το μέγεθος και τη κλίμακα, και η νανοεπιστήμη κατασκευάζει νέα μοντέλα ώστε να εξηγεί και να προβλέπει τη συμπεριφορά της ύλης. Ταυτόχρονα, ο κλάδος της νανοτεχνολογίας χρησιμοποιεί υλικά της νανοκλίμακας αξιοποιώντας τις ιδιότητες αυτών σε τεχνολογικές εφαρμογές, όπως π.χ. τα άχρωμα αντηλιακά και τα αδιάβροχα υφάσματα.

Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των υλικών αποτελούν μία από τις θεμελιώδεις έννοιες της επιστήμης. Στην εκπαίδευση υπάρχει πρόβλεψη για την ενασχόληση των μαθητών με τις ιδιότητες των αντικειμένων βασιζόμενοι κυρίως στο μέγεθος, το σχήμα, το χρώμα, το βάρος και το υλικό κατασκευής. Αυτές οι ιδιότητες είναι εκτατικές. Οι μαθητές επίσης εισάγονται σε εντατικές ιδιότητες όπως η πυκνότητα, το σημείο βρασμού, το σημείο τήξης-πήξης, οι οποίες δεν αλλάζουν ανάλογα με την ποσότητα της ύλης. Αν και η χρήση των εκτατικών και εντατικών ιδιοτήτων είναι χρήσιμη στη μακροκλίμακα για την παραγωγή εξηγήσεων και προβλέψεων της συμπεριφοράς της ύλης, κάτι τέτοιο δεν ισχύει και στην νανοκλίμακα. Αντίθετα, δεν μπορούμε πια να διακρίνουμε τις ιδιότητες σε εντατικές και εκτατικές καθώς όλες τροποποιούνται ανάλογα με τη κλίμακα.

Αυτοοργάνωση. Τα τεχνολογικά επιτεύγματα έχουν επιτρέψει πλέον στους επιστήμονες όχι μόνο την προσέγγιση της νανοκλίμακας αλλά και την δυνατότητα διαχείρισης της ύλης στο νανοεπίπεδο. Η αυτοοργάνωση είναι η διαδικασία κατά την οποία κάποια υλικά συναθροίζονται σε οργανωμένες δομές κάτω από ειδικές συνθήκες.

Η διαδικασία αυτή αποτελεί μέσο για την διαχείριση της ύλης στο νανοεπίπεδο και σχετίζεται με το μέγεθος και την κλίμακα.

Εργαλεία και όργανα. Τα εργαλεία κατέχουν σημαντική θέση στην έρευνα στη νανοεπιστήμη καθώς επιτρέπουν στους επιστήμονες να πραγματοποιούν παρατηρήσεις, να αναπτύσσουν επεξηγηματικά πλαίσια και να προβλέπουν φαινόμενα στη νανοκλίμακα. Ταυτόχρονα, η χρήση εργαλείων και οργάνων επιτρέπει τη διαχείριση των δομικών στοιχείων της νανοκλίμακας.

Η συνεχής ανάπτυξη βελτιωμένων εργαλείων και οργάνων, όπως π.χ. του μικροσκοπίου SPM [scanning probe microscope] και SEM [scanning electron microscope], έδωσε νέα ώθηση στην επιστημονική πρόοδο, παρέχοντας μεγαλύτερη προσβασιμότητα στη νανοκλίμακα και οδηγώντας σε νέα επίπεδα κατανόησης της ύλης. Τον 20ο αιώνα υπήρξε τεράστια ανάπτυξη των μικροσκοπίων με παράδειγμα το SEM, το οποίο χρησιμοποιεί αντί του ορατού φωτός, μία εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων για να σαρώσει το δείγμα.

Τα επιστημονικά εργαλεία και όργανα υποβοήθησαν τους επιστήμονες στον εντοπισμό, στο χειρισμό, στη μέτρηση και στη διερεύνηση της ύλης στη νανοκλίμακα με μεγαλύτερη ακρίβεια και κατ' επέκταση στην ανάπτυξη νέων τεχνολογικών εφαρμογών.

Η αξία της χρήσης αυτών των εργαλείων διαφαίνεται πέρα από τον επιστημονικό τομέα και στην εκπαιδευτική πράξη. Οι μαθητές καλούνται να αντιληφθούν έννοιες στις οποίες δεν έχουν οπτική πρόσβαση, αλλά καλούνται να τις συνθέσουν νοητικά, όπως π.χ. τα κύτταρα, το DNA κλπ. Η χρήση αυτών των εργαλείων, λοιπόν, μπορεί να συμβάλει μέσω της οπτικοποίησης αφηρημένων εννοιών στην εννοιολογική κατανόηση τους.

Μοντέλα και προσομοιώσεις. Ένα μοντέλο, όπως περιγράφηκε εκτενώς στο κεφάλαιο 1.2.1, είναι μία αναπαράσταση ενός αφηρημένου ή μη στόχου με επεξηγηματική και προβλεπτική αξία. Ο τρόπος αναπαράστασης [οπτικό-στατικό, τρισδιάστατο, με προσομοίωση κλπ] που θα επιλεγθεί καθώς και τα στοιχεία που θα επιλεγθούν εξαρτώνται από τον εκάστοτε στόχο του δημιουργού.

Τα μοντέλα κατέχουν σημαντική θέση στη N-ET καθώς οι επιστήμονες στη N-ET χρησιμοποιούν μοντέλα και προσομοιώσεις για την οπτικοποίηση, την ερμηνεία, την πρόβλεψη και την δημιουργία υποθέσεων για τις δομές, τις ιδιότητες και τις συμπεριφορές της ύλης στη νανοκλίμακα (Wang, Duan, Huang, & Karihaloo, 2006). Το εξαιρετικά μικρό μέγεθος και η πολυπλοκότητα της νανοκλίμακας καθιστούν τα μοντέλα και τις προσομοιώσεις χρήσιμα για τη μελέτη και το σχεδιασμό φαινομένων στη νανοκλίμακα. Τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις, επομένως, κατέχουν κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη νέων νανοτεχνολογικών εφαρμογών.

Διαφορετικά μοντέλα χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν, ώστε να μπορούν να δοθούν εξηγήσεις και να πραγματοποιηθούν προβλέψεις, ανάλογα με τη κλίμακα. Για παράδειγμα, ενώ η κλασική μηχανική μπορεί να εξηγήσει και να προβλέψει τη συμπεριφορά της ύλης στη μακροκλίμακα, σε επίπεδο ατόμων και μορίων η κβαντική θεωρία είναι αυτή που μπορεί να επεξηγήσει και να προβλέψει. Έτσι, η χρήση διαφορετικών μοντέλων είναι απαραίτητη, καθώς μάλιστα προσεγγίζονται και νέες γνώσεις, όπως για παράδειγμα ότι οι εκτατικές ιδιότητες μεταβάλλονται στο νανοεπίπεδο (Roduner, 2006).

Επιστήμη-Τεχνολογία-Κοινωνία. Η Επιστήμη στηρίζεται πρωτίστως σε διεργασίες διερεύνησης και οδηγεί στην οικοδόμηση αξιόπιστης επιστημονικής γνώσης μέσα από την ανάπτυξη επιστημονικά τεκμηριωμένων ισχυρισμών. Η Τεχνολογία, ως κοινωνική διεργασία ανταπόκρισης σε ανθρώπινες ανάγκες, βασίζεται πρωτίστως σε διεργασίες

επινόησης και αξιοποιεί την επιστημονική γνώση για την κατασκευή τεχνουργημάτων (artefacts). Καθώς η νανοτεχνολογία είναι μια ανερχόμενη επιστήμη, μπορεί να διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στην διαδικασία λήψης αποφάσεων για τον τρόπο χρήσης των νέων τεχνολογιών. Παρόλο που η N-ET είναι μία επιστήμη γεμάτη υποσχέσεις για μελλοντικές τεχνολογικές εφαρμογές που θα αλλάξουν τη καθημερινότητα των ανθρώπων, τα προϊόντα της ενέχουν κινδύνους, π.χ. περιβαλλοντικούς λόγω αποβλήτων, ακόμη και υγείας.

Οι μαθητές, και κατ' επέκταση οι πολίτες, χρειάζεται να διαθέτουν την κριτική σκέψη καθώς και τις αντίστοιχες γνώσεις ώστε να μπορούν να αξιολογούν τις επιστημονικές εξελίξεις. Ως μέλη μίας κοινωνίας που εξελίσσεται και βιώνει την επανάσταση της νανοτεχνολογίας, πρέπει να μπορούν να διακρίνουν τον επιστημονικό τρόπο διερεύνησης, να συνδέουν τα επιστημονικά με τα τεχνολογικά επιτεύγματα αλλά ταυτόχρονα να μπορούν να συμμετέχουν σε συζητήσεις επιστημονικού περιεχομένου και να κρίνουν την αξία αυτών των επιτευγμάτων.

1.4.3 Η N-ET στη τυπική και μη τυπική εκπαίδευση

«Μια από τις «μεγάλες προκλήσεις» για τη νανοτεχνολογία είναι η εκπαίδευση, που απειλεί να γίνει εμπόδιο στην ανάπτυξη του πεδίου.»
(Roco, 2003, p. 1247).

Η τυπική εκπαίδευση στην νανοεπιστήμη περιορίζεται κατά κύριο λόγο σε Κολέγια και Πανεπιστήμια (για παράδειγμα, έρευνες όπως των Martirosyan, Litvinov, & Lyshevski, 2012·Oliver-Hoyo & Gerber, 2007). Προτάσεις διδασκαλίας, προγράμματα και διδακτικές παρεμβάσεις συναντώνται στη βιβλιογραφία για τη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, ενώ περιορισμένη είναι η έρευνα για τη νανοτεχνολογία και τη νανοεπιστήμη στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση.

Πιο συγκεκριμένα, οι Stevens et al. (2009) προτείνουν, όπως προαναφέρθηκε, 9 μεγάλες ιδέες αναφορικά με τη N-ET, οι οποίες μπορούν να ενταχθούν στο υπάρχον αναλυτικό πρόγραμμα της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στην Αμερική. Οι Jones, Falvo, Taylor και Broadwell (2007), προτείνουν μία σειρά δραστηριοτήτων που μπορούν να πραγματοποιηθούν στα πλαίσια της τυπικής εκπαίδευσης, για μαθητές ΣΤ΄ Δημοτικού ως το τέλος του Λυκείου, αναφορικά με τη κλίμακα, τα εργαλεία, τις ιδιότητες στη νανοκλίμακα καθώς και τις εφαρμογές της N-ET και τις επιπτώσεις στην κοινωνία.

Διδακτικές παρεμβάσεις στη δευτεροβάθμια τυπική εκπαίδευση συναντάμε συχνότερα στη βιβλιογραφία σε σχέση με τη πρωτοβάθμια εκπαίδευση. Οι Ambrogi et al. (2008) πραγματοποίησαν δραστηριότητες σε μαθητές γυμνασίου αναφορικά με τη νανοτεχνολογία και νανοχημεία με σκοπό την ενίσχυση των γνώσεων και των κοινωνικών δεξιοτήτων των μαθητών. Οι Harmer & Columba (2010) ενέπλεξαν τους μαθητές Γυμνασίου σε δραστηριότητες επίλυσης προβλημάτων χρησιμοποιώντας λύσεις με τη χρήση της νανοκλίμακας και νανοτεχνολογίας και μετρώντας τις γνώσεις που αποκόμισαν οι μαθητές καθώς και την εμπλοκή-αφοσίωση των μαθητών. Οι Blonder και Sakhnini (2012) απευθυνόμενοι και πάλι σε μαθητές Γυμνασίου πραγματοποίησαν ερευνητικές εργασίες με διαφορετικές διδακτικές μεθόδους για την εκμάθηση των δύο εκ των μεγάλων ιδεών της N-ET, τις «μέγεθος και κλίμακα» και «αναλογία επιφάνειας/ όγκου».

Το 2004, το Εθνικό ίδρυμα επιστημών [NSF] χρηματοδότησε την ανάπτυξη δύο ερευνητικών εργασιών για μαθητές γυμνασίου και Λυκείου, το NanoLeap και NanoSense που είχαν ως στόχο την ανάπτυξη, την εφαρμογή και την αξιολόγηση του περιεχομένου της νανοεπιστήμης και της μηχανικής. Το Πρόγραμμα NanoLeap στόχευε στην υποστήριξη της διερευνητικής μάθησης, στην αύξηση του ενδιαφέροντος

των μαθητών καθώς και στην αύξηση της κατανόησης αναφορικά με τη νανοεπιστήμη και τη νανοτεχνολογία. Το περιεχόμενο του προγράμματος σπουδών NanoLeap σχεδιάστηκε με βάση τα εθνικά εκπαιδευτικά πρότυπα καθώς και τις μεγάλες ιδέες της νανοτεχνολογίας και νανοεπιστήμης (για περισσότερες πληροφορίες βλ. Stevens et al., 2007). Το πρόγραμμα NanoSense επικεντρώθηκε σε περιεχόμενο όπως το μέγεθος και η κλίμακα, τα νανοσωματίδια στην τεχνολογική εφαρμογή του διάφανου αντηλιακού, στην ενέργεια και τα νανο-ηλιακά κύτταρα καθώς και στα νανόφιλτρα (NanoSense) .

Στην Πρωτοβάθμια τυπική εκπαίδευση η νανοτεχνολογία βρίσκεται ακόμη σε εμβρυακό στάδιο. Στην Ταϊβάν έχει εισαχθεί στα βιβλία των μαθητών καθώς τα προϊόντα νανοτεχνολογίας έχουν κατακλίσει την αγορά (Chao, Hsiung, and Yu 2011 in Lin et al., 2015). Σε μαθητές Δημοτικού προγράμματα και παρεμβάσεις εντοπίζονται κυρίως στη βιβλιογραφία που αφορά την μη τυπική εκπαίδευση.

Για παράδειγμα, το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Nanoyou [Nano for Youth], αποσκοπεί στην ενημέρωση μαθητών σε διάφορες χώρες στην Ευρώπη για τη νανοτεχνολογία. Επικεντρώνεται στην προσέγγιση των κοινωνικών και ηθικών πλευρών της νανοτεχνολογίας μέσα από την εμπλοκή των μαθητών σε συζητήσεις και σε παιχνίδια ρόλων, με εκκίνηση διάφορα διλήμματα. Το διδακτικό περιεχόμενο που επιλέχθηκε αφορά το περιβάλλον και την ενέργεια, την ιατρική και διλήμματα υγείας από τη χρήση προϊόντων νάνο. Το πρόγραμμα απευθύνεται σε μαθητές 11 με 18 ετών εντός της τυπικής εκπαίδευσης και σε νέους 18 με 25 ετών στα πλαίσια κέντρων φυσικών επιστημών (Filipponi et al., 2010).

Ένα ακόμη πρόγραμμα στα πλαίσια της μη τυπικής εκπαίδευσης για την προώθηση της N-ET, έλαβε χώρα στο μουσείο φυσικών επιστημών “Exploratory Science Museum” της Βραζιλίας και απευθύνονταν σε μαθητές 9 -14 ετών. Η έκθεση με όνομα NanoAventura αποσκοπούσε στην ανάπτυξη του ενδιαφέροντος των μαθητών για την

N-ET και την εννοιολογική προσέγγιση του μεγέθους και της κλίμακας του «νανοσκοπικού κόσμου». Οι μαθητές συμμετείχαν σε διαδραστικές δραστηριότητες επιστημονικής διερεύνησης με τη χρήση εκπαιδευτικών υλικών όπως ηλεκτρονικών παιχνιδιών, βίντεο, προσομοιώσεων, μουσικής και *illustrational images*. Το περιεχόμενο των δραστηριοτήτων στις οποίες ενεπλάκησαν οι μαθητές σχετίζονταν με τη νανοιατρική, με τα νανοκυλώματα και με τις αυτοκαθαριζόμενες επιφάνειες.

Η κινητή έκθεση μουσειακής μορφής “*It’s a nanoworld*” που δημιουργήθηκε από το Πανεπιστήμιο του Cornell στην Αμερική, το κέντρο νανοτεχνολογίας της Ithaca και την Painted Universe Inc, αποσκοπεί στην διερεύνηση και παρουσίαση του μη ορατού σύμπαντος. Δίνεται έμφαση στην κατανόηση της κλίμακας, οι μαθητές κινούνται από το μακρόκοσμο στο μικρόκοσμο και από εκεί στο νανόκοσμο μέσα από βιωματικές δραστηριότητες (*hands-on activities*). Η έκθεση απευθύνεται σε μαθητές 5-8 ετών.

Το NanoDays είναι ένα εθνικό φεστιβάλ εκπαιδευτικών προγραμμάτων, που πραγματοποιείται από το 2008, αναφορικά με τη N-ET που οργανώνεται από τα μέλη του Nanoscale Informal Science Education Network [NISE]. Το φεστιβάλ έχει λάβει χώρα σε 250 μουσεία φυσικών επιστημών, ερευνητικά κέντρα και Πανεπιστήμια. Στόχος του φεστιβάλ είναι η εμπλοκή συμμετεχόντων όλων των ηλικιακών ομάδων σε θέματα της N-ET που αφορούν το μέγεθος και την κλίμακα, τις ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος [π.χ. υδροφοβικότητα, το χρώμα των υλικών που αλλάζει ανάλογα με το μέγεθός τους] καθώς και τη σύνδεση με την κοινωνία [την ενημέρωση για τα θετικά και τα αρνητικά των τεχνολογικών εφαρμογών] και τις τεχνολογικές εφαρμογές της N-ET στην καθημερινή ζωή. Οι μαθητές εμπλέκονται με παιχνίδια ρόλων, χειραπτικές δραστηριότητες και πειράματα (www.nisenet.org).

Ένα ακόμη πρόγραμμα (NPSEPT) προώθησης της N-ET στα πλαίσια της μη τυπικής εκπαίδευσης πραγματοποιήθηκε στη Ταϊβάν από το Ilan University (Lin, Wu, Cho, &

Chen, 2015). Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος του προγράμματος ήταν διττός. Αρχικά, στα πλαίσια του προγράμματος, φοιτητές εκπαιδεύτηκαν από μέλη του κέντρου νανοτεχνολογίας, ώστε στη συνέχεια να διαμορφώσουν δραστηριότητες για την εμπλοκή μαθητών πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης με τη N-ET, καθώς και μεθόδους αξιολόγησης όσων έμαθαν οι μαθητές. Οι δραστηριότητες βασίστηκαν σε τρεις θεματικές της νανοτεχνολογίας που χρησιμοποιούνται συχνά στα εκπαιδευτικά υλικά: 1. Νανοφαινόμενα στο φυσικό κόσμο, 2. Ο ορισμός, τα χαρακτηριστικά και οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας και 3. Νανο-υλικά και οι ιδιότητές τους που εξαρτώνται από τη κλίμακα [their scaling effects] (Huang, Hsu, & Chen, 2011). Το πρόγραμμα περιλάμβανε παρουσιάσεις βίντεο, πειράματα, επισκέψεις σε εκθέσεις νανοτεχνολογίας και συζητήσεις για τη νανοτεχνολογία. Τα αποτελέσματα από τη σύγκριση των προ- και μετά-διαγνωστικών δοκιμών, έδειξαν ότι υπήρχε σημαντική βελτίωση των απόψεων και των γνώσεων των μαθητών σε σχέση με τις τρεις θεματικές που προαναφέρθηκαν.

1.4.4 Η N-ET στην ελληνική εκπαιδευτική πραγματικότητα

Η τυπική εκπαίδευση στην Ελλάδα αναφορικά με τη νανοεπιστήμη και νανοτεχνολογία βρίσκεται σε εμβρυακό στάδιο, καθώς η N-ET παρά το παγκόσμιο ερευνητικό ενδιαφέρον, δεν έχει εισαχθεί στα ελληνικά αναλυτικά προγράμματα της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Τα πρώτα βήματα προς αυτή τη κατεύθυνση έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια από την ερευνητική ομάδα Διδακτικής φυσικών επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας. Αναλυτικότερα, οι Μάνου & Σπύρτου (2013), βασιζόμενοι στις «Μεγάλες ιδέες» της N-ET που προτάθηκαν από τους Stevens et al. (2009), πρότειναν την ενσωμάτωση έξι εξ αυτών στο Νέο Πρόγραμμα Σπουδών [ΝΠΣ] των Φυσικών επιστημών, στην Ε' και ΣΤ' τάξεις του Δημοτικού, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2: Μεγάλες ιδέες στην Πρωτοβάθμια εκπαίδευση (Μάνου & Σπύρτου, 2013)

Μεγάλες Ιδέες	Ε΄ Δημοτικού	Στ΄ Δημοτικού
Μέγεθος-Κλίμακα	Ενότητα 1.1: Έμβια Ύλη – Η ζωή γύρω μας	
Ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος	Ενότητα 1.2: Υλικά και τεχνολογικά αντικείμενα γύρω μας – Πρώτες ύλες	
Δυνάμεις και αλληλεπιδράσεις		Ενότητα 4: Δημιουργώ με τις δυνάμεις
Όργανα	Ενότητα 1.1: Έμβια Ύλη – Η ζωή γύρω μας	
Μοντέλα και προσομοιώσεις	Ενότητα 1.2: Υλικά και τεχνολογικά αντικείμενα γύρω μας – Πρώτες ύλες	
Επιπτώσεις της N-ET	Ενότητα 1.2: Υλικά και τεχνολογικά αντικείμενα γύρω μας – Πρώτες ύλες	Ενότητα 1: Ανθρώπινος οργανισμός - Γνωρίζω το σώμα μου
	Ενότητα 2.5: Τεχνολογικές εφαρμογές – Προστασία	Ενότητα 2.6: Επιδράσεις των σύγχρονων τεχνολογικών επιτευγμάτων στην ακοή του ανθρώπου
	Ενότητα 3.2: Λιγότερη ενέργεια για τις ίδιες ανάγκες και επιθυμίες	

Μέλη της ίδιας ερευνητικής ομάδας (Πέικος, Μάνου, & Σπύρτου, 2014) πραγματοποίησαν μία μαθησιακή ακολουθία σε 10 μαθητές Στ΄ Δημοτικού, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον τους σε αυτές τις έξι «Μεγάλες ιδέες». Η μαθησιακή ακολουθία που αναπτύχθηκε διήρκησε 5 διδακτικά δίωρα, κατά τη διάρκεια των οποίων οι μαθητές ξεκίνησαν από τη προσέγγιση του μεγέθους και της κλίμακας και των αντίστοιχων οργάνων παρατήρησης. Στη συνέχεια, οι μαθητές ήρθαν σε επαφή με εφαρμογές της N-ET στη φύση [π.χ. το φαινόμενο του λωτού, η σαύρα γκέκο], με τεχνολογικές εφαρμογές και κατασκεύασαν μοντέλα.

1.4.5 *Ιδέες των μαθητών για τη N-ET*

Η νανοεπιστήμη και νανοτεχνολογία αποτελούν αναδυόμενους και ταχέως αναπτυσσόμενους ερευνητικούς τομείς του 21^{ου} αιώνα, δημιουργώντας την ανάγκη προγραμμάτων εκπαίδευσης K-12. Είναι φανερό από τη βιβλιογραφική επισκόπηση των Bryan, Magana, & Sederberg (2015) ότι η έρευνα στην εκπαίδευση για τη νανοεπιστήμη και νανοτεχνολογία είναι περιορισμένη ως προς το περιεχόμενο και ως προς το πληθυσμό που μελετά. Πιο συγκεκριμένα, η έρευνα περιορίζεται σε συγκεκριμένες Μεγάλες Ιδέες, όπως το «μέγεθος και η κλίμακα», «τις ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος» και τα «εργαλεία και όργανα παρατήρησης» καθώς και σε μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και εκπαιδευτικούς. Ελάχιστες έρευνες επομένως επικεντρώνονται σε μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης.

Το ερευνητικό ενδιαφέρον της παρούσας έρευνας επικεντρώνεται σε μαθητές Στ' τάξης Δημοτικού και ταυτόχρονα η παρούσα διδακτική παρέμβαση θα επικεντρωθεί σε τέσσερις από τις μεγάλες ιδέες – Μέγεθος και κλίμακα, ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος, όργανα και εργαλεία και Μοντέλα και προσομοιώσεις. Γι' αυτούς τους λόγους παρακάτω θα γίνει αναφορά στη βιβλιογραφία που αναφέρεται σε δυσκολίες και εναλλακτικές ιδέες των μαθητών Δημοτικού σε αυτές τις τέσσερις μεγάλες ιδέες.

Μέγεθος και κλίμακα. Έννοιες που σχετίζονται με την κλίμακα και το μέγεθος [size and scale] επηρεάζουν την ικανότητα των μαθητών να κατανοήσουν τα φαινόμενα στη νανοκλίμακα (Stevens et al., 2009). Η αδυναμία άμεσης επαφής με αντικείμενα που δεν είναι ορατά με το μάτι δημιουργεί εμπόδια στη γνωστική επεξεργασία και κατανόηση των μικρών αντικειμένων (Tretter, Jones, Andre, Negishi, & Minogue, 2006).

Οι μαθητές Δημοτικού, όταν ερωτώνται για τα μικρότερα αντικείμενα που μπορούν να δουν και που μπορούν να φανταστούν, δηλώνουν ότι τα μικρότερα αντικείμενα που μπορούν να δουν είναι και τα ίδια με αυτά που μπορούν να φανταστούν, με αναφορές σε αντικείμενα, τα οποία ανήκουν στο μακρόκοσμο, όπως π.χ. ο κόκκος άμμου. Παρατηρείται επομένως, μία δυσκολία των μαθητών να διαχωρίσουν τον ορατό με το φανταστικό κόσμο (Waldron, Spencer, & Batt, 2006).

Επιπλέον, οι μαθητές του Δημοτικού έχουν την αίσθηση ότι όλα τα αντικείμενα που είναι μικρότερα από τους ίδιους είναι περίπου ίδιου μεγέθους (Tretter, Jones, Andre, et al., 2006). Αυτό, ταυτόχρονα με τη δυσανάλογη πτώση στην ακρίβεια υπολογισμού μεγεθών αντικειμένων μη ορατών με γυμνό μάτι (Tretter, Jones, & Minogue, 2006), φανερώνει την δυσκολία των μαθητών στον υπολογισμό αντικειμένων στη μικρο- και νανοκλίμακα. Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι οι μαθητές πιστεύουν πως τα κύτταρα τα άτομα και τα μόρια έχουν παρόμοιο μέγεθος (Flores, Tovar, & Gallegos, 2003).

Η έλλειψη σημείου αναφοράς στο μικρόκοσμο και νανόκοσμο μπορεί πιθανά να εξηγήσει αυτή τη πτώση στην ακρίβεια υπολογισμού, η οποία είναι πιο ανάλογη όταν υπολογίζονται αυξανόμενα μεγέθη αντικειμένων με τα οποία οι μαθητές έχουν οπτική επαφή, π.χ. βουνά, ήλιος (Tretter, Jones, & Minogue, 2006). Επιπλέον, τόσο οι μαθητές Ε' Δημοτικού όσο και οι ενήλικες μπορούσαν να αντιληφθούν καλύτερα το σχετικό από το απόλυτο μέγεθος των αντικειμένων (Tretter, Jones, Andre, et al., 2006).

Τέλος, οι μαθητές των μικρότερων τάξεων του Δημοτικού δηλώνουν αντικείμενα που ανήκουν στο μακρόκοσμο ή το μικρόκοσμο ως τα μικρότερα αντικείμενα που μπορούν να φανταστούν, ενώ ακόμη και οι μεγαλύτεροι μαθητές που δηλώνουν αντικείμενα του νανόκοσμου ως τα μικρότερα αντικείμενα που μπορούν να φανταστούν, όταν καλούνται να ιεραρχήσουν αντικείμενα του μικρόκοσμου και του

νανόκοσμου, αποτυγχάνουν να τα ιεραρχήσουν σωστά από το μικρότερο στο μεγαλύτερο (Castellini et al., 2007).

Αναφορικά με την ανάπτυξη της κατανόησης του μεγέθους και της κλίμακας, ο Delgado (2009) και οι Magana, Brophy και Bryan (2012) πρότειναν στάδια/επίπεδα κατανόησης. Πιο συγκεκριμένα, ως προς την ποιοτική προσέγγιση του μεγέθους, ο Delgado (2009) τοποθετεί ως αρχικό επίπεδο κατανόησης την διάταξη αντικειμένων [Ordering] ως προς το σχετικό/αναλογικό μέγεθος τους, π.χ. άνθρωπος > κύτταρο > ιός > άτομο. Σε δεύτερο επίπεδο ακολουθεί η ομαδοποίηση των αντικειμένων [Grouping], τοποθετώντας αντικείμενα ίδιου μεγέθους σε ίδια σύνολα πχ. {σκύλος, γάτα} > {κόκκος άμμου, κόκκος ζάχαρης} > {ζωικό κύτταρο, φυτικό κύτταρο} > {μόριο νερού, ιός}. Οι Magana et al. (2012) στο θεωρητικό τους πλαίσιο για τα επίπεδα κατανόησης τοποθετούν ως αρχικό επίπεδο την ομαδοποίηση/«γενίκευση» [Generalization] των αντικειμένων – ενδεικτικών – ανάλογα με την κλίμακα [μάκρο, μικρο, νάνο] στην οποία ανήκουν. Το επόμενο επίπεδο κατανόησης περιλαμβάνει την ικανότητα διάταξης- ιεράρχησης των αντικειμένων ανάλογα με το μέγεθός τους. Οι Magana et al. (2012) στο θεωρητικό τους πλαίσιο περιλαμβάνουν και ένα επιπλέον επίπεδο ποιοτικής προσέγγισης του μεγέθους, το λογικό αναλογικό συλλογισμό [Logical proportional reasoning], ο οποίος αναφέρεται στη ποιοτική προσέγγιση των μεγεθών ως την ισοδύναμη αναλογική σχέση ανάμεσα στα μεγέθη α και β με τα μεγέθη γ και δ. Για παράδειγμα, η διαφορά στα μεγέθη μεταξύ του ύψους ενός ανθρώπου και το μήκος ενός μυρμηγκιού είναι περίπου αναλογικά η ίδια με τη διαφορά στα μεγέθη μεταξύ ενός βακτηρίου και της διαμέτρου ενός διπλού κλώνου DNA.

Ως προς τη ποσοτική προσέγγιση των μεγεθών, ο Delgado (2009) υποστηρίζει ως αρχικό επίπεδο τον υπολογισμό του σχετικού μεγέθους των αντικειμένων [Relative scale size], δηλαδή την έκφραση ενός μεγέθους σε σχέση με ένα μέγεθος αναφοράς,

π.χ. ο ιός του AIDS είναι 10 φορές μεγαλύτερος από το Dna. Ακολουθεί η ικανότητα υπολογισμού του ακριβούς μεγέθους [Absolute size].

Οι Magana et al. (2012) στη ποσοτική προσέγγιση του μεγέθους προτείνουν το επίπεδο του αριθμητικού αναλογικού συλλογισμού [Numeric proportional reasoning], όπου γίνεται αντιληπτό αριθμητικά το πόσο μεγαλύτερο είναι ένα αντικείμενο από ένα άλλο. Ακολουθεί το επίπεδο κατανόησης Μαθηματικός συλλογισμός [Mathematical reasoning], όπου το άτομο είναι ικανό να υπολογίζει με ακρίβεια το μέγεθος ενός αντικειμένου.

Πίνακας 3: Επίπεδα κατανόησης του μεγέθους και της κλίμακας

	Learning progression (Delgado, 2009)	Scaffolding Size and Scale Cognition: The FS2C Framework (Magana et al., 2012)
Ποιοτική προσέγγιση μεγέθους	Διάταξη αντικειμένων [ordering]	Ομαδοποίηση [Generalization]
	Ομαδοποίηση αντικειμένων [Grouping]	Διάκριση –διάταξη [Discrimination]
Ποσοτική προσέγγιση μεγέθους	Σχετικό μέγεθος αντικειμένων [Relative scale size]	Λογικός αναλογικός συλλογισμός [Logical proportional reasoning] Αριθμητικός αναλογικός συλλογισμός [Numeric proportional reasoning]
	Ακριβές μέγεθος [Absolute size]	Μαθηματικός συλλογισμός [Mathematical reasoning]

Ο Delgado (2009) προτείνει ότι η μάθηση/ικανότητα των μαθητών για το μέγεθος και τη κλίμακα, στο τέλος της ΣΤ΄ Δημοτικού προσεγγίζεται ως η ικανότητα ομαδοποίησης και ιεράρχησης-ταξινόμησης από το μικρότερο στο μεγαλύτερο. Η χρήση των οργάνων μέτρησης προτείνεται ως στρατηγική που μπορεί να προωθήσει αυτές τις ικανότητες. Ο Delgado (2009) υποστηρίζει ότι οι μαθητές μπορούν να προσεγγίσουν κοντινά επίπεδα σε αυτά που βρίσκονται ήδη, ενώ αντίθετα δεν μπορούν να προσεγγίσουν πολύ ανώτερα επίπεδα από αυτό που βρίσκονται [π.χ., κανένας μαθητής της έρευνας του δεν κατάφερε ακόμη και μετά από την εμπλοκή του στη διδασκαλία να φτάσει σε παραπάνω από τρία ανώτερα επίπεδα από αυτό που βρισκόταν]. Επομένως, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το επίπεδο που βρίσκονται οι μαθητές στην εκάστοτε ηλικία.

Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος. Πιο περιορισμένη είναι η βιβλιογραφία σχετικά με τις ιδέες των μαθητών για τις ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος. Οι μαθητές θεωρούν ότι οι χαρακτηριστικές ιδιότητες ενός υλικού είναι ανεξάρτητες από το μέγεθος του (Stevens et al., 2009). Θεωρούν ότι τα άτομα και τα μόρια ενός υλικού έχουν τις ίδιες ιδιότητες όπως τα χύδην υλικά τα οποία συνθέτουν. Πιστεύουν, για παράδειγμα, ότι το χρώμα των ατόμων χρυσού είναι χρυσό (Ben-Zvi, Eylon, & Silberstein, 1986) ή ότι όταν οι ουσίες διαστέλλονται ή συστέλλονται και τα μόρια κάνουν το ίδιο (Griffiths & Preston, 1992).

Εργαλεία και όργανα. Αναφορικά με τις πεποιθήσεις των μαθητών για τα όργανα και εργαλεία παρατήρησης, όπως τα μικροσκόπια, οι μαθητές πιθανόν να πιστεύουν ότι δεν υπάρχουν τόσο μικρά εργαλεία που μπορούν να επεξεργαστούν τόσο μικρά αντικείμενα (Stevens et al., 2009). Βασικότερες εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τα εργαλεία και όργανα είναι αυτές που παρουσιάζουν στην έρευνα τους οι Griffiths and Preston (1992) και οι Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer και Blakeslee (1993).

Οι ερευνητές αυτοί βρήκαν ότι οι μαθητές πιστεύουν πως το οπτικό μικροσκόπιο μπορεί να δείξει τα άτομα και τα μόρια. Πιο συγκεκριμένα στην έρευνα των Griffiths and Preston (1992), οι μαθητές υποστήριζαν ότι τα άτομα είναι ορατά με το οπτικό μικροσκόπιο. Αντίστοιχα στην έρευνα των Lee et al. (1993), οι μαθητές ΣΤ΄ Δημοτικού συνέχιζαν, ακόμη και μετά από διδακτικές παρεμβάσεις που τόνιζαν ότι τα μόρια είναι πολύ μικρά για να μπορούν να γίνουν αντιληπτά με το οπτικό μικροσκόπιο, να θεωρούν ότι το οπτικό μικροσκόπιο και ο μεγεθυντικός φακός μπορούν να δείξουν τα μόρια.

Μοντέλα και προσομοιώσεις. Σχετικά με τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών για τα μοντέλα έχει πραγματοποιηθεί εκτενής αναφορά στο κεφάλαιο 1.2.4. Μερικές από αυτές τις ιδέες είναι ότι οι μαθητές πιστεύουν πως τα μοντέλα είναι ακριβές αντίγραφο του στόχου διαφέροντας στην κλίμακα αναπαράστασης, ότι τα μοντέλα μπορούν να είναι μόνο απτά αντικείμενα και ότι κάθε στόχος έχει ένα σωστό μοντέλο (Grosslight et al 1991). Επιπλέον, πολλοί μαθητές δεν μπορούν να κατανοήσουν τη σημασία του ρόλου που διαδραματίζουν τα μοντέλα και οι προσομοιώσεις στη διαδικασία της επιστημονικής έρευνας (Treagust, Chittleborough, και Mamiala 2002· Grosslight et al. 1991).

1.5 Η παρούσα έρευνα

1.5.1 Σκοπός και σημαντικότητα της έρευνας

Η ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας προτείνει την εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών στην διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και κατανόησης του περιεχομένου της Επιστήμης. Ταυτόχρονα, η εννοιολογική κατανόηση του περιεχομένου της Επιστήμης επηρεάζεται από τη διαμόρφωση επιστημολογικής επίγνωσης αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων. Κρίθηκε, επομένως, σημαντικό να διερευνηθεί η εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών και στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, ως παράγοντα που θα μπορούσε δυνητικά να συμβάλει στην εννοιολογική κατανόηση του περιεχομένου της Επιστήμης.

Θεωρήθηκε, επομένως, πιθανό οι εκτελεστικές λειτουργίες να επιδρούν κι έμμεσα στην διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής και κατανόησης στο περιεχόμενο της Επιστήμης, καθώς είναι πιθανό να εμπλέκονται και στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Στην παρούσα έρευνα υποστηρίχθηκε αυτή η εμπλοκή, καθώς όπως περιγράφηκε εκτενώς σε προηγούμενο κεφάλαιο [βλέπε 1.2.5], η τροποποίηση των επιστημολογικών πεποιθήσεων των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων μπορεί να τεθεί σε αναλογία με την διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής, όπως αυτή περιγράφεται από τη θεωρία πλαισίου [Framework theory] (Vosniadou, 2013), στην οποία όπως έχει υποστηριχτεί (Χουντάλα, 2014· Vosniadou et al., 2015· Zaitchik et al., 2013) εμπλέκονται οι εκτελεστικές λειτουργίες.

Κατά τη διαδικασία τροποποίησης των αρχικών διαισθητικών πεποιθήσεων των μαθητών σε πιο εκλεπτυσμένες απαιτείται η οικοδόμηση ενός διαφορετικού επεξηγηματικού πλαισίου από αυτό που χρησιμοποιούσαν νωρίτερα (Zaitchik, 2013). Ταυτόχρονα, για την πραγματοποίηση της εννοιολογικής αλλαγής χρειάζεται ο εντοπισμός των εννοιολογικών προβλημάτων, τα οποία εντοπίζονται στις αρχικές -

δαισθητικές ιδέες. Επιπλέον, οι αρχικές δαισθητικές πεποιθήσεις, ακόμη και μετά από την εμπλοκή σε διαδικασίες εννοιολογικής αλλαγής, δεν εξαφανίζονται αλλά συνεχίζουν να υπάρχουν και μάλιστα είναι ευκολότερη και πιο γρήγορη η πρόσβαση σε αυτές (Shtulman & Valcarcel, 2012).

Με βάση τα παραπάνω, η διαδικασία τροποποίησης των αρχικών δαισθητικών πεποιθήσεων των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων σε πιο εκλεπτυσμένες, απαιτεί από τους μαθητές εννοιολογικές επανακατηγοριοποιήσεις της έννοιας του μοντέλου, μέσα από αλλαγές σε οντολογικό και αναπαραστατικό επίπεδο και την επίλυση διαφορών ανάμεσα στις αρχικές δαισθητικές τους θεωρίες και στις επιστημονικές (Vosniadou, 2014). Οι μαθητές χρειάζεται να διατηρήσουν όλες τις πληροφορίες για την φύση και το ρόλο των μοντέλων στην εργαζόμενη τους μνήμη, ώστε να μπορούν να τις επεξεργαστούν (WM), να εναλλάσσονται μεταξύ των δαισθητικών και επιστημονικών ιδεών, ώστε να μπορούν να τις διαχωρίσουν και να επιλέξουν την κατάλληλη πληροφορία κάθε φορά [Shifting], να αναστείλουν τις αρχικές τους δαισθητικές πεποιθήσεις για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων [Inhibition]. Υποστηρίζεται, επομένως, ότι οι τρεις αυτές εκτελεστικές λειτουργίες μπορούν να αποτελέσουν σημαντικούς παράγοντες στην οργάνωση, κατασκευή, αλλά και στην έκφραση της γνώσης

Δεν εντοπίστηκαν προηγούμενες έρευνες που να διερευνούν την εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, της ανανέωσης της μνήμης εργασίας και της εναλλαγής στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων στις Φυσικές επιστήμες, εμπλοκή την οποία μελέτησε η παρούσα έρευνα.

Ταυτόχρονα, οι Zaitchik et al. (2013) προτείνουν την περαιτέρω διερεύνηση του ρόλου των εκτελεστικών λειτουργιών στη διαδικασία οικοδόμησης γνώσης. Η διερεύνηση αυτή, όπως προτείνεται, θα μπορούσε να υλοποιηθεί μέσα από την

πραγματοποίηση στοχευμένων διδακτικών παρεμβάσεων και την εξέταση πιθανής συσχέτισης μεταξύ ατομικών διαφορών στις εκτελεστικές λειτουργίες των μαθητών και της επίδοσης αυτών μετά τη διδακτική παρέμβαση. Μετά από ανασκόπηση της βιβλιογραφίας βρέθηκε μόνο μία έρευνα, που ήλεγχε την σχέση και εμπλοκή των Ε.Λ. στην εννοιολογική αλλαγή μετά από διδακτική παρέμβαση (Rhodes et al., 2016). Υποστηρίζεται ότι στην έρευνα αυτή, η μη ύπαρξη προ-διαγνωστικού δοκιμίου αναφορικά με τις ιδέες των μαθητών δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων, καθώς δεν ήταν αντιληπτό αν οι διαφορές που παρουσίασαν οι μαθητές στην τελική αξιολόγηση οφείλονταν στο ότι κάποιιοι ωφελήθηκαν περισσότερο από την παρέμβαση ενώ άλλοι όχι ή αν αυτές οι διαφορές οφείλονταν στο ότι κάποιιοι μαθητές είχαν εξ αρχής περισσότερες γνώσεις επί του αντικειμένου. Επιπλέον, ακόμη και ο αριθμός των διδακτικών παρεμβάσεων [μία διδακτική παρέμβαση] δεν θεωρήθηκε αρκετός, ώστε να πραγματοποιηθεί τροποποίηση των αρχικών απόψεων των μαθητών, καθώς η διαδικασία της εννοιολογικής αλλαγής αποτελεί μία αργή και σταδιακή διαδικασία (Vosniadou, 2002) και επομένως δεν θεωρείται ότι είναι δυνατή η σύγκριση των ατομικών επιδόσεων και διαφορών των μαθητών με βάση την συγκεκριμένη μία διδακτική παρέμβαση.

Σκοπός, λοιπόν της παρούσας έρευνας ήταν να εξετασθεί ο ρόλος των εκτελεστικών λειτουργιών και συγκεκριμένα αυτών της αναστολής, της εναλλαγής και της ανανέωσης της μνήμης εργασίας στην επιστημολογική κατανόηση της φύσης και του ρόλου των επιστημονικών μοντέλων στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Η εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών στις διαδικασίες εννοιολογικής αλλαγής πειραματικά ελέγχθηκε με την πραγματοποίηση σειράς διδακτικών παρεμβάσεων που στοχεύουν στην τροποποίηση των πεποιθήσεων των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων.

Επιλέχθηκαν αυτές οι εκτελεστικές λειτουργίες καθώς όπως αναφέρεται και στην έρευνα των Miyake et al. (2000) μπορεί να τους δοθεί ένας λειτουργικός ορισμός και επιπλέον, υπάρχουν μία σειρά καλά μελετημένων και σχετικά απλών γνωστικών έργων που μπορεί να τις μετρήσει. Τέλος, αυτές οι εκτελεστικές λειτουργίες φαίνεται να εμπλέκονται στην εκτέλεση πιο πολύπλοκων γνωστικών έργων.

1.5.2 Η Σημαντικότητα της παρούσας έρευνας

Υποστηρίζεται ότι η αναγκαιότητα της παρούσας έρευνας έγκειται στην έλλειψη πειραματικών δεδομένων αναφορικά με την εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών στην εννοιολογική αλλαγή και κατανόηση, μετά από διδακτική παρέμβαση. Τα περισσότερα ερευνητικά δεδομένα είναι συσχετιστικά και δεν περιλαμβάνουν διδακτική παρέμβαση που στοχεύει στην εννοιολογική αλλαγή και κατανόηση. Επομένως, η παρούσα έρευνα συμβάλει στην διερεύνηση της εμπλοκής των εκτελεστικών λειτουργιών στην εννοιολογική κατανόηση, όταν έχει προηγηθεί σειρά διδακτικών παρεμβάσεων. Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα έρευνα οι σχεδιασμένες διδακτικές παρεμβάσεις αποσκοπούσαν στην τροποποίηση των αρχικών πεποιθήσεων των μαθητών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων.

Η αξία της παρούσας έρευνας έγκειται στην συμβολή της στην καλύτερη κατανόηση της εμπλοκής των εκτελεστικών λειτουργιών στην διαδικασία της Εννοιολογικής Αλλαγής στην Επιστήμη. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από την διερεύνηση της επιρροής των εκτελεστικών λειτουργιών στην απόκτηση επιστημολογικής επίγνωσης αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων, μπορεί να επιτευχθεί μία βαθύτερη κατανόηση της επενέργειας των εκτελεστικών λειτουργιών με την ανάδειξη της έμμεσης επιρροής τους στην Εννοιολογική Αλλαγή. Τα αποτελέσματα επομένως της παρούσας έρευνας μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση του ρόλου των εκτελεστικών λειτουργιών στη μάθηση.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας θα μπορούσαν δυνητικά να προσφέρουν μία εξήγηση για τις δυσκολίες που παρουσιάζουν μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης στην τροποποίηση των επιστημολογικών τους πεποιθήσεων, αναφορικά με την φύση και τον ρόλο των μοντέλων στις φυσικές επιστήμες, αλλά και τις ατομικές διαφορές που παρουσιάζουν οι μαθητές στην διαμόρφωση επιστημολογικής επίγνωσης, όπως παρουσιάστηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο 1.2.5. Ταυτόχρονα, η παρούσα έρευνα θα μπορούσε να αποτελέσει και έναν δείκτη για τις δυσκολίες και τις ατομικές διαφορές που παρουσιάζουν οι μαθητές στην κατανόηση και εκμάθηση των επιστημονικών εννοιών.

Οι παραπάνω προτάσεις έχουν εκπαιδευτικές προεκτάσεις. Αν οι εκτελεστικές λειτουργίες εμπλέκονται στη διαδικασία απόκτησης της γνώσης, αυτό συνεπάγεται τροποποιήσεις στις μεθόδους διδασκαλίας και στην διαμόρφωση διδακτικών παρεμβάσεων. Οι εκπαιδευτικοί θα κληθούν να βοηθήσουν τους μαθητές τους, όχι να αποβάλουν τις αρχικές τους ιδέες, αλλά να μάθουν να διαχειρίζονται την εμπλοκή τους. Προκύπτει η ανάγκη εκμάθησης τέτοιων στρατηγικών καθώς και η αναγκαιότητα εξάσκησης των εκτελεστικών λειτουργιών, στο σχολικό πλαίσιο, με σκοπό την βελτίωση των ακαδημαϊκών επιδόσεων των μαθητών.

1.5.3 Ερευνητικά ερωτήματα/ Υποθέσεις

Συγκεκριμένα, η παρούσα έρευνα στοχεύει στο να απαντήσει στα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

1. Οι ιδέες των μαθητών αναφορικά με τη φύση και τον ρόλο των επιστημονικών μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET, μπορούν να βελτιωθούν μετά από σειρά διδακτικών παρεμβάσεων;

1.1 Υποθέτουμε ότι μετά τη διδακτική παρέμβαση θα υπάρξει βελτίωση των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET.

2. Οι επιδόσεις των μαθητών στα έργα αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας, μπορούν να προβλέψουν τις αρχικές ιδέες των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και του περιεχομένου της N-ET;

2.1.Υποθέτουμε ότι οι επιδόσεις στα έργα της αναστολής, της ανανέωσης της μνήμης εργασίας και εναλλαγής αποτελούν καλό προβλεπτικό παράγοντα των αρχικών πεποιθήσεων των μαθητών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και του περιεχομένου της N-ET. Δηλαδή, υποθέτουμε ότι οι επιδόσεις στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών των μαθητών μπορούν να προβλέψουν τις διαφορές που θα παρουσιάσουν οι μαθητές στις αρχικές ιδέες τους πριν τη διδακτική παρέμβαση (Zaitchik et al., 2013).

3. Οι επιδόσεις των μαθητών στα έργα αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας, μπορούν να προβλέψουν την τελική Εννοιολογική Κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων του περιεχομένου της N-ET;

3.1.Ταυτόχρονα, βασιζόμενοι σε έρευνες που υποστηρίζουν την εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών στις διαδικασίες εννοιολογικής αλλαγής (βλέπε Vosniadou et al., 2015) υποθέτουμε ότι οι επιδόσεις των μαθητών στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών μπορούν να προβλέψουν τις διαφορές που θα παρουσιάσουν οι μαθητές μετά την διδακτική ως προς την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και του περιεχομένου της N-ET. Η διακύμανση που θα

παρουσιαστεί στις απαντήσεις των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET, υποστηρίζεται ότι τουλάχιστον ως ένα βαθμό (μερικώς) οφείλεται στις ικανότητες των εκτελεστικών λειτουργιών τους.

4. Οι επιδόσεις των μαθητών στα έργα αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας, μπορούν να αποτελέσουν καλύτερους προβλεπτικούς παράγοντες της αρχικής και τελικής Εννοιολογικής Κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και του περιεχομένου της N-ET από τη νοητική ικανότητα;
 - 4.1. Υποθέτουμε ότι οι επιδόσεις στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών θα αποτελέσουν καλύτερο προβλεπτικό παράγοντα από την νοητική ικανότητα (Vosniadou et al., 2015 · Zaitchik et al., 2013)

Κεφάλαιο Δεύτερο: Μεθοδολογία

2.1 Συμμετέχοντες

Το αρχικό δείγμα της έρευνας αποτελούταν από εξήντα τέσσερις μαθητές ΣΤ' Δημοτικού. Από αυτούς, δύο μαθητές αφαιρέθηκαν από το τελικό δείγμα της έρευνας. Ο ένας εκ των δύο μαθητών αφαιρέθηκε από την έρευνα καθώς δεν συμπλήρωσε το μεταδιαγνωστικό δοκίμιο, ενώ ο δεύτερος μαθητής κρίθηκε ότι δεν πληρούσε τις προϋποθέσεις συμμετοχής στην έρευνα λόγω των μαθησιακών του δυσκολιών, που δεν του επέτρεπαν την ικανοποιητική πραγματοποίηση των μετρήσεων των εκτελεστικών λειτουργιών και την συμπλήρωση των δοκιμίων.

Οι συμμετέχοντες της παρούσας έρευνας ήταν επομένως εξήντα δύο (N=62) μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης που φοιτούσαν στην Στ' τάξη του Δημοτικού Σχολείου με μέση ηλικία 140,5 μήνες (11,7 ετών) και τυπική απόκλιση 3,55. Από αυτούς, τα 34 ήταν αγόρια, ενώ τα 28 ήταν κορίτσια. Το δείγμα συστάθηκε από μαθητές 5 διαφορετικών τμημάτων, δύο αστικών Δημοτικών σχολείων της Θεσσαλονίκης. Οι μαθητές προέρχονταν από τα μεσαία και ανώτερα κοινωνικοοικονομικά στρώματα.

Για την συλλογή του δείγματος, αξιοποιήθηκε σκόπιμη δειγματοληψία κριτηρίου ως προς την τάξη των μαθητών και βολική δειγματοληψία ως προς την επιλογή σχολείων. Τα σχολεία που συμμετείχαν στην παρούσα έρευνα ήταν εκείνα για τα οποία είχε ζητηθεί και ληφθεί άδεια από το Υπουργείο Παιδείας και των οποίων οι διευθυντές και εκπαιδευτικοί δέχθηκαν την διεξαγωγή της έρευνας στο σχολείο.

Ειδικότερα, αναφορικά με το δείγμα της έρευνας προτείνεται η Στ' τάξη του Δημοτικού καθώς όπως υποστηρίζεται στην έρευνα των Huizinga και van der Molen (2006) μετά την ηλικία των 10 ετών τα παιδιά πέρα από την εκτενή χρήση της

εκτελεστικής λειτουργίας της αναστολής, χρησιμοποιούν σε μεγάλο βαθμό και τις εκτελεστικές λειτουργίες της εναλλαγής και της ανανέωσης της μνήμης εργασίας. Αναλυτικότερα, περίπου στην ηλικία των 11 ετών παρουσιάζονται επιδόσεις ενηλίκων στο έργο αναστολής, ενώ η ανανέωση της μνήμης εργασίας συνεχίζει να αναπτύσσεται μέχρι την πρόιμη ενηλικίωση. Αναφορικά με την ανάπτυξη της εκτελεστικής λειτουργίας της εναλλαγής, οι Dibbets και Jolles (2006), υποστηρίζουν ότι το μικρότερο κόστος εναλλαγής παρουσιάζεται σε μαθητές μεταξύ 8–13 ετών. Για το λόγο αυτό θεωρείται καταλληλότερη η επιλογή αυτής της ηλικιακής ομάδας, ώστε να είναι δυνατή η ακριβέστερη μέτρηση των εκτελεστικών λειτουργιών.

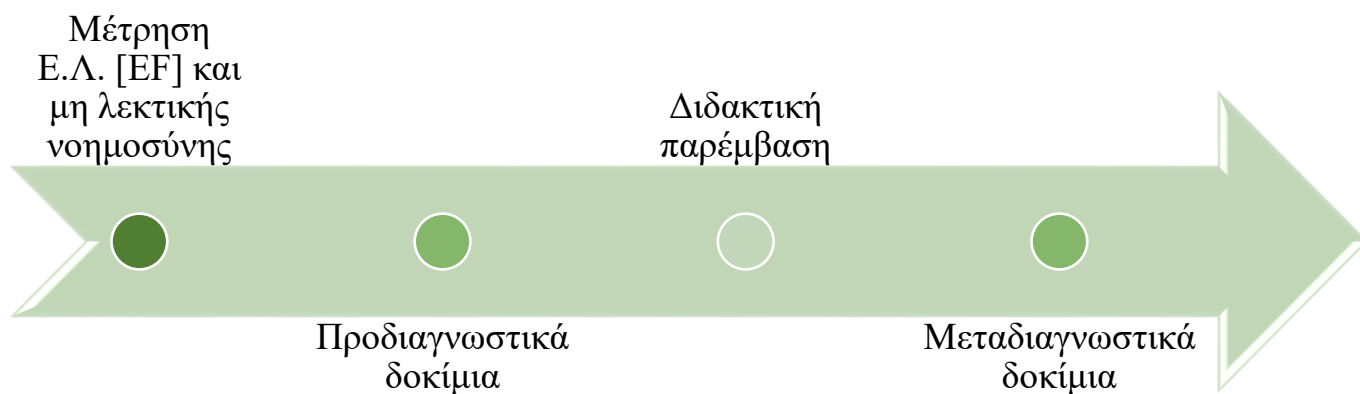
Επιπλέον, επιλέχθηκε μόνο μία ηλικιακή ομάδα, καθώς επιθυμούμε το δείγμα μας να είναι όσο το δυνατό πιο ομοιόμορφο τόσο ως προς την προηγούμενη γνώση για το περιεχόμενο της φυσικής όσο και αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Ταυτόχρονα, στην παρούσα έρευνα ενδιαφερόμαστε να μελετήσουμε πώς οι διαφοροποιήσεις ως προς τις επιδόσεις στις εκτελεστικές λειτουργίες μαθητών ίδιας ηλικίας, προβλέπουν την κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και όχι να μελετήσουμε το πώς το αναπτυξιακό επίπεδο των εκτελεστικών τους λειτουργιών επηρεάζει την κατανόηση στην φύση και το ρόλο των μοντέλων.

2.2 Ερευνητικός σχεδιασμός

Για τον έλεγχο των ερευνητικών ερωτημάτων της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκε ο προ-πειραματικός ερευνητικός σχεδιασμός [pre-experimental research design] καθώς υπήρχε μία πειραματική ομάδα και καμία ομάδα ελέγχου και πραγματοποιήθηκε μέτρηση των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων και του περιεχομένου της N-ET πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση (Cohen, 1968, σελ. 363 · Παπαναστασίου & Παπαναστασίου, 2016, σελ.187). Δεν χρησιμοποιήθηκε ομάδα ελέγχου καθώς ο στόχος της παρούσας

έρευνας ήταν η διερεύνηση της εμπλοκής των εκτελεστικών λειτουργιών των μαθητών του δείγματος στην κατανόηση τους για το διδαχθέν αντικείμενο και όχι για παράδειγμα η σύγκριση της αποτελεσματικότητας διαφορετικών διδακτικών μεθόδων στην κατανόηση των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET.

Συλλέχθηκαν δεδομένα από τις εκτελεστικές λειτουργίες των μαθητών και από το προδιαγνωστικό και μεταδιαγνωστικό δοκίμιο αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET. Ανάμεσα στη συλλογή των προδιαγνωστικών και των μεταδιαγνωστικών δοκιμίων πραγματοποιήθηκε σειρά διδακτικών παρεμβάσεων συνολικής διάρκειας 8 διδακτικών ωρών, από την ερευνήτρια. Κάθε διδακτική παρέμβαση είχε διάρκεια 2 διδακτικών ωρών. Όλος ο ερευνητικός σχεδιασμός είχε διάρκεια περίπου 13 διδακτικών ωρών.



Σχήμα 3: Ερευνητικός σχεδιασμός

2.3 Ανάπτυξη της διδακτικής παρέμβασης

Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη της διδακτικής παρέμβασης βασίστηκε σε δύο σχεδιαστικούς άξονες. Ο πρώτος αφορούσε τις σχεδιαστικές αρχές για τη διδακτική προσέγγιση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και ο δεύτερος τις σχεδιαστικές αρχές που αφορούσαν τη διδακτική προσέγγιση της N-ET.

2.3.1 Σχεδιαστικός άξονας: Επιστημονικά μοντέλα

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Grosslight et al., 1991· Saari & Viiri, 2003· Schwarz et al., 2009· Schwarz & White, 2005· Treagust, 2002· Zoupidis 2010) οι μαθητές παρουσιάζουν δυσκολίες στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Η ανάπτυξη της ικανότητας κατασκευής μοντέλων συμβάλει στην απόκτηση μεταβιβάσιμων δεξιοτήτων που μπορούν να συμβάλουν στην εκμάθηση των φυσικών επιστημών (Constantinou, 1999). Υποστηρίζεται ότι η εμπλοκή σε πρακτικές μοντελοποίησης όπως αυτές περιγράφονται στον κύκλο της μοντελοποίησης (Constantinou, 1999) και στο Modeling competence framework [MCF] (Nicolau & Constantinou, 2014· Papaenripidou, 2012) μπορεί να προωθήσει τη μεταγνώση τόσο για τις ίδιες τις πρακτικές όσο και για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Οι πρακτικές της μοντελοποίησης ήταν η βάση πάνω στην οποία πλαισιώθηκε η πορεία της διδακτικής παρέμβασης, ο καθορισμός των επιμέρους δραστηριοτήτων καθώς και η σειρά πραγματοποίησής τους.

Σχεδιαστική αρχή 1

Ο κύκλος της μοντελοποίησης και οι πρακτικές μοντελοποίησης για την προώθηση της κατανόησης για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων.

Όπως αναφέρεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 1.2.1 οι μαθητές διαθέτουν παρανοήσεις για τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων (Grosslight et al., 1991· Saari

& Viiri, 2003·Treagust et al., 2002) με κυριότερη αντίληψη ότι τα μοντέλα αποτελούν αντίγραφα του στόχου.

Μετασχηματίζοντας τη βιβλιογραφία για τα μοντέλα στις φυσικές επιστήμες, στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η μετάβαση από την αντίληψη του μοντέλου ως αντίγραφο του φαινομένου στην αντίληψη της αναπαραστατικής φύσης του μοντέλου. Επιπλέον, αναφορικά με την μεταβλητότητα των μοντέλων επικεντρωθήκαμε στην κατανόηση του μοντέλου αρχικά ως μεταβλητού, η μεταβολή του οποίου σχετίζεται με την εύρεση νέων δεδομένων και κατ' επέκταση τη βελτίωση της αναπαραστατικής, επεξηγηματικής και προβλεπτικής του ικανότητας. Δηλαδή, το μοντέλο μεταβάλλεται, ώστε να επιτελεί πιο αποτελεσματικά το σκοπό του. Τέλος, σχετικά με την πολλαπλότητα των μοντέλων, επιδιώκεται οι μαθητές να αντιληφθούν ότι μπορούν να υπάρχουν περισσότερα από ένα μοντέλα και ο λόγος ξεπερνά τον τρόπο αναπαράστασης και τα λάθη κατασκευής (Grosslight et al., 1991) και σχετίζεται με την ύπαρξη διαφορετικών απόψεων αναφορικά με το φαινόμενο.

Πίνακας 4: Μετασχηματισμός της γνώσης για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων

Βιβλιογραφία	Μετασχηματισμός
<i>Ένα μοντέλο αποτελεί ένα σύμπλεγμα αναπαραστάσεων, κανόνων και συλλογιστικών δομών ένα παραγωγικό εργαλείο που επιτρέπει την αναπαράσταση, την επεξήγηση και την πρόβλεψη φυσικών φαινομένων (Harrison & Treagust, 2000·Schwarz et al., 2009 ·Schwarz,, 2002)</i>	Μοντέλο είναι η αναπαράσταση ενός φαινομένου και μας βοηθά να εξηγήσουμε ένα φαινόμενο και να διενεργήσουμε προβλέψεις
<i>Τα μοντέλα τροποποιούνται για να αντικατοπτρίζουν την αυξανόμενη κατανόηση των φαινομένων (Schwarz et al., 2009)</i>	Τα μοντέλα αλλάζουν όταν αλλάξουν τα δεδομένα που γνωρίζουμε. Επίσης, τα μοντέλα τροποποιούνται για να βελτιώσουν την αναπαραστατική τους πληρότητα, την επεξηγηματική και προβλεπτική τους ικανότητα.
<i>Υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα για να υποστηρίξουν τον διαφορετικό τρόπο σκέψης (Schwarz et al., 2005)</i>	Υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα γιατί διαφορετικοί άνθρωποι μπορεί να

Τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση, την εξήγηση και την πρόβλεψη φαινομένων

καταλαβαίνουν διαφορετικά το φαινόμενο.
Σκοπός των μοντέλων είναι να μας αναπαριστούν, να μας εξηγούν ένα φαινόμενο και μας βοηθάνε να δούμε τι θα συμβεί αν αλλάξουμε κάποια πτυχή του φαινομένου

Σχεδιαστική αρχή 2

Η αντίληψη των μοντέλων ως αναπαραστάσεις με συγκεκριμένο σκοπό, που χαρακτηρίζονται από μεταβλητότητα και πολλαπλότητα, λόγω του διαφορετικού τρόπου αντίληψης του φαινομένου.

2.3.2 Σχεδιαστικός άξονας : N-ET

Η N-ET αποτέλεσε το θεματικό πλαίσιο που επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για την διδασκαλία της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Η ενασχόληση με την N-ET αποτελεί πρόκληση και διευρύνεται διαρκώς στην εκπαίδευση (Roco, 2003) και αποτελεί έννοια-ομπρέλα, που δομείται με και περικλείεται από ένα ευρύ φάσμα εννοιών, όπως οι Μεγάλες ιδέες για τη N-ET (Stevens et al., 2009), οι ιδέες των μαθητών (Tretter, Jones, Andre, et al., 2006), οι τεχνολογικές εφαρμογές της N-ET (Davis, 1997 · Zhang & Wang, 2012·Shi, Votruba, Farokhzad, & Langer, 2010). Ο καθορισμός των εννοιών της N-ET που προσεγγίστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία καθορίστηκαν, ώστε να εξυπηρετούν την πορεία των πρακτικών μοντελοποίησης.

Αρχικά, για την διαμόρφωση της διδακτικής παρέμβασης επικεντρωθήκαμε στις Μεγάλες Ιδέες της N-ET. Από αυτές προσεγγίσαμε τις Μεγάλες Ιδέες: α) το «Μέγεθος και Κλίμακα», β) τα «Εργαλεία και όργανα», γ) τις «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» και τέλος δ) τα «Μοντέλα και προσομοιώσεις».

1.5.3.1 Ιδιότητες εξαρτώμενες απ' το μέγεθος

Η Μεγάλη Ιδέα «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» αποτελεί την κεντρικότερη ιδέα που πλαισίωσε τη διδακτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε. Για την κατανόηση της συμπεριφοράς της ύλης είναι σημαντική η προσέγγιση των αλλαγών που προκαλούνται στις ιδιότητες ανάμεσα στις κλίμακες (Stevens et al., 2009). Στη βιβλιογραφία υποστηρίζεται ότι είναι σημαντικό οι μαθητές να αντιληφθούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τριών κόσμων (Healy, 2009 ·Stevens et al., 2009).

Υποστηρίζεται ότι αυτή η μεγάλη ιδέα και συγκεκριμένα η ενασχόληση με την μικρο- και νανοδομή των υδρόφιλων και υδρόφοβων φυτών αποτελεί κατάλληλο περιεχόμενο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για την ανάπτυξη της επιστημολογικής επάρκειας των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων μέσα από τις πρακτικές της μοντελοποίησης. Επιπλέον, υποστηρίζεται ότι η συγκεκριμένη θεματική ενδείκνυται για την πρακτική της επικύρωσης και αναθεώρησης του μοντέλου, καθώς παρέχει διαφορετικά φαινόμενα ίδιας όμως κλάσης (δομή λωτό-δομή τριαντάφυλλου). Ταυτόχρονα, έχει προταθεί η έμφαση στην εμπλοκή των μαθητών με νανοφαινόμενα από τη φύση, όπως είναι το φαινόμενο του λωτού, η νανοδομή των ποδιών της σαύρας γκέκο, οι νανοδομές του δέρματος του καρχαρία κλπ., τα οποία έχουν εμπνεύσει την ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογικών επιτευγμάτων (Lin et al., 2015).

Στο πλαίσιο του μετασχηματισμού της γνώσης αναφορικά με τις «ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος» και συγκεκριμένα τα υδροφιλικά και υδροφοβικά φύλλα, αφορούσε την περιγραφή της μικρο- και νανοδομής των φύλλων και τις ιδιότητες που αποκτά το φύλλο λόγω αυτής της δομής. Πιο αναλυτικά, η γνώση που επιδιώχθηκε να αποκτήσουν οι μαθητές είναι ότι «Οι επιφάνειες οι οποίες σε μικρο-επίπεδο δεν διαθέτουν μικροεξογκώματα και σε νανοεπίπεδο νανοπροεξοχές, λέγονται υδρόφιλες

και η σταγόνα νερού πάνω τους απλώνεται στην επιφάνεια του φύλλου και κινείται αργά. Αντίθετα, σε επιφάνειες που διαθέτουν μικροεξογκώματα και πάνω σε αυτά υπάρχουν νανοπροεξοχές, οι σταγόνες καθώς δεν μπορούν να χωρέσουν ανάμεσα στα εξογκώματα. Οι σταγόνες λόγω των νανοπροεξοχών είναι σαν να βρίσκονται στον αέρα, παίρνουν σχήμα σφαιρικό και κυλούν γρήγορα. Τέλος, σε επιφάνειες που διαθέτουν μικροεξογκώματα τα οποία βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις και έχουν μικρότερο ύψος από αυτά, π.χ. του λωτού και πάνω σε αυτά υπάρχουν νανοπροεξοχές, οι σταγόνες μπορούν να χωρέσουν ανάμεσα στα εξογκώματα με αποτέλεσμα να μη πέφτουν από το φύλλο, αλλά λόγω των νανοπροεξοχών, δεν ακουμπούν μεγάλο μέρος της επιφάνειας του φύλλου και γι' αυτό το λόγο δεν απλώνονται πάνω σε αυτό αλλά παίρνουν σχήμα σφαιρικό και κολλάνε πάνω στο φύλλο».

Σχεδιαστική Αρχή 3:

Η οικοδόμηση της αντίληψης ότι η δομή της μικρο- και νανο-κλίμακας μπορεί να επηρεάσει τις ιδιότητες της μακροκλίμακας.

1.5.3.2 Μέγεθος και Κλίμακα

Η *Μεγάλη Ιδέα* «Μέγεθος και Κλίμακα» αποτελεί την βάση πάνω στην οποία χτίζεται η κατανόηση για τις υπόλοιπες έννοιες της N-ET (Stevens et al., 2009). Στην παρούσα έρευνα, ακολουθώντας το FS2C πλαίσιο των Magana et al. (2012), επικεντρωθήκαμε αναφορικά με το μέγεθος και τη κλίμακα, στο πρώτο, ποιοτικό επίπεδο προσέγγισης του μεγέθους, την «Γενίκευση». Με τον όρο «γενίκευση», εννοείται η ταξινόμηση αντικειμένων αναφοράς [landmark objects] στο μακρόκοσμο, στο μικρόκοσμο και στο νανόκοσμο (Magana et al., 2012). Στη διδακτική παρέμβαση η ταξινόμηση των αντικειμένων αναφοράς πραγματοποιήθηκε με κριτήριο το όργανο παρατήρησης (Sevens et al., 2009).

Το φαινόμενο που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ίωση (Πέικος, 2016), χρησιμοποιώντας ως αντικείμενα αναφοράς τον άνθρωπο, τα ερυθρά αιμοσφαίρια και τον ιό, τα οποία ταξινομήθηκαν στους αντίστοιχους κόσμους με κριτήριο τα όργανα παρατήρησης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η διδακτική παρέμβαση περιορίστηκε στην παρουσίαση μόνο αυτών των αντικειμένων αναφοράς, καθώς η περεταίρω εμβάθυνση σε αντικείμενα αναφοράς ήταν εκτός του ερευνητικού μας ενδιαφέροντος.

Αντίθετα, η διδακτική παρέμβαση επικεντρώθηκε στην μικρο- και νανο-δομή υδρόφιλων και υδρόφοβων φυτών, δηλαδή στην Μεγάλη ιδέα «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος». Η κατανόηση του μεγέθους και της κλίμακας αποτέλεσαν προαπαιτούμενο βήμα για την μετέπειτα ενασχόληση με την μικρο- και νανο-δομή και για την κατανόηση των ιδιοτήτων που εξαρτώνται από το μέγεθος.

Σχεδιαστική Αρχή 4 :

Η *Μεγάλη Ιδέα*, «Μέγεθος και Κλίμακα» ως προαπαιτούμενο για την προσέγγιση των ιδιοτήτων που εξαρτώνται από το μέγεθος.

1.5.3.3 Εργαλεία και Όργανα

Η μεγάλη ιδέα «Εργαλεία και Όργανα» συνδέεται άμεσα με την μεγάλη ιδέα «Μέγεθος και κλίμακα», καθώς συμβάλει στην διάκριση της κλίμακας, μέσα από την σύνδεση κάθε επιπέδου της [Μακρο-, Μικρο-, Νανο-] με καθένα από τα όργανα παρατήρησης [μάτια, οπτικό, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο αντίστοιχα] (Stevens et al., 2009). Στη διδακτική παρέμβαση η κατανόηση των «κόσμων» πραγματοποιήθηκε ταυτόχρονα και μέσω της προσέγγισης των οργάνων παρατήρησης.

Σχεδιαστική Αρχή 5:

Η μεγάλη ιδέα «εργαλεία και όργανα» ως μέσο για την προσέγγιση της *Μεγάλης Ιδέας* «μέγεθος και κλίμακα».

1.5.3.4 Μοντέλα και προσομοιώσεις

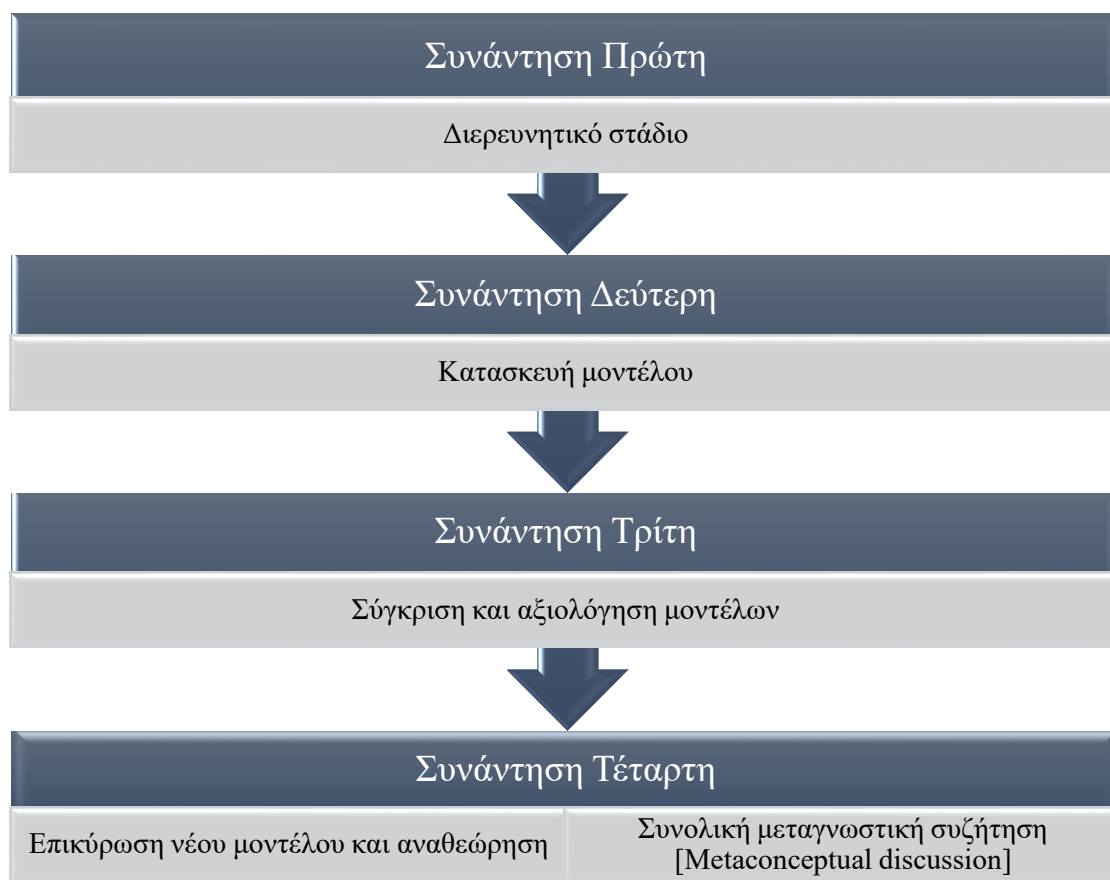
Η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων μπορεί να συμβάλει στην κατανόηση του περιεχομένου εννοιών της φυσικής (Zoupidis et al., 2010· Schwarz και White, 2005). Οι Schwartz et al. (2009) για την διδασκαλία φαινομένων μη ορατών με γυμνό μάτι, προτείνουν την εμπλοκή των μαθητών σε διαδικασίες μοντελοποίησης και την απόκτηση επιστημολογικής επάρκειας για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Παρομοίως οι Wisner και Smith (2008) υποστηρίζουν ότι απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση της ατομικής - μοριακής θεωρίας αποτελεί και η επιστημολογική κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Ενώ οι Wansom et al. (2009) ότι η μοντελοποίηση και τα μοντέλα είναι καταλυτικής σημασίας στην κατανόηση εννοιών που αφορούν τη N-ET.

Στη παρούσα έρευνα η Μεγάλη ιδέα «Μοντέλα και προσομοιώσεις» έλαβε κεντρικό ρόλο. Οι μαθητές δεν έχουν αισθητηριακή αντίληψη του μικρο- και νανο-κόσμου (Tretter, Jones, Andre, et al., 2006) και επομένως η χρήση μοντέλων συμβάλει στη προσέγγιση και την αισθητοποίηση στοιχείων αυτού, που διαφορετικά θα ήταν δύσκολο να προσεγγισθούν (Crawford & Cullin, 2004). Βασικότερη επιδίωξή της παρούσας έρευνας ήταν οι μαθητές, συλλέγοντας δεδομένα για τη δομή στο μικρο- και νανο-κόσμο να κατασκευάσουν μοντέλα που να εξηγούν το φαινόμενο του Λωτού, όπως αυτό παρατηρείται στο μακρόκοσμο και ταυτόχρονα το μοντέλο τους να έχει τη δυνατότητα να προβλέψει φαινόμενα ίδιας κλάσης, όπως παραδείγματος χάριν το φαινόμενο της υδροφοβικότητας του τριαντάφυλλου.

Σχεδιαστική Αρχή 6

Η εμπλοκή σε πρακτικές μοντελοποίησης και η απόκτηση επιστημολογικής επάρκειας για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων μπορεί να συμβάλει στην κατανόηση των εννοιών της N-ET που προσεγγίσθηκαν στη διδακτική παρέμβαση.

2.4 Η Διδακτική παρέμβαση



Σχήμα 4: Η διδακτική παρέμβαση

Η διδακτική παρέμβαση πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις δίωρες συναντήσεις, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1. Αναλυτικότερα, στην πρώτη συνάντηση αρχικά πραγματοποιήθηκε εισαγωγή στο φαινόμενο του λωτού παρουσιάζοντας στους μαθητές ένα μονόλεπτο βίντεο με τεχνολογικές εφαρμογές της υδροφοβικότητας. Ζητήθηκε από τους μαθητές να περιγράψουν πώς πιστεύουν ότι οι επιστήμονες εμπνεύστηκαν την δημιουργία αυτής της τεχνολογικής εφαρμογής. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αναφορά στο ότι οι επιστήμονες βασίστηκαν στον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται κάποια υλικά του περιβάλλοντος, π.χ. τα υδροφοβα φυτά. Οι μαθητές, ως μικροί επιστήμονες κλήθηκαν να μελετήσουν πώς συμπεριφέρονται οι σταγόνες σε διάφορα φύλλα φυτών και να βρουν έναν τρόπο να εξηγήσουν αυτήν την συμπεριφορά – να κατασκευάσουν δηλαδή ένα μοντέλο.

Στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας της μοντελοποίησης, οι μαθητές ενεπλάκησαν σε διερευνητικές διεργασίες πειραματισμού και παρατήρησης. Πιο συγκεκριμένα, μέσα από πειράματα για τα πρώτα τρία φύλλα [Real World experiments] και την παρακολούθηση βίντεο για το λωτό [λόγω μη δυνατότητας εύρεσης του φυτού], ανά ομάδες των πέντε διερεύνησαν τον τρόπο που συμπεριφέρεται η σταγόνα νερού σε τέσσερα διαφορετικά είδη φύλλων – δύο υδρόφιλων [μαρούλι, σπανάκι] και δύο υδρόφοβων [λάχανο, λωτός] και να ομαδοποιήσουν τα δεδομένα που συνέλλεξαν. Στη συνέχεια, ζητήθηκε από τους μαθητές, αφού συζητήσουν με την ομάδα τους, να δώσουν μία εξήγηση για την αιτία της συμπεριφοράς της σταγόνας [βλέπε παράρτημα, φύλλο εργασίας, πρώτη συνάντηση, δραστηριότητα 1].

Στο σημείο αυτό, και καθώς οι απαντήσεις των μαθητών, όπως ήταν αναμενόμενο, δεν σχετίζονταν, με τις ιδιότητες των φύλλων στη μικρο- και νανο-δομή τους, αλλά με μακροσκοπικά χαρακτηριστικά, όπως το σχήμα του φύλλου και η υφή του, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή στην κλίμακα. Δόθηκε στους μαθητές η εικόνα από ένα μυρμήγκι, όπως παρατηρείται με τα μάτια και ζητήθηκε από τους μαθητές να αναφέρουν την μικρότερη λεπτομέρεια που παρατηρούν. Στη συνέχεια έπρεπε να αναφέρουν αν μπορούν να φανταστούν λεπτομέρειες στην επιφάνεια του μυρμηγκιού που δεν μπορούν να τις δουν με γυμνό μάτι. Έπειτα, τους δόθηκαν άλλες δύο εικόνες του μυρμηγκιού, η μία από το οπτικό και η άλλη από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και ζητήθηκε από τους μαθητές να συγκρίνουν την ακρίβεια αυτών των εικόνων με την προηγούμενη αλλά και μεταξύ τους.

Στην συνέχεια, με σκοπό οι μαθητές να μελετήσουν πώς μπορούμε να δούμε αυτές τις λεπτομέρειες του μυρμηγκιού που δεν είναι ορατές με γυμνό μάτι, μοιράστηκε ανά ομάδα ένα φύλλο με πληροφορίες για τα μικροσκόπια. Σε αυτό το σημείο χρησιμοποιώντας το φαινόμενο της ίωσης και με βάση τα όργανα πραγματοποιήθηκε

η εισαγωγή στο μέγεθος και στην κλίμακα [βλέπε παράρτημα, φύλλο εργασίας, πρώτη συνάντηση, δραστηριότητα δεύτερη].

Η δραστηριότητα αυτή αποσκοπούσε στην ομαλότερη μετάβαση των μαθητών στην αναζήτηση στοιχείων που βρίσκονται στο μικρόκοσμο και στο νανόκοσμο και κατ' επέκταση στη καθοδήγησή τους στην διατύπωση εξηγήσεων της συμπεριφοράς της σταγόνας στα διαφορετικά φύλλα.

Με σκοπό οι μαθητές να ελέγξουν τις υποθέσεις που διατύπωσαν σχετικά με την αιτία της διαφορετικής συμπεριφοράς της σταγόνας νερού, τους δόθηκαν για δύο φύλλα [μαρούλι και λωτός] εικόνες της μικρο- και νανο-δομής τους, όπως αυτές φαίνονται από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Οι μαθητές κλήθηκαν να ομαδοποιήσουν και να συνδέσουν τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις τους από τα πειράματα με τα νέα δεδομένα που τους δόθηκαν, δηλαδή τις εικόνες της μικρο- και νανο-δομής από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Ο απώτερος σκοπός όλης αυτής της διαδικασίας ήταν η εξαγωγή κανόνα, δηλαδή μίας γενίκευσης, για τις ιδιότητες που παρουσιάζουν τα υλικά στο μακρόκοσμο και την σχέση τους με την μικρο- και νανο-δομή τους [βλέπε παράρτημα, φύλλο εργασίας, πρώτη συνάντηση, δραστηριότητα τρίτη]. Η εξαγωγή κανόνα αποτέλεσε θεμελιακό βήμα για την μετέπειτα κατασκευή του επιστημονικού μοντέλου από τους μαθητές.

Στη δεύτερη συνάντηση με τους μαθητές ξεκίνησε η διαδικασία οικοδόμησης του μοντέλου. Πριν την οικοδόμηση ενός μοντέλου καθορίστηκε τι εννοούμε με την έννοια «επιστημονικό μοντέλο», ποιος είναι ο σκοπός του, να έχει αποφασιστεί ποια ήταν τα στοιχεία [αντικείμενα, μεταβλητές, διαδικασίες και αλληλεπιδράσεις] που ήταν σημαντικά τα περιλαμβάνονται σε ένα επιστημονικό μοντέλο. Για τον λόγο αυτό, αρχικά πραγματοποιήθηκε μία σύντομη ανάδειξη των ιδεών των μαθητών αναφορικά

με το τι αποτελεί επιστημονικό μοντέλο και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ρητή προσέγγιση της έννοιας.

Επιπλέον, πριν την εύρεση των στοιχείων που θα συμπεριλάμβαναν στο δικό τους μοντέλο, προηγήθηκε εξοικείωση των μαθητών στην αναγνώριση των στοιχείων ενός μοντέλου, με τη παρουσίαση ενός άλλου επιστημονικού μοντέλου για το αναπνευστικό σύστημα, στο οποίο κλήθηκαν να αναγνωρίσουν ομαδικά τα στοιχεία και στη συνέχεια οι επιλογές τους συζητήθηκαν συνολικά στην τάξη. Μετά την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, οι μαθητές προχώρησαν στην επιλογή των στοιχείων του φαινομένου, που θα συμπεριλάμβαναν στο δικό τους μοντέλο για την υδροφοβικότητα και την υδροφιλικότητα των φύλλων [βλέπε παράρτημα, φύλλο εργασίας, δεύτερη συνάντηση δραστηριότητα τέταρτη].

Στη συνέχεια, οι μαθητές κλήθηκαν να κατασκευάσουν ανά ομάδα τα μοντέλα τους, χρησιμοποιώντας τον κανόνα που έβγαλαν, τα στοιχεία που επέλεξαν να συμπεριλάβουν στο μοντέλο και σκεπτόμενοι το σκοπό που πρέπει να επιτελεί το μοντέλο τους. Στους μαθητές δόθηκαν διαφορετικά υλικά, π.χ. χαρτί, μολύβι, πλαστελίνη, φελιζόλ κλπ., με σκοπό να κατασκευάσουν όποιας μορφής μοντέλα επιθυμούν, π.χ. απτά, εικονικά, δισδιάστατα, τριδιάστατα, κλπ. [βλέπε παράρτημα, φύλλο εργασίας, δεύτερη συνάντηση, δραστηριότητα πέμπτη].

Στην τρίτη συνάντηση και αφού είχε ολοκληρωθεί η κατασκευή των μοντέλων, οι μαθητές συνέκριναν και αξιολόγησαν, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια, το μοντέλο τους σε σχέση με ένα υπάρχον μοντέλο (κατασκευασμένο από την εκπαιδευτικό) και διέκριναν τα σημεία στα οποία πιθανόν να υστερούσε το μοντέλο τους, π.χ., στην αναπαραστατική του πληρότητα ή στην επεξηγηματική του ικανότητα. Οι μαθητές κλήθηκαν να αποφασίσουν τι θα τροποποιούσαν στο μοντέλο τους. Η διαδικασία αυτή οδήγησε τους μαθητές στην πρώτη αναθεώρηση του μοντέλου τους [Revision] και κατ'

επέκταση σε κατασκευαστικές ή επεξηγηματικές τροποποιήσεις [βλέπε παράρτημα, φύλλο εργασίας, τρίτη συνάντηση, δραστηριότητα έκτη και έβδομη].



Εικόνα 2: Μοντέλο μαθητών πριν την επικύρωση. Περιλαμβάνεται η αναπαράσταση του μακρόκοσμου, μικρόκοσμου και νανόκοσμου για το φύλλα του μαρουλιού και του λάχανου και η επεξήγηση της συμπεριφοράς της σταγόνας σε κάθε επιφάνεια.



Εικόνα 3: Μοντέλο μαθητών μετά τη διαδικασία της επικύρωσης. Τροποποίηση της αναπαράστασης, ώστε να συμπεριλαμβάνει την μάκρο, μικρο και νάνο δομή του φύλλου του τριαντάφυλλου. Βελτίωση της επεξήγησης της λειτουργίας των επιφανειών, ώστε να προβλέπεται η συμπεριφορά της σταγόνας και στο πέταλο του τριαντάφυλλου.

Στην τέταρτη συνάντηση οι μαθητές κλήθηκαν να επικυρώσουν το μοντέλο τους εφαρμόζοντάς το σε νέο φαινόμενο ίδιας κλάσης με το υπό μελέτη φαινόμενο (ανάπτυξη μοντέλου, βλέπε κεφάλαιο 1.2.3). Στο σημείο αυτό, επιλέχθηκε οι μαθητές να ασχοληθούν με το πέταλο του τριαντάφυλλου, που επίσης χαρακτηρίζεται από υδροφοβικότητα. Όμως, το συγκεκριμένο πέταλο, ενώ διαθέτει νανο-προεξοχές, διαφοροποιείται ως προς την μικρο-δομή του από το λωτό και το λάχανο, καθώς τα μικρο-εξογκώματά του βρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις και έχουν μικρότερο ύψος από αυτά του λωτού. Αποτέλεσμα αυτής της διαφοροποίησης είναι η σταγόνα του νερού να αποκτά ένα έντονα σφαιρικό σχήμα και να στέκεται χωρίς να κυλά στο πέταλο, σε αντίθεση με το φύλλο λάχανου και λωτού, στα οποία το σχήμα της σταγόνας είναι λιγότερο σφαιρικό και κυλά γρήγορα πάνω στο φύλλο.

Αρχικά, δόθηκαν στους μαθητές εικόνες της μικρο- και νανο-δομής του πέταλου τριαντάφυλλου και τους ζητήθηκε με βάση το μοντέλο που κατασκεύασαν να προβλέψουν την συμπεριφορά της σταγόνας. Στην συνέχεια, για να ελέγξουν οι μαθητές την υπόθεσή τους πραγματοποίησαν πείραμα με το πέταλο του τριαντάφυλλου και κλήθηκαν να αποφασίσουν αν όντως το μοντέλο τους κατάφερε να προβλέψει σωστά την συμπεριφορά της σταγόνας. Καθώς οι μαθητές αποφάσισαν ότι το μοντέλο τους, ενώ μπορεί να εξηγήσει το σχήμα της σταγόνας, δεν μπορεί να εξηγήσει την κίνησή της, χρειάστηκε να επιστρέψουν στα δεδομένα τους (βλέπε κύκλο μοντελοποίησης κεφάλαιο 1.2.3). Δόθηκε στους μαθητές ένας πίνακας με εικόνες της μικρο- και νανο-δομής του τριαντάφυλλου και του λωτού από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και τους ζητήθηκε να παρατηρήσουν προσεκτικά και να αποφασίσουν για τις ομοιότητες και τις διαφορές που παρατηρούν.

Τη διαδικασία επιστροφής στα δεδομένα, ελέγχου και σύγκρισης τους ακολούθησε η εξαγωγή του δεύτερου κανόνα, αναφορικά με τα φύλλα που παρουσιάζουν παρόμοια

δομή με αυτή του τριαντάφυλλου. Η εξαγωγή του δεύτερου κανόνα οδήγησε στην εύλογη απορία «τι πρέπει να κάνουμε τώρα που αποκτήσαμε νέα δεδομένα και το μοντέλο μας δεν καταφέρνει να εξηγήσει;». Οι μαθητές αποφάσισαν να τροποποιήσουν το μοντέλο τους βελτιώνοντας την αναπαραστατική και την επεξηγηματική του ικανότητα, ώστε να έχει εφαρμογή και στο φαινόμενο του τριαντάφυλλου [βλέπε παράρτημα, φύλλο εργασίας, τρίτη συνάντηση, δραστηριότητα όγδοη].

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ένας συνολικός αναστοχαστικός διάλογος, σχετικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων.

2.5 Μέσα συλλογής δεδομένων

Τα ερευνητικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες με βάση το σκοπό της χρήσης τους. Αναλυτικότερα, είναι 1) τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των γνωστικών ικανοτήτων και συγκεκριμένα των εκτελεστικών λειτουργιών που ενδιαφέρουν την έρευνα, δηλαδή της αναστολής, της ανανέωσης της μνήμης εργασίας και της εναλλαγής των μαθητών με τη χρήση ψυχομετρικών εργαλείων, καθώς και 2) τα ερωτηματολόγια – διαγνωστικά δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων καθώς και του περιεχομένου της N-ET.

2.5.1 Ψυχομετρικά εργαλεία

Στην παρούσα έρευνα, τα έργα μέτρησης των εκτελεστικών λειτουργιών και της νοητικής ικανότητας των συμμετεχόντων κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος E-Prime, στη βάση γνωστών έργων εκτελεστικών λειτουργιών και του Standard Progressive Matrices του Raven. Όλα τα έργα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα κατασκευάστηκαν στο πλαίσιο των ερευνητικών προγραμμάτων των

μαθημάτων της Εξελικτικής και Γνωστικής Ψυχολογίας με υπεύθυνο τον καθηγητή Δ. Πνευματικό.

2.5.1.1 Μέτρηση νοητικής ικανότητας.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μέτρηση της νοητικής ικανότητας των μαθητών με την χρήση του μη λεκτικού τεστ Standard Progressive Matrices του Raven, που βασίζεται στη λογική των αναλογιών για την εξαγωγή λογικών συμπερασμάτων (Court & Raven, 1985 ·Penrose & Raven, 1936· Raven, 2000). Ο σκοπός της χρήσης του τεστ ήταν να επιβεβαιωθούν τα ευρήματα προηγούμενων ερευνών που υποστηρίζουν ότι η μεταβλητή νοητική ικανότητα έχει μικρότερη προβλεπτική ικανότητα της Εννοιολογικής αλλαγής σε σχέση με τις επιδόσεις στις εκτελεστικές λειτουργίες (Vosniadou et al., 2015· Zaitchik et al., 2013). Έρευνες (Blair & Razza, 2007) υποστηρίζουν ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες σχετίζονται με την σχολική ετοιμότητα περισσότερο απ' ό τι σχετίζεται η νοητική ικανότητα.

Ταυτόχρονα, υποστηρίζεται από την έρευνα των Miyake et al. (2000) ότι η εκτελεστική λειτουργία της ανανέωσης της μνήμης εργασίας [updating] και η νοητική ικανότητα εμφανίζουν μέτρια συσχέτιση. Επομένως, θεωρείται σημαντική τη μέτρηση της νοητικής ικανότητας, ώστε να πραγματοποιηθεί και στατιστική ανάλυση στην οποία ο παράγοντας νοητική ικανότητα θα αφαιρεθεί [partialed out] κατά την μέτρηση της εμπλοκής της εκτελεστικής λειτουργίας της ανανέωσης της μνήμης εργασίας στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων, ώστε η μέτρηση να είναι πιο έγκυρη. Το Raven's test έχει σταθμιστεί σε διάφορες ηλικιακές ομάδες αλλά και σε διαφορετικές εθνικότητες (Raven, 2000).

Η στάθμιση στον ελληνικό πληθυσμό πραγματοποιήθηκε από τη ΜΟΤΙΒΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ, με επιστημονικούς υπεύθυνους τους Σιδερίδη, Αντωνίου, Μουζάκη

και Σίμο (2015). Η μελέτη στάθμισης του Raven βασίστηκε στην πιο σύγχρονη Βρετανική έκδοση (Raven & Raven, 2004) κατόπιν προσαρμογής κι εκτεταμένης πιλοτικής μελέτης σε ελληνικό πληθυσμό. Το δείγμα συμπεριέλαβε 1001 παιδιά και των δύο φύλων, 4 – 12 ετών, προερχόμενα από 13 γεωγραφικά διαμερίσματα και από 8 διαφορετικές ομάδες εκπαιδευτικού επιπέδου των γονέων.

«**Raven**»: Το έργο που χρησιμοποιήθηκε αποτελεί μία υπολογιστική έκδοση του τεστ νοητικής ικανότητας που κατασκευάστηκε από τους Penrose & Raven (1936). Το έργο αυτό δεν περιλαμβάνει κάποια φάση εξοικείωσης του μαθητή. Αντίθετα, περιλαμβάνει την κανονική δοκιμασία που αποτελείται από 36 γύρους. Σε κάθε γύρο εμφανίζεται στην οθόνη ένα σχέδιο από το οποίο είχε αφαιρεθεί ένα κομμάτι. Κάτω από αυτό το σχέδιο δίνονται έξι κομμάτια – πιθανές επιλογές. Όλες οι επιλογές ταιριάζουν στο μέγεθος αλλά μόνο μια είναι αυτή που συμπληρώνει σωστά τα σχέδιο. Το έργο κατασκευάστηκε, ώστε καθώς προχωρούσαν οι γύροι να γίνονται όλο και πιο απαιτητικοί. Το έργο αυτό μετρά το σκορ των σωστών απαντήσεων.

2.5.1.2 Μέτρηση των εκτελεστικών λειτουργιών

2.5.1.2.1 Αναστολή

Για την μέτρηση της αναστολής πραγματοποιήθηκαν δύο έργα αναστολής. Το anti-saccade task, το οποίο επικεντρώνεται στην ακρίβεια [Accuracy] του ανασταλτικού ελέγχου, αποτελεί ένα απαιτητικό έργο αναστολής και ένα αξιόπιστο και “ευαίσθητο” ψυχομετρικό εργαλείο (Hutton & Ettinger, 2006). Το έργο αυτό απαιτεί οφθαλμολογική αναστολή (Oculomotor), δηλαδή την αναστολή των αυτόματων σακκαδικών κινήσεων (effortful suppression of reflexive saccade). Σε Έλληνες μαθητές έχει χρησιμοποιηθεί και σε μία πρόσφατη έρευνα των Pnevmatikos και Trikkaliotis (2013) σε μαθητές Δημοτικού, ανάμεσα στους οποίους και μαθητές της ΣΤ΄ τάξης Δημοτικού ηλικίας 11-12 ετών. Οι

Friedman et al. (2006) στην έρευνά τους χρησιμοποίησαν διδύμους και βρήκαν ότι το έργο έχει υψηλή εγκυρότητα [.9].

«Βλέπω στην απέναντι πλευρά»: Η έκδοση του anti-saccade που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα αποτελείται από 15 δοκιμασίες εξάσκησης και 60 δοκιμασίες στην κανονική εκτέλεση του. Κατά την πραγματοποίηση των δοκιμασιών, ο μαθητής είναι σε απόσταση 45 εκ. από την οθόνη του υπολογιστή, με διαγώνιο 39,6 εκατοστά. Η διαδικασία ξεκινά με ένα αρχικό οπτικό ερέθισμα, έναν μαύρο σταυρό, το οποίο αποτελεί σταθερό οπτικό σημείο και εμφανίζεται με την έναρξη κάθε καινούριας δοκιμασίας. Το σταθερό σημείο χάνεται από την οθόνη και την ίδια στιγμή, με τυχαίο τρόπο, εμφανίζεται στην αριστερά ή δεξιά πλευρά της οθόνης ένα μαύρο συμπαγές τετράγωνο, που μένει σταθερό για 225 ms και αποτελεί το ενδιάμεσο ερέθισμα (pro-saccade).

Στη συνέχεια, στην απέναντι πλευρά της οθόνης (από αυτή του μαύρου τετράγωνου) εμφανίζεται το ερέθισμα στόχος (anti-saccade), που είναι ένα βέλος μαύρου χρώματος μέσα σε ένα τετράγωνο μαύρου περιγράμματος. Το βέλος μπορεί να έχει τέσσερις διαφορετικές κατευθύνσεις, πάνω, κάτω, αριστερά ή δεξιά και παραμένει στην οθόνη για 150 ms. Μετά το πέρας αυτών των δευτερολέπτων το βέλος καλύπτεται από ένα ασπρόμαυρο πλέγμα, με αποτέλεσμα να μην είναι πια διακριτό.

Καθώς το anti-saccade ελέγχει την αυτόματη οφθαλμική κίνηση και μετρά μόνο την ακρίβεια του ανασταλτικού ελέγχου, χρησιμοποιήθηκε κι ακόμη ένα έργο μορφής Stroop «Χρώμα λέξης» (1935), το οποίο πέρα από την ακρίβεια μετρά και το χρόνο αντίδρασης των μαθητών. Το έργο αυτό απαιτεί γνωστική αναστολή (Cognitive inhibition), δηλαδή έλεγχο της παρεμβολής ανταγωνιστικού ερεθίσματος και καταστολή από την εργαζόμενη μνήμη των μη επιθυμητών πληροφοριών (interference control). Το έργο αυτό έχει τροποποιηθεί και χρησιμοποιηθεί σε Έλληνες μαθητές ηλικίας 8, 10 και 12 ετών στην

έρευνα της Κρετσοβάλη (2016), αναφορικά με τη διακύμανση στις επιδόσεις Ε.Λ εντός του σχολικού ωραρίου και σε εντεκάχρονους μαθητές στην έρευνα της Κοντολέων (2015), για την διερεύνηση της επίδρασης της νηστείας στις επιδόσεις στα έργα Ε.Λ.

«Χρώμα λέξης»- Stroop type task: Το έργο «Χρώμα λέξης» βασίζεται στο έργο Stroop task (Stroop, 1935) που ελέγχει την αναστολή. Επιπλέον, η λογική του έργου είναι σύμφωνη με αυτήν των έργων των van der Sluis et al. (2007). Το έργο αποτελείται από τρεις γύρους, δύο εξοικείωσης με το περιβάλλον και έναν της κανονικής δοκιμασίας. Τα ερεθίσματα ήταν λέξεις τεσσάρων γνωστών χρωμάτων (πράσινο, κίτρινο, γαλάζιο, κόκκινο), που ταυτόχρονα ήταν βαμμένες με ένα από αυτά τα τέσσερα χρώματα. Το έργο απαιτεί την αναστολή της αυθόρμητης τάσης δήλωσης της λέξης με βάση το χρώμα που γράφει και ταυτόχρονα, απαιτεί την δήλωση του χρώματος που η λέξη είναι βαμμένη.

Ο πρώτος γύρος εξοικείωσης αποτελείται από 20 δοκιμασίες. Στον γύρο αυτό εμφανίζεται αρχικά ένας σταυρός στο κέντρο της οθόνης που λειτουργεί υποβοηθητικά στη συγκέντρωση του βλέμματος (fixation point) για 1000 ms με 2000 ms και στη συνέχεια εμφανίζονται στην οθόνη τέσσερα χρωματισμένα πλαίσια ορθογωνίων, τα οποία εμφανίζονταν όλα μαζί στη οθόνη πάντα με την ίδια διάταξη. Κάθε φορά, ένα από αυτά τα πλαίσια «ανάβει» και ο συμμετέχων πρέπει να το δηλώσει όσο πιο γρήγορα μπορεί πατώντας το αντίστοιχο πλήκτρο για κάθε πλαίσιο. Δηλαδή, το F για το κόκκινο πλαίσιο, G για το κίτρινο πλαίσιο, K για το πράσινο πλαίσιο και το L για το γαλάζιο πλαίσιο. Ο δεύτερος γύρος εξοικείωσης αποτελείται από 15 δοκιμασίες. Η διαφορά με τον προηγούμενο γύρο είναι ότι μέσα σε αυτά τα πλαίσια τώρα εμφανίζεται και το ερέθισμα – λέξη. Το πλαίσιο και πάλι «ανάβει» αλλά ο συμμετέχων πρέπει να πατήσει το πλήκτρο με το χρώμα που είναι βαμμένη η λέξη μέσα στο πλαίσιο, όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Το ερέθισμα παρέμενε για 1200 ms. Ο τρίτος γύρος, αυτός της κανονικής δοκιμασίας, είναι όμοιος με το δεύτερο, αλλά αποτελείται από 50

δοκιμασίες, 20 με συμβατές συνθήκες λέξης - χρώματος, 20 ασύμβατες συνθήκες λέξης - χρώματος και 10 ουδέτερες συνθήκες.

Το έργο αυτό μετρά τόσο την ακρίβεια στις τρεις συνθήκες όσο και το χρόνο απόκρισης σε αυτές. Σημαντική είναι η μέτρηση της διαφοράς στο χρόνο απόκρισης μεταξύ συμβατών και μη συμβατών συνθηκών (stroop effect).

2.5.1.2.2 Εναλλαγή

«**Χρώμα ή Λέξη**»: Το έργο αυτό είναι εμπνευσμένο από το έργο Local-Global (Navon, 1977) και το έργο Number – Letter (Miyake et al. 2000). Στο έργο αυτό, η οθόνη είναι χωρισμένη σε τέσσερα τεταρτημόρια. Το ερέθισμα αποτελεί μία λέξη που αναφέρεται σε ένα από τα τέσσερα χρώματα κίτρινο, κόκκινο, γαλάζιο, πράσινο και ταυτόχρονα είναι βαμμένη με ένα από αυτά τα χρώματα. Το έργο αποτελείται από τρεις γύρους. Δύο γύρους εκμάθησης των δυο διαφορετικών κανόνων, δηλαδή στον πρώτο γύρο μαθαίνουν ότι όταν η λέξη βρίσκεται στα πάνω δύο τεταρτημόρια τότε δηλώνεται το χρώμα που είναι βαμμένη η λέξη, ενώ στο δεύτερο γύρο μαθαίνουν ότι όταν η λέξη είναι γραμμένη στα δύο κάτω τεταρτημόρια τότε δηλώνεται το χρώμα που γράφει η λέξη. Πριν από κάθε γύρο εκμάθησης των 16 προσπαθειών, υπήρχε κι ένας γύρος εξοικείωσης των 12 προσπαθειών.

Στην συνέχεια ακολουθεί ένα γύρος εξοικείωσης 16 προσπαθειών με το συνδυασμό των κανόνων και τέλος, ο τρίτος γύρος, η κανονική δοκιμασία, που αποτελείται από 64 προσπάθειες. Σε αυτούς τους γύρους το ερέθισμα-λέξη εμφανίζεται κυκλικά και στα τέσσερα τεταρτημόρια, με αποτέλεσμα να απαιτείται η ενεργοποίηση και των δύο κανόνων και η εναλλαγή ανάμεσά τους στο πέρασμα από το 2^ο στο 3^ο τεταρτημόριο και από το 4^ο στο 1^ο. Τα πλήκτρα που χρησιμοποιούνται για τη δήλωση της απάντησης είναι τα F για το κόκκινο, G για το κίτρινο, K για το πράσινο και το L για το γαλάζιο. Η σειρά των χρωμάτων-πλήκτρων παρέμενε στο κάτω μέρος της οθόνης

υποβοηθητικά, σε περίπτωση που κάποιος μαθητής ξεχάσει ποιο πλήκτρο αντιστοιχεί σε ποιο χρώμα. Το ερέθισμα-λέξη παρέμενε στην οθόνη μέχρι την απόκριση του συμμετέχοντα. Κάθε επόμενο ερέθισμα εμφανιζόταν μετά από 150 ms.

Το έργο καταμετρά την ακρίβεια τόσο σε συνθήκες που απαιτούν εναλλαγή κανόνα όσο και σε συνθήκες που δεν απαιτούν εναλλαγή κανόνα, ενώ συνυπολογίζεται και ο χρόνος αντίδρασης. Πιο συγκεκριμένα, αναφορικά με το χρόνο αντίδρασης, δίνεται έμφαση στη διαφορά στο χρόνο αντίδρασης ανάμεσα στους δύο πρώτους γύρους που δεν απαιτείται εναλλαγή και στον τελευταίο που απαιτείται, καθώς και στο κόστος στο χρόνο αντίδρασης στην αλλαγή του κανόνα από το 2^ο στο 3^ο τεταρτημόριο και από το 4^ο στο 1^ο, αλλά και τη διαφορά στο χρόνο αντίδρασης στον τελευταίο γύρο ανάμεσα στα ερεθίσματα που χρειάζονταν διατήρηση και ανάμεσα σε αυτά που χρειάζονταν αλλαγή κανόνα. Η αύξηση της τιμής του χρόνου αντίδρασης σε αυτές τις περιπτώσεις που απαιτούνταν η ικανότητα της εναλλαγής, σημαίνει μειωμένη επίδοση στο έργο.

«Χρώμα- Σχήμα»: Το έργο «Χρώμα-Σχήμα» βασίζεται στο Color-Shape task των Zelazo, Craik & Booth (2004). Στο έργο αυτό, στο πάνω μέρος της οθόνης υπάρχουν σταθερά τέσσερα χρωματισμένα σχήματα που αντιστοιχούν σε τέσσερα γράμματα του πληκτρολογίου, κόκκινο τετράγωνο-F, κίτρινο τρίγωνο-G, πράσινος κύκλος-K και μπλε ρόμβος-L. Σε κάθε δοκιμασία, κάτω από αυτά τα σχήματα εμφανίζεται ένα άλλο χρωματισμένο σχήμα (οποιοδήποτε συνδυασμού χρώματος – σχήματος) και κάτω από αυτό υπήρχε κάθε φορά είτε το γράμμα «Z» είτε το «Y». Όταν εμφανίζεται το γράμμα «Z» τότε πρέπει να δηλωθεί το σχήμα, ενώ όταν εμφανίζεται το γράμμα «Y» τότε πρέπει να δηλωθεί το χρώμα που αντιστοιχεί στο σχήμα που δίνεται.

Το έργο έχει έναν γύρο εξοικείωσης με 20 δοκιμασίες, όπου αν οι σωστές απαντήσεις είναι τουλάχιστον οι μισές, τότε επιτρέπει στο συμμετέχοντα να περάσει στο γύρο της κανονικής δοκιμασίας. Αυτός αποτελείται από 50 δοκιμασίες, από τις

οποίες οι 40 ακολουθούν έναν κανόνα, χρώμα ή σχήμα και άλλες 10 που εμφανίζονται ανάμεσα στις 40, που ακολουθούν τον άλλον κανόνα. Κάθε επόμενη δοκιμασία ξεκινά αφότου ο συμμετέχων απαντήσει σωστά.

Στο συγκεκριμένο έργο γίνεται υπολογισμός των λαθών διατήρησης (perseverative Errors) του κανόνα, δηλαδή των λαθών απόκρισης που οφείλονται στην διατήρηση του αντίθετου κανόνα (π.χ. σχήμα αντί για χρώμα) και των λαθών μη διατήρησης του κανόνα (nonperseverative errors), όταν δηλαδή η απόκριση δεν σχετίζεται με το δοθέν σχήμα ή χρώμα. Ακολουθώντας τους Zelazo et al. (2004), χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης $bamp$ (baseline-adjusted measure of perseveration), σύμφωνα με τον οποίο $bamp = perseverative\ errors - \frac{1}{2} non\ perseverative\ errors / 50$ (συνολικός αριθμός των δοκιμασιών). Η μείωση της τιμής που προκύπτει σημαίνει μεγαλύτερη ακρίβεια του συμμετέχοντα, λόγω μειωμένων λαθών.

2.5.1.2.3 *Ανανέωση*

Για την μέτρηση της εκτελεστικής λειτουργίας της ανανέωσης της μνήμης εργασίας χρησιμοποιήθηκε το έργο «2 πίσω με γράμματα» ή αλλιώς N-Back. Το συγκεκριμένο έργο απαιτεί την κωδικοποίηση, την ανανέωση της μνήμης εργασίας και την απόρριψη των πληροφοριών της μνήμης εργασίας κάθε φορά που εμφανίζεται ένα νέο ερέθισμα (Jaeggi et al., 2003). Οι Friedman et al. (2006) στην έρευνά τους, στην οποία χρησιμοποίησαν ως δείγμα διδύμους βρήκαν ότι το έργο 2-back παρουσιάζει υψηλή εγκυρότητα [.91]. Επιπλέον, στην έρευνα των Jaeggi, Buschkuhl, Perrig και Meier (2010) στην οποία πραγματοποιήθηκε έλεγχος της εγκυρότητας του έργου N-back, βρέθηκε υψηλή εγκυρότητα του εργαλείου ως προς την μέτρηση του χρόνου αντίδρασης [RT]. Το παρόν έργο έχει τροποποιηθεί και χρησιμοποιηθεί σε Έλληνες μαθητές ηλικίας 12 ετών στα πλαίσια του ερευνητικού έργου COGMEK, του προγράμματος Θαλής και σε 93 Έλληνες μαθητές Στ' Δημοτικού κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας της Χουντάλα

(2014) για την διερεύνηση της σχέσης εννοιολογικής αλλαγής και των εκτελεστικών λειτουργιών.

«2 πίσω με γράμματα»: Το έργο *N-Back* που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της ανανέωσης της μνήμης εργασίας αποτελείται από την φάση της εξοικείωσης με 8 ερεθίσματα και από την κανονική δοκιμασία των 30 ερεθισμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στο κέντρο της οθόνης εμφανίζεται ένα ερέθισμα για 500ms (ένα από τα τέσσερα γράμματα: Ε, Ο, Κ, Π) και εξαφανίζεται. Μετά το πέρας αυτού του διαστήματος μεσολαβεί ένα κενό διάστημα 2500ms μέχρι την εμφάνιση του επόμενου ερεθίσματος. Αν το γράμμα που υπάρχει μπροστά στην οθόνη είναι το ίδιο με δύο γύρους πριν, τότε ο μαθητής καλείται να πατήσει το πλήκτρο «F» πριν την εμφάνιση του επόμενου ερεθίσματος. Το πάτημα του πλήκτρου «F» ενώ το ερέθισμα δεν έχει εμφανιστεί 2 γύρους πριν, καταγράφεται από το πρόγραμμα ως εσφαλμένη απάντηση. Στο έργο εμφανίζεται 30 ερεθίσματα από τα οποία 10 είναι σωστές αποκρίσεις στο 2- πίσω γράμμα.

2.5.2 Διαγνωστικά δοκίμια

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα ερωτηματολόγια που κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των πεποιθήσεων των μαθητών αναφορικά με την φύση και το ρόλο των μοντέλων, καθώς και για το περιεχόμενο της N-ET. Καθώς, όπως αναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε ο Προπειραματικός ερευνητικός σχεδιασμός, δόθηκε μια αρχική αξιολόγηση στους μαθητές (προ-διαγνωστικό δοκίμιο) και μία τελική αξιολόγηση (μετά- διαγνωστικό δοκίμιο) μετά την διεξαγωγή του πειράματος.

Τα ερωτηματολόγια αποτελούνταν τόσο από ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, με σκοπό την ελεύθερη έκφραση των μαθητών (Cohen et al 2008) όσο και από ερωτήσεις κλειστού τύπου Σωστό/λάθος/δεν ξέρω, καθώς μέσα από τέτοιας μορφής ερωτήσεις

επιτρέπεται στον ερωτώμενο να αντιμετωπίσει και άλλες δυνατότητες που ίσως να μην σκεφτόταν να τις αποτυπώσει αν η ίδια ερώτηση ήταν με τη μορφή ανοιχτού τύπου (Παπαναστασίου και Παπαναστασίου, 2016).

2.5.2.1 Διαγνωστικό δοκίμιο για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων

Το διαγνωστικό δοκίμιο για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων (βλέπε παράρτημα) περιλάμβανε 8 έργα με ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και ένα έργο με 13 ερωτήματα κλειστού τύπου Σωστού/λάθους/δεν ξέρω-δεν απαντώ.

Η διδακτική παρέμβαση, ακολουθώντας το Modeling competence framework [MCF] (Nicolau & Constantinou, 2014·Papaevripidou, 2012), επικεντρώθηκε ως προς την φύση των μοντέλων α) στην αναπαραστατική φύση του μοντέλου β) στην πολλαπλότητα και γ) την μεταβλητότητα των μοντέλων και ως προς το ρόλο των μοντέλων επικεντρώθηκε στην κατανόηση του τριπλού σκοπού του (αναπαράσταση, επεξήγηση, πρόβλεψη). Τα έργα του δοκιμίου, επιλέχθηκαν με σκοπό τον έλεγχο της γνωστικής κατάστασης των μαθητών, ως προς τους επιδιωκόμενους στόχους της διδασκαλίας.

Πιο αναλυτικά, με το έργο EM1 «Περίγραψε πώς καταλαβαίνεις την έννοια επιστημονικό μοντέλο» επιδιώκεται η συλλογή πληροφοριών για τον τρόπο που οι μαθητές νοηματοδοτούν την έννοια του «επιστημονικού μοντέλου». Η ερώτηση που χρησιμοποιήθηκε για την νοηματοδότηση της έννοιας επιστημονικό μοντέλο από τους μαθητές διαφοροποιείται εσκεμμένα από ερωτήσεις όπως «τι σου έρχεται στο μυαλό όταν ακούς τη λέξη μοντέλο;» (Grosslight et al., 1991) ή «Γράψε μία πρόταση, την πιο αντιπροσωπευτική για σένα, που να περιέχει τη λέξη μοντέλο» (Zouridis et al., 2010). Θεωρήθηκε ότι η διατύπωση της ερώτησης με ξεκάθαρη την έννοια «επιστημονικό» θα αποτρέψει τους μαθητές από άσχετες αλλά λογικοφανείς απαντήσεις, που θα οφείλονται στην πολλαπλότητα των εννοιών που συμπεριλαμβάνει η ευρύτερη έννοια

μοντέλο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μορφή ερώτησης των Schwarz και White (2005) οι οποίοι θέτουν την ερώτηση «Μπορείς να μου πεις τι πιστεύεις ότι είναι ένα επιστημονικό μοντέλο;».

Με το έργο EM3 επιδιώκεται η συλλογή πληροφοριών για τις αντιλήψεις και γνώσεις των μαθητών αναφορικά με την πολλαπλότητα των επιστημονικών μοντέλων. Οι αντιλήψεις των μαθητών αναφορικά με την πολλαπλότητα των μοντέλων έχουν διερευνηθεί και από άλλους ερευνητές όπως οι Grosslight et al. (1991), Treagust et al. (2002) και οι Schwarz και White et al. (2005).

Με την ερώτηση EM4 «Πιστεύεις ότι τα αντικείμενα της αναπαράστασης [ο ήλιος-η γη] θα έπρεπε να μοιάζουν περισσότερο με το πώς είναι στη πραγματικότητα ή όχι; Αιτιολόγησε την απάντησή σου», γίνεται προσπάθεια να ερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται τα επιστημονικά μοντέλα μόνο ή κυρίως με βάση τον αναπαραστατικό τους χαρακτήρα, δηλαδή, αν τα θεωρούν μικρογραφίες/αντίγραφα ή αντίθετα αν αντιλαμβάνονται τον επεξηγηματικό και προβλεπτικό τους χαρακτήρα. Η ερώτηση αυτή κατασκευάστηκε από τον ερευνητή. Στη βιβλιογραφία, η διερεύνηση αυτού του ερωτήματος συνήθως δεν πραγματοποιείται ρητά ως ξεχωριστή ερώτηση, αλλά προκύπτει από τις απαντήσεις των μαθητών αναφορικά με το τι θεωρούν μοντέλο (βλέπε Grosslight et al. (1991), Zoupidis et al. (2010), είτε μαζί με την ερώτηση για την νοηματοδότηση των μοντέλων (Soulios & Psillos, 2016), αλλά οι απαντήσεις εντάσσονται στις κατηγορίες που προκύπτουν και από τις δύο ερωτήσεις μαζί.

Με την ερώτηση EM5 «Οι επιστήμονες στο παρελθόν τροποποίησαν μοντέλα που είχαν δημιουργηθεί για να εξηγήσουν το φαινόμενο της μέρας και της νύχτας. Για ποιο λόγο πιστεύεις ότι συνέβη αυτό; Αιτιολόγησε την απάντησή σου» διερευνώνται οι απόψεις των μαθητών αναφορικά με την προσωρινή [tentative] Φύση των μοντέλων. Η ερώτηση αυτή κατασκευάστηκε από τον ερευνητή, ενώ για την αξιολόγηση των

επιπέδων κατανόησης χρησιμοποιήθηκαν τα επίπεδα των Schwarz et al. (2009) με ορισμένες τροποποιήσεις.

Η ερώτηση EM6 είναι εμπνευσμένη από το δοκίμιο της Νικολάου (2010) και της Καρνάου (2015). Η ερώτηση ανιχνεύει το πώς οι μαθητές αντιλαμβάνονται το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων. Μέσω αυτού του ερωτήματος εξετάζεται αν οι μαθητές μπορούν να διακρίνουν τους τρεις σκοπούς των επιστημονικών μοντέλων, την αναπαράσταση, την επεξήγηση και την πρόβλεψη ενός φαινομένου.

Η ερώτηση EM7 «Πιστεύεις ότι αυτή η αναπαράσταση περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για να καταλάβει κάποιος πώς λειτουργεί η αίσθηση της όσφρησης; Αιτιολόγησε την απάντησή σου», έχει εμπνευστεί από τον ερευνητή και αποσκοπεί στην αξιολόγηση εκ μέρους των μαθητών για το αν η αναπαράσταση αυτή είναι πλήρης τόσο σε αναπαραστατικό όσο και σε επεξηγηματικό επίπεδο. Μέσα από αυτήν την ερώτηση μπορεί να διαφανεί: 1. Ποιοι μαθητές αντιλαμβάνονται ότι η αναπαράσταση του μοντέλου πρέπει να διαθέτει τα απαραίτητα στοιχεία (αντικείμενα, μεταβλητές, διαδικασίες) του φαινομένου, ώστε να είναι ολοκληρωμένη 2. Ποιοι μαθητές διαχωρίζουν την επεξήγηση (ή και την πρόβλεψη) από την αναπαράσταση ή από ένα αντίγραφο ή μία μινιατούρα, στην βάση του σκοπού του μοντέλου.

Η ερώτηση EM8 «Θα μπορούσε αυτή η αναπαράσταση να θεωρηθεί ότι αποτελεί **επιστημονικό μοντέλο** για την αίσθηση της όσφρησης; Αιτιολόγησε την απάντησή σου», αξιολογεί την επιστημονική επάρκεια των μαθητών σε σχέση με το ρόλο των μοντέλων. Μέσα από τις απαντήσεις των μαθητών μπορεί να γίνει αντιληπτό αν αντιλαμβάνονται το επιστημονικό μοντέλο στη βάση του σκοπού που επιτελεί, ξεφεύγοντας από την αντίληψη του μοντέλου ως αντίγραφο ή ως απλή αναπαράσταση. Η ερώτηση αυτή είναι εμπνευσμένη από το διαγνωστικό δοκίμιο της Νικολάου (2010) και της Καρνάου (2015).

Πίνακας 5: Διαγνωστικό δοκίμιο για τα επιστημονικά μοντέλα

Έργο	Περιεχόμενο	Στόχος	Έρευνες που ενέπνευσαν την κατασκευή	Έρευνες στις οποίες βασίστηκε η διαμόρφωση επιπέδων
EM1	Νοηματοδότηση του «Επιστημονικού» μοντέλου	Να καταγραφούν οι αντιλήψεις των μαθητών για τον όρο «Επιστημονικό» μοντέλο.	Schwarz & White, 2005	Schwarz και White (2005) Schwarz et al. (2009)
EM2-EM4	Κατανόηση αναπαραστατικής φύσης και σύνδεση με το σκοπό του μοντέλου	Να καταγραφεί ο βαθμός στον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται τα επιστημονικά μοντέλα ως μικρογραφίες/ αντίγραφα ή αντίθετα αν αντιλαμβάνονται τον αναπαραστατικό τους χαρακτήρα και την σύνδεση με τον επεξηγηματικό και προβλεπτικό τους χαρακτήρα.	Ερευνητή	(Grosslight et al., 1991)
EM3	Πολλαπλότητα των επιστημονικών μοντέλων	Να καταγραφούν οι απόψεις των μαθητών αναφορικά με την ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων αλλά και τους λόγους ύπαρξης.	Schwarz & White, 2005	Schwarz και White (2005)
EM5	Τροποποίηση των επιστημονικών μοντέλων	Να καταγραφούν οι αντιλήψεις των μαθητών αναφορικά με τους λόγους που οδηγούν στην τροποποίηση των επιστημονικών μοντέλων.	Ερευνητή	Schwarz et al. (2009)
EM6	Χρησιμότητα – ρόλος των επιστημονικών μοντέλων	Να καταγραφεί η ικανότητα των μαθητών να διακρίνουν τον τριπλό σκοπό των μοντέλων	Καρνάου, 2015 Νικολάου,2010	Καρνάου, (2015) Νικολάου,(2010)
EM7	Αξιολόγηση αναπαραστατικής πληρότητας και επεξηγηματικής ικανότητας	Να καταγραφεί η ικανότητα των μαθητών να αξιολογούν την αναπαραστατική πληρότητα και την επεξηγηματικών ικανότητα του μοντέλου.	Ερευνητή	Constantinou, (1999) Schwarz et al. (2009)
EM8	Αξιολόγηση μοντέλου στην βάση του σκοπού του	Να καταγραφεί η ικανότητα των μαθητών να αξιολογούν με βάση τον τριπλό ρόλο των μοντέλων, αν μία αναπαράσταση αποτελεί μοντέλο.	Καρνάου, 2015 Νικολάου,2010	Καρνάου, (2015) Νικολάου,(2010)

2.5.2.2 Διαγνωστικό δοκίμιο για την N-ET

Η διδακτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε περιλαμβάνει τέσσερις Μεγάλες Ιδέες (Stevens et al., 2009) της N-ET: α) το μέγεθος β) τα εργαλεία και όργανα γ) τις ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος δ) τα μοντέλα. Το κάθε έργο του ερωτηματολογίου σχεδιάστηκε με σκοπό να ελέγχει τις γνώσεις και αντιλήψεις των μαθητών πάνω σε αυτές τις τέσσερις μεγάλες ιδέες.

Πιο συγκεκριμένα, η ερώτηση EN1: «Υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που βλέπουμε με τα μάτια μας; Αν ναι, πώς μπορούμε να τα δούμε;» σχετίζεται με την Μεγάλη Ιδέα «μέγεθος» ανιχνεύει κατά πόσο οι μαθητές θεωρούν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που μπορούμε να δούμε με τα μάτια μας, καθώς και τον τρόπο που αυτά είναι ορατά. Παρόμοιες ερωτήσεις έχουν πραγματοποιηθεί και σε άλλες έρευνες που σχετίζονται με τις ιδέες των μαθητών αναφορικά με το μέγεθος (Πέικος, 2015· Stevens et al., 2009· Waldron 2006).

Το έργο EN2 αποτελεί αντιστοίχιση των τριών κόσμων [μακρο-, μικρο-, νανο-] στα αντίστοιχα όργανα παρατήρησης και τα αντίστοιχα αντικείμενα αναφοράς. Το παρόν έργο σχετίζεται με δύο μεγάλες ιδέες: «μέγεθος και κλίμακα», καθώς και τη Μεγάλη Ιδέα αναφορικά με τα «εργαλεία και όργανα» (Stevens et al., 2009· Stevens et al., 2007), όπως αυτές προσεγγίστηκαν μετά από το διδακτικό μας μετασχηματισμό. Σκοπός του έργου ήταν να μελετηθεί η ικανότητα των μαθητών να διαχωρίζουν τους τρεις διαφορετικούς κόσμους με βάση το εργαλείο προσέγγισής τους και να αναγνωρίζουν τα αντικείμενα αναφοράς.

Η ερώτηση EN3 σχετίζεται με την μεγάλη ιδέα «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» (Stevens et al., 2009) και συγκεκριμένα διερευνά την ικανότητα των μαθητών να περιγράφουν την λειτουργία της επιφάνειας διαφορετικών φύλλων και συγκεκριμένα την κίνηση και το σχήμα της σταγόνας νερού πάνω σε αυτά.

Η ερώτηση EN4: «Οι σταγόνες νερού συμπεριφέρονται [κίνηση και σχήμα] διαφορετικά ή το ίδιο στα φύλλα; Γιατί πιστεύεις ότι συμβαίνει αυτό;» σχετίζεται με τη Μεγάλη ιδέα «μέγεθος» αναφορικά με την περιγραφή της μικρο- και νανο-δομής (Wansom et al 2009) του λάχανου και του τριαντάφυλλου. Ταυτόχρονα, η συγκεκριμένη ερώτηση σχετίζεται και με τη μεγάλη ιδέα «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος» (Stevens et al., 2009· Stevens et al., 2007) σχετικά με τη λειτουργία των επιφανειών αυτών των φύλλων. Μέσα από την ερώτηση αυτή διερευνάται κατά πόσο οι μαθητές μπορούν να εξηγούν την λειτουργία των επιφανειών περιγράφοντας την επίδραση του νανόκοσμου και του μικρόκοσμου στο μακρόκοσμο, χρησιμοποιώντας λεξιλόγιο που σχετίζεται με τον νανογραμματισμό. Η κατανόηση αυτής της σχέσης μεταξύ κόσμων θεωρείται σημαντική από διάφορους ερευνητές (Stevens et al., 2009· Healy 2009).

Πίνακας 6: Διαγνωστικό δοκίμιο για τη N-ET

Έργο	Περιεχόμενο	Στόχος	Έρευνες που ενέπνευσαν την κατασκευή
EN1	«Μέγεθος», «Εργαλεία και όργανα»	Καταγραφή των ιδεών των μαθητών για την ύπαρξη μικρότερων αντικειμένων από τα ορατά με το μάτι	Πέικος, 2015, Stevens et al., 2009, Waldron 2006
EN2	«Μέγεθος», «Εργαλεία και όργανα»	Καταγραφή της ικανότητας των μαθητών να διαχωρίζουν τους τρεις διαφορετικούς κόσμους με βάση το εργαλείο προσέγγισής τους και να αναγνωρίζουν τα αντικείμενα αναφοράς.	Stevens et al., 2009, Stevens et al., 2007
EN3	«Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος»	Καταγραφή της ικανότητας των μαθητών να περιγράψουν την λειτουργία της επιφάνειας διαφορετικών φύλλων.	Stevens et al., 2009
EN4	«Μέγεθος» και «Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος»	Καταγραφή της ικανότητας των μαθητών να εξηγούν την λειτουργία των επιφανειών με όρους νανογραμματισμού.	Stevens et al., 2009, Wansom et al 2009

2.6 Διαδικασία συλλογής δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων της παρούσας έρευνας πραγματοποιήθηκε μέσα από τη χρήση των έργων των εκτελεστικών λειτουργιών και των προ-διαγνωστικών και μετα- διαγνωστικών δοκιμίων αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET. Η συνολική διαδικασία πραγματοποιήθηκε μετά από σχετική άδεια από το υπουργείο Παιδείας και σε συνέχεια συνεννόησης με το Διευθυντή του κάθε σχολείου και τους δασκάλους των τάξεων.

2.6.1 Ψυχομετρικά εργαλεία

Κατά τη διαδικασία συλλογής των δεδομένων σχετικά με τη νοητική ικανότητα και τις εκτελεστικές λειτουργίες, οι μαθητές εισέρχονταν, ανά δύο, με τη συνοδεία του ερευνητή στην ελεύθερη αίθουσα που υπήρχε εκείνη τη διδακτική ώρα, λόγω διδακτικού κενού (π.χ. μουσική, γυμναστική). Οι μαθητές τοποθετήθηκαν σε θρανία με πλάτη ο ένας στον άλλον, ώστε να μην έχουν οπτική επαφή. Πριν την έναρξη της διαδικασίας, ο ερευνητής ενημέρωσε τους μαθητές ότι επρόκειτο για κάποια παιχνίδια και ότι δεν υπήρχε λόγος άγχους καθώς δεν θα κρίνονταν από αυτά, ώστε οι μαθητές να μην είναι αγχωμένοι κατά την εκτέλεση των έργων.

Τα έξι έργα πραγματοποιήθηκαν στη σειρά το ένα μετά το άλλο σε μία συνεδρία ανά μαθητή. Κάθε φορά επιλεγόταν διαφορετική σειρά υλοποίησης των έργων από τους μαθητές. Οι μαθητές, στην συνέχεια, πραγματοποίησαν ατομικά το κάθε έργο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή σε απόσταση περίπου 45 εκ. του μέτρου (Miyake et al., 2000).

Πριν από την πραγματοποίηση των δοκιμασιών κάθε έργου, δόθηκαν, αρχικά, οι οδηγίες στους μαθητές σχετικά με την εκτέλεση κάθε έργου. Ταυτόχρονα δόθηκαν και στους μαθητές και κάποιες οδηγίες συμπεριφοράς, ώστε να μη παρεμποδιστεί η διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, ζητήθηκε από τους μαθητές να είναι σταθερά μπροστά από τον υπολογιστή τους, χωρίς να γυρίζουν προς το συμμαθητή τους, να αποφεύγουν να μιλούν με το συμμαθητή

τους, τον εαυτό τους ή τον εκπαιδευτικό. Οι μαθητές είχαν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν διευκρινιστικές ερωτήσεις στον εκπαιδευτικό ως και πριν την έναρξη της κανονικής δοκιμασίας.

Μετά τις οδηγίες, σε κάθε έργο υπήρχε μία αρχική φάση εξοικείωσης με αυτό. Αν ο ερευνητής ή και το ίδιο το πρόγραμμα έκρινε ότι ο μαθητής δεν αντιλήφθηκε το έργο, τότε ακολουθούσε επανεξήγηση του και επανάληψη της διαδικασίας εξοικείωσης. Η ολοκλήρωση των έργων εκτελεστικών λειτουργιών [battery of tasks] χρειάστηκε 30- 45 λεπτά ανά μαθητή, ανάλογα με τις δυνατότητες του κάθε μαθητή. Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμασιών, οι μαθητές επέστρεφαν στις τάξεις τους με τη συνοδεία του ερευνητή, ο οποίος στη συνέχεια απομάκρυνε από την τάξη την επόμενη δυάδα μαθητών.

2.6.2 Διαγνωστικά δοκίμια

Αρχικά, για την συμπλήρωση όλων των δοκιμίων δόθηκε σε κάθε μαθητή ένας αριθμός κωδικοποίησης και πραγματοποιήθηκε ενημέρωση των μαθητών για την τήρηση του απορρήτου των στοιχείων τους. Τα δοκίμια μοιράστηκαν ανά τμήμα (περίπου 15 άτομα) και για την συμπλήρωση του κάθε δοκιμίου χρειάστηκαν περίπου 30 λεπτά ανά ερωτηματολόγιο και ανά τμήμα.

Πριν την συμπλήρωση του κάθε δοκιμίου δόθηκαν κάποιες βασικές οδηγίες στους μαθητές, τόσο για την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου, όσο και για τους κανόνες συμπεριφοράς. Αρχικά, οι μαθητές ενημερώθηκαν ότι η συμπλήρωση των ερωτηματολογίων πραγματοποιείται ατομικά και δεν αποτελεί εξέταση ή κάποιας μορφής τεστ και ότι τα αποτελέσματά τους δεν θα χρησιμοποιηθούν για αξιολόγησή τους σε κάποιο μάθημα. Επομένως δεν υπήρχε λόγος άγχους, αλλά ούτε και λόγος να ζητήσουν βοήθεια από κάποιον συμμαθητή τους. Επιπλέον, οι μαθητές ενημερώθηκαν ότι οι ερωτήσεις θα συμπληρώνονταν

με τη σειρά και μετά την συμπλήρωση κάθε ερώτησης δεν θα μπορούσαν να επιστρέψουν πίσω σε αυτήν για να πραγματοποιήσουν διορθώσεις.

Η συλλογή των προ-διαγνωστικών δοκιμίων πραγματοποιήθηκε πριν από την έναρξη των διδακτικών παρεμβάσεων. Η συλλογή των μετά-διαγνωστικών δοκιμίων πραγματοποιήθηκε μία ημέρα μετά το πέρας των διδακτικών παρεμβάσεων.

2.7 Ανάλυση δεδομένων

Η ανάλυση των δεδομένων βασίστηκε στους δύο σχεδιαστικούς άξονες της παρούσας έρευνας, στην κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων και στην κατανόηση του περιεχομένου της N-ET. Για την ανάλυση των ποιοτικών δεδομένων που προέκυψαν από τα διαγνωστικά δοκίμια χρησιμοποιήθηκε τόσο η επαγωγική μέθοδος ανάλυσης (inductive) όσο και η παραγωγική (deductive) μέθοδος ανάλυσης (Mayring, 2014).

2.7.1 Ανάλυση διαγνωστικού δοκιμίου για τα μοντέλα

Η παραγωγική μέθοδος ανάλυσης (Mayring, 2014) χρησιμοποιήθηκε για την ομαδοποίηση και την ανάδειξη επιπέδων αναφορικά με το διαγνωστικό δοκίμιο και τον σχεδιαστικό άξονα της κατανόησης της φύσης και του ρόλου των μοντέλων. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος ανάλυσης είναι γιατί εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία κατηγορίες ανάλυσης ή επίπεδα κατανόησης τα οποία μπορούσαν να αποτελέσουν βάση για την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

Σχετικά με την διερεύνηση των επιπέδων επιστημολογικής επάρκειας για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων, το διαγνωστικό δοκίμιο περιλάμβανε τους εξής θεματικούς άξονες : 1. Νοηματοδότηση της έννοιας μοντέλο (EM1) 2. Επιστημολογική επάρκεια για την αναπαραστατική φύση των μοντέλων (EM2, EM4) 3. Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων-Πολλαπλότητα των μοντέλων (EM3) 5. Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων-Τροποποίηση μοντέλων (EM5) 6. Επιστημολογική επάρκεια για το ρόλο των

μοντέλων- Χρησιμότητα των μοντέλων (EM6) 7. Αξιολόγηση πληροφοριών μοντέλου (EM7)
7. Αξιολόγηση αν αποτελεί μοντέλο (EM8).

Αρχικά, 1) για τον κάθε θεματικό άξονα τον οποίον διερευνούσε η κάθε ερώτηση του διαγνωστικού δοκιμίου, αναζητήθηκαν τα επίπεδα κατανόησης από τη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, με βάση την παραγωγική μέθοδο ανάλυσης των δεδομένων και μέσω της διαδικασίας συνεχούς σύγκρισης, 2) αποφασίστηκε ποιες μονάδες ανάλυσης ταίριαζαν στις υπάρχουσες κατηγορίες-επίπεδα, δίνοντας και συγκεκριμένα παραδείγματα ανά επίπεδο. Στην περίπτωση που προκύπταν προβλήματα με την αντιστοιχία των δεδομένων, διαμορφώνονταν κανόνες, ώστε να είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση των δεδομένων. Αυτή η διαδικασία οδήγησε στην 3) αναδιαμόρφωση και τροποποίηση των κανόνων που απαρτίζουν τα επίπεδα κατανόησης στα οποία κατηγοριοποιούνταν τα δεδομένα και κατ' επέκταση στην επανεκκίνηση της διαδικασίας σύγκρισης των κατηγοριών με τα δεδομένα. Στη συνέχεια, ακολούθησε 4) η κυρίως διαδικασία ένταξης των δεδομένων στα επίπεδα για περαιτέρω ανάλυση.

Πίνακας 7: Επίπεδα κατανόησης για τα επιστημονικά μοντέλα

Κατεύθυνση ανάλυσης	Ερώτηση	Επίπεδο 3 «επιστημονική άποψη»	Επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη»	Επίπεδο 1 «Μακριά από την επιστημονική άποψη»	Επίπεδο 0
Νοσηματοδότηση της έννοιας επιστημονικό μοντέλο	EM1	Αναφέρθηκαν στο μοντέλο ως μία αναπαράσταση, που μας βοηθά να εξηγήσουμε ή/και να διενεργήσουμε προβλέψεις. Βλέπουν ένα σκοπό στο μοντέλο	Αναφέρθηκαν στο μοντέλο επικεντρωμένοι στο αναπαραστατικό επίπεδο/στόχο. Αναπαραστάσεις του φαινομένου	1. Βλέπουν τα μοντέλα ως αντίγραφα: μινιατούρες/ μικρογραφίες/ αντίγραφα του φαινομένου, 1. Κάτι που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες: ένα επιστημονικό αντικείμενο ή ένα επιστημονικό gadget/ κατασκευή / κάτι πάνω στο οποίο πειραματίζονται 2. Οι επιστήμονες δείχνουν τη δουλειά τους σε κάποιον	Απαντήσεις άσχετες με οτιδήποτε που σχετίζεται με την επιστήμη/ ταυτολογία Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις
Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων					
Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων- Πολλαπλότητα των μοντέλων	EM3	Ανέφεραν ότι μπορούν να υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα για να δείξουν το διαφορετικό τρόπο αντίληψη ενός φαινομένου.	Ανέφεραν ότι μπορούν να υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα, για να δείξουν το ίδιο φαινόμενο με διαφορετικό υλικό (φρούτα) ή μέσο (εικόνα, 3d) ή για να δείξουν διαφορετικά μέρη-όψεις του φαινομένου (αναπαραστατικό επίπεδο- διαφορετικοί τρόποι αναπαράστασης). Για το κοινό στο οποίο απευθύνεται να το εξηγήσουν καλύτερα / να το κάνουν πιο κατανοητό	Ανέφεραν ότι υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα αναφερόμενου σε βαθμούς ακρίβειας, για να δείξουν διαφορετικές οπτικές, π.χ. στάση ή συμπλήρωση αντικειμένων (υπονοώντας ότι θα αυξήσουν την ακρίβεια) (αναπαραστατικό επίπεδο- ακρίβεια). Ναι με ασαφή αιτιολόγηση	Θεωρούν ότι δεν υπάρχουν περισσότερα από ένα μοντέλα Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις

B) Επιδιωκόμενο ς βαθμός ομοιότητας αναπαράστα ς με το φαινόμενο	E M 4	Ανέφεραν ότι δεν χρειάζεται γιατί ο στόχος είναι να δείξουν/ να εξηγήσουν το φαινόμενο ή ανέφεραν ότι κι έτσι μπορούμε να καταλάβουμε το φαινόμενο (δεν προσκολλώνται στα αντικείμενα αλλά στο σκοπό/ αναφορά στο φαινόμενο)	1. Ανέφεραν ότι δεν χρειάζεται υψηλή ακρίβεια ή 2.Αναφέρονται στους διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης (αντιλαμβάνονται ότι τα μοντέλα δεν αποτελούν αντίγραφα ή μικρογραφίες, χωρίς όμως να πραγματοποιούν αναφορά στην εξήγηση ή αντίληψη του φαινομένου)	Ανέφεραν ότι δεν γίνεται 1.για πρακτικούς λόγους (πχ. θα καιγόμασταν) 2.όχι γιατί μοιάζει ήδη αρκετά ή είναι ολόιδια 3. όχι αλλά η αιτιολόγηση είναι ασαφής	Ναι για να το καταλαβαίνω με καλύτερα Ναι για να μοιάζει πιο πολύ με το αληθινό/ να είναι σαν το αληθινό (αντίγραφο) Ναι με ασαφή αιτιολόγηση
Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων- Τροποποίηση μοντέλων	E M 5	Ανέφεραν ότι τα μοντέλα τροποποιήθηκαν για να βελτιώσουν την αναπαραστατική και επεξηγηματική(εξηγούν καλύτερα ή σωστότερα το φαινόμενο) και προβλεπτική τους ικανότητα, ή και αλλαγή λόγω νέων δεδομένων (νέα ανακάλυψη)	Ανέφεραν ότι τροποποιήθηκαν για να εξηγούν καλύτερα ή σωστότερα το φαινόμενο	Ανέφεραν ότι τροποποιήθηκαν για αναπαραστατικούς λόγους (για να είναι πιο ακριβής η αναπαράσταση, για να είναι πιο όμορφο)	Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις
Επιστημολογική επάρκεια για το ρόλο των μοντέλων					
Χρησιμότητα μοντέλων	E M 6	Αναφορά στους τρεις βασικούς σκοπούς: 1. Αναπαράσταση 2. Επεξήγηση του φαινομένου 3. Διενέργεια προβλέψεων	Αναφορά σε δύο σκοπούς: 2α.Αναπαράστασ η και επεξήγηση του φαινομένου 2β. επεξήγηση και πρόβλεψη 2γ. αναπαράσταση και πρόβλεψη	Αναφορά σε ένα σκοπό: 3. αναπαράσταση 3β. επεξήγηση 3γ. πρόβλεψη	Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις
Αξιολόγηση μοντέλων	E M 7	Αναφορά στην έλλειψη σκοπού (επεξήγησης του ή και πρόβλεψης) ή και ταυτόχρονη αναφορά στην έλλειψη των στοιχείων του φαινομένου	1.Αναφορά μόνο στην έλλειψη των στοιχείων (αναπαραστατική πληρότητα)	όχι και 1. αναφέρονται στην αναπαραστατική ακρίβεια 2.αναφέρονται στην έλλειψη πληροφοριών χωρίς συγκεκριμένες αναφορές 3. ασαφή αιτιολόγηση	Απαντούν ότι έχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες με σαφή ή ασαφή αιτιολόγηση

		(αναπαραστατικό επίπεδο)			
Αξιολόγηση αν αποτελεί μοντέλο	EM8	Ανέφεραν ότι δεν αποτελεί γιατί μόνο αναπαριστά αλλά δεν επεξηγεί το φαινόμενο ή/ και δεν επιτρέπει να κάνουμε προβλέψεις (σκοπός)	Ανέφεραν ότι αποτελεί επιστημονικό μοντέλο αναφερόμενοι σε συγκεκριμένο σκοπό δηλαδή ότι εξηγεί ή/ και επιτρέπει να κάνουμε προβλέψεις	Ανέφεραν ότι δεν αποτελεί επιστημονικό μοντέλο και το αιτιολογούν άμεσα ή έμμεσα με λόγους που σχετίζονται με την μη ικανοποιητική αναπαράσταση (π.χ. την έλλειψη στοιχείων/ πληροφοριών) Ανέφεραν ότι αποτελεί επιστημονικό μοντέλο και το αιτιολογούν με βάση την αναπαραστατική του ικανότητα	Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις

EM1: Νοηματοδότηση της έννοιας επιστημονικό μοντέλο

Η διαμόρφωση των επιπέδων κατανόησης στην ερώτηση «Περιγράψε πώς καταλαβαίνεις την έννοια επιστημονικό μοντέλο» βασίστηκε 1) στην βιβλιογραφία σχετικά με τον ορισμό του επιστημονικού μοντέλου (Harrison & Treagust, 2000·Schwarz, 2002· Schwarz και White, 2005·Schwarz et al. 2009), η προσέγγιση του οποίου αποτέλεσε και το στόχο της διδακτικής παρέμβασης, καθώς και 2) στην κατηγοριοποίηση των Schwarz και White (2005), οι οποίοι έθεσαν την ερώτηση « Μπορείς να μου πεις τι πιστεύεις ότι είναι ένα επιστημονικό μοντέλο;».

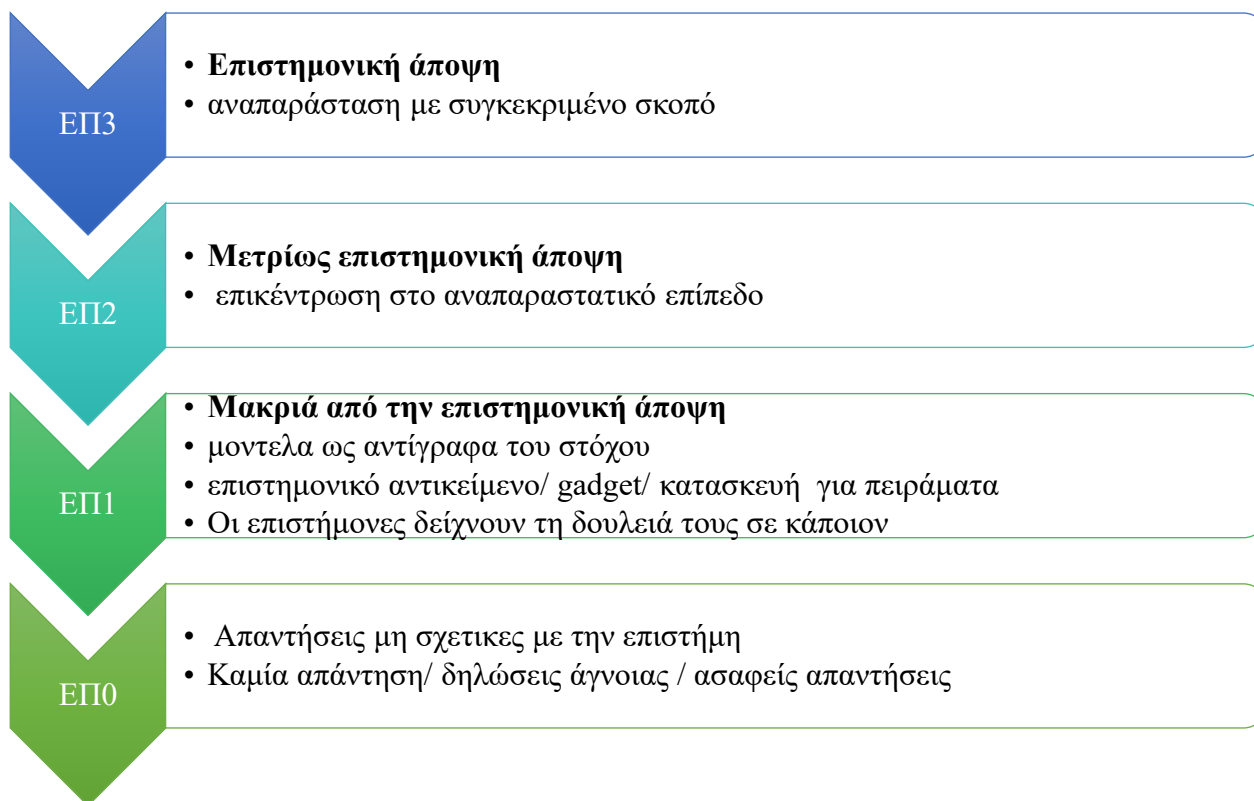
Πιο συγκεκριμένα, στο ανώτερο επίπεδο, δηλαδή στην «**Επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές νοηματοδοτούσαν την έννοια του επιστημονικού μοντέλου στην βάση του τριπλού σκοπού [αναπαράσταση-επεξήγηση-πρόβλεψη] που επιτελούν. Απαντήσεις που επικεντρώνονταν στο σκοπό του μοντέλου για τη νοηματοδότησή του δείχνουν ότι οι μαθητές αυτοί έχουν απομακρυνθεί από την διαισθητική αντίληψη των μοντέλων ως αντίγραφα της πραγματικότητας αλλά και ως απλές αναπαραστάσεις. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις όπως αυτή του M1 που αναφέρει: «είναι η αναπαράσταση, η επεξήγηση και η πρόβλεψη ενός

φαινομένου» και αυτή του M2 «είναι το σχέδιο και γενικά η εμφάνιση κάποιας ενέργειας (αναπαράσταση) που εξηγεί ένα φαινόμενο και κάνει προβλέψεις».

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρονται στα μοντέλα ως αναπαραστάσεις του φαινομένου. Στο επίπεδο αυτό κατατάχθηκαν απαντήσεις όπως αυτή του μαθητή M7: «ένα επιστημονικό μοντέλο είναι μια αναπαράσταση όμως δεν χρειάζεται να είναι ίδια, για παράδειγμα η αναπαράσταση της γης δεν είναι η ίδια η γη μπορεί να είναι και ένα πορτοκάλι». Οι απαντήσεις των μαθητών που ανέφεραν τα μοντέλα ως αναπαραστάσεις από αυτούς που τα ανέφεραν ως αντίγραφα, διαχωρίζονται, καθώς θεωρείται ότι οι πρώτοι δεν προσκολλώνται στην ομοιότητα και την ακρίβεια αναπαράστασης [μοντέλο ως αντίγραφο] (Grosslight et al., 1991), αλλά θεωρούν την αναπαράσταση ως μέσο για να προσεγγίσουμε ένα φαινόμενο.

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρθηκαν στα μοντέλα ως α) αντίγραφα της πραγματικότητας ή ως μινιατούρες, π.χ. η απάντηση του μαθητή M33 «καταλαβαίνω ότι είναι μία μινιατούρα που δείχνει μία αναπαράσταση από κάτι μεγάλο», β) ως κάποιο επιστημονικό αντικείμενο ή επιστημονικό gadget/κατασκευή ή κάποιον επιστήμονα, π.χ. η απάντηση του μαθητή M5 «ένα επιστημονικό μοντέλο το χρησιμοποιεί ένας επιστήμονας για να βρει κάτι επιστημονικό» και η απάντηση του M14 «μία "μηχανή" που φτιάχνουν οι επιστήμονες και είναι από τα τελευταίας τεχνολογίας μηχανήματα». Τέλος, σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν και απαντήσεις στις οποίες αναφέρεται ότι οι επιστήμονες δείχνουν τη δουλειά τους σε κάποιον, όπως π.χ. του M31 «Δεν ξέρω αλλά νομίζω ότι είναι κάτι που φτιάχνουν οι επιστήμονες και το δείχνουν σαν κάτι καινούριο».

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές έκαναν δηλώσεις άσχετες με την επιστήμη, δεν απάντησαν, πραγματοποίησαν δηλώσεις άγνοιας ή έδωσαν ασαφείς απαντήσεις, π.χ. η απάντηση του M61 «νομίζω ότι είναι το αυθεντικό μοντέλο».



Σχήμα 5 :EMI: Νοηματοδότηση της έννοιας επιστημονικό μοντέλο

EM3:Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων - Πολλαπλότητα των μοντέλων

Για το συγκεκριμένο θεματικό άξονα στη βιβλιογραφία, η κατανόηση για την πολλαπλότητα των μοντέλων εντάσσεται κυρίως στα επίπεδα γενικής κατανόησης για τα μοντέλα ή γίνονται γενικές αναφορές χωρίς διακριτά επίπεδα (Grosslight 1991·Treagust 2002). Μία ανάλυση σε επίπεδα έχουν πραγματοποιήσει οι Schwarz και White (2005). Τα επίπεδα κατανόησης που κατασκεύασαν ήταν τρία, ισχυρό [strong], μέτριο [moderate] και αδύναμο [weak], στα οποία εντάχθηκαν οι απαντήσεις των μαθητών, χωρίς όμως στην έρευνα τους να δίνουν συγκεκριμένα παραδείγματα απαντήσεων ανά επίπεδο κατανόησης.

Στην παρούσα έρευνα, η διαμόρφωση του ανώτερου επιπέδου κατανόησης βασίστηκε στην έρευνα των Schwarz και White (2005) καθώς και στους στόχους που είχαν τεθεί στη διδακτική παρέμβαση. Η κατασκευή των υπόλοιπων επιπέδων βασίστηκε στις απαντήσεις των παιδιών και τις

έρευνες αναφορικά με τις ιδέες των μαθητών για την πολλαπλότητα των μοντέλων (Grosslight et al., 1991).

Πιο συγκεκριμένα, στα δεδομένα που προέκυψαν από την μεταγραφή των δεδομένων, εντοπίστηκαν μονάδες ανάλυσης [λέξεις ή φράσεις] οι οποίες συνδέθηκαν-κωδικοποιήθηκαν με «ιδέες και έννοιες που έχουν θεωρητικό χαρακτήρα». Στη συνέχεια, αυτές οι ευρύτερες έννοιες όπου εντάχθηκαν οι μονάδες ανάλυσης πλαισίωσαν τα επίπεδα κατανόησης.

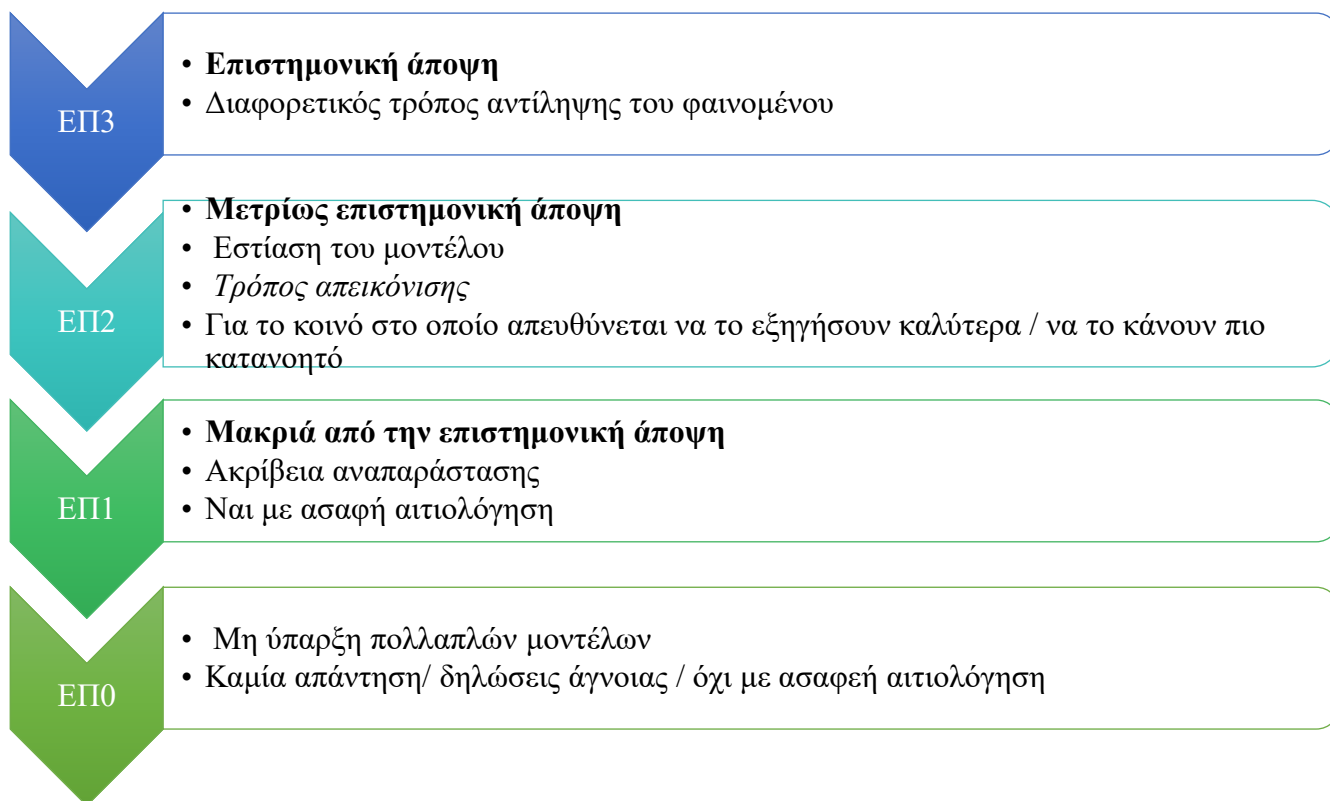
Αναλυτικότερα, αναφορές των μαθητών όπως «έχει άλλη άποψη», «υπάρχουν διαφορετικές θεωρίες», «το καταλαβαίνουν διαφορετικά» και «υπάρχουν διαφορετικές εξηγήσεις» κωδικοποιήθηκαν ως «Διαφορετικός τρόπος αντίληψης του φαινομένου» και κατά την κωδικοποίηση μετασηματίστηκαν στην ευρύτερη κατηγορία «**Επιστημονική άποψη**». Σε αυτό το επίπεδο κατατάχθηκαν απαντήσεις όπως αυτή του M13 «Ναι γιατί μπορούμε να το δείξουμε αλλιώς ή να το εξηγήσουμε αλλιώς» και του M7 «ναι, είναι ανάλογα πώς πιστεύει κάποιος, μπορεί κάποιος να πιστεύει ότι ο ήλιος γυρίζει γύρω από την γη, έτσι θα το κάνει διαφορετικά».

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης που σχετίζονταν με το αναπαραστατικό επίπεδο των μοντέλων και συγκεκριμένα στον «τρόπο απεικόνισης του φαινομένου» και στην «Εστίαση του μοντέλου». Πιο συγκεκριμένα, μονάδες ανάλυσης που αναφέρονταν σε διαφορετικό υλικό ή μέσο, όπως «σκίτσα», «διαφορετικό υλικό», «πιο απλά αντικείμενα, π.χ. μανταρίνι η γη και ο ήλιος κερί», «διαφορετικούς τρόπους π.χ. μία εικόνα, ή ένα 3D ολόγραμμα», «για να το δείξουν με άλλον τρόπο» κωδικοποιούνται ως «*Τρόπος απεικόνισης*» (Gilbert 2000, 2005). Παράδειγμα αποτελεί η απάντηση του M38 «ναι, γιατί μπορούν από άλλα υλικά». Επίσης, μονάδες ανάλυσης που αναφέρονταν στην αναπαράσταση διαφορετικών μερών του φαινομένου, όπως αυτή στην απάντηση του M33 «ναι υπάρχουν, ένα για την μέρα και ένα για την νύχτα», «ανάλογα με το τι θέλει να δείξει» κωδικοποιήθηκαν ως «*Εστίαση του μοντέλου σε σχέση με το φαινόμενο*». Τέλος, σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν και οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές πραγματοποιούν αναφορά στην ύπαρξη

πολλαπλών μοντέλων με σκοπό την ευρύτερη κατανόηση από το κοινό, πχ ο M37 «ναι, πιστεύω πως χρειάζονται κι άλλα για να καταλάβουν και οι άλλοι άνθρωποι αυτά τα φαινόμενα».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης που σχετίζονταν και πάλι με το αναπαραστατικό επίπεδο των μοντέλων, αλλά επικεντρώνονταν στο βαθμό αναπαραστατικής ακρίβειας των μοντέλων (Grosslight et al., 1991). Με την αναπαραστατική ακρίβεια υπονοείται η ανάγκη το μοντέλο να είναι όσο πιο ίδιο γίνεται με το φαινόμενο, δηλαδή αντίγραφο. Πιο συγκεκριμένα, απαντήσεις όπως του M3 «γιατί η γη θα μπορούσε να αναπαρασταθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια», του M49 «ναι, γιατί θα μπορούσαν να υπάρχουν περισσότεροι πλανήτες και στα χρώματα που είναι κανονικά» κωδικοποιήθηκαν ως «Ακρίβεια αναπαράστασης». Τέλος, σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν και απαντήσεις στις οποίες αν και αναφέρεται ότι υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα, η αιτιολόγηση είναι ασαφής.

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα, απαντήσεις άγνοιας και αρνητικές ασαφείς απαντήσεις, οι οποίες θεωρούνται μακριά από την σχετική βιβλιογραφία για τα μοντέλα αλλά και τους στόχους της διδακτικής παρέμβασης.



Σχήμα 6: EM3 Πολλαπλότητα μοντέλων

EM4: Επιδιωκόμενος βαθμός ομοιότητας αναπαράστασης του μοντέλου με το φαινόμενο της μέρας νύχτας

Στην βιβλιογραφία η διερεύνηση αυτού του ερωτήματος συνήθως δεν πραγματοποιείται ρητά, αλλά προκύπτει από τις απαντήσεις των μαθητών όσον αφορά το τι θεωρούν μοντέλο (βλέπε Grosslight et al., 1991· Zoupidis et al., 2010), είτε πραγματοποιείται ρητά μαζί με την ερώτηση για την νοηματοδότηση των μοντέλων (Soulis & Psillos, 2016), αλλά οι απαντήσεις εντάσσονται στις κατηγορίες που προκύπτουν και από τις δύο ερωτήσεις μαζί. Στην παρούσα έρευνα, καθώς δεν υπάρχουν στην βιβλιογραφία ξεχωριστά επίπεδα, κατασκευάστηκαν επίπεδα κατανόησης λαμβάνοντας υπόψη τις ιδέες των μαθητών αναφορικά με την αναπαραστατική φύση των μοντέλων (Grosslight et al., 1991), καθώς και τους στόχους της διδασκαλίας.

Στα δεδομένα που προέκυψαν από την μεταγραφή των απαντήσεων των μαθητών, εντοπίστηκαν μονάδες ανάλυσης [λέξεις ή φράσεις] οι οποίες συνδέθηκαν- κωδικοποιήθηκαν με «ιδέες και έννοιες που έχουν θεωρητικό χαρακτήρα». Στη συνέχεια, αυτές οι ευρύτερες έννοιες όπου εντάχθηκαν οι μονάδες ανάλυσης πλαισίωσαν τα επίπεδα κατανόησης.

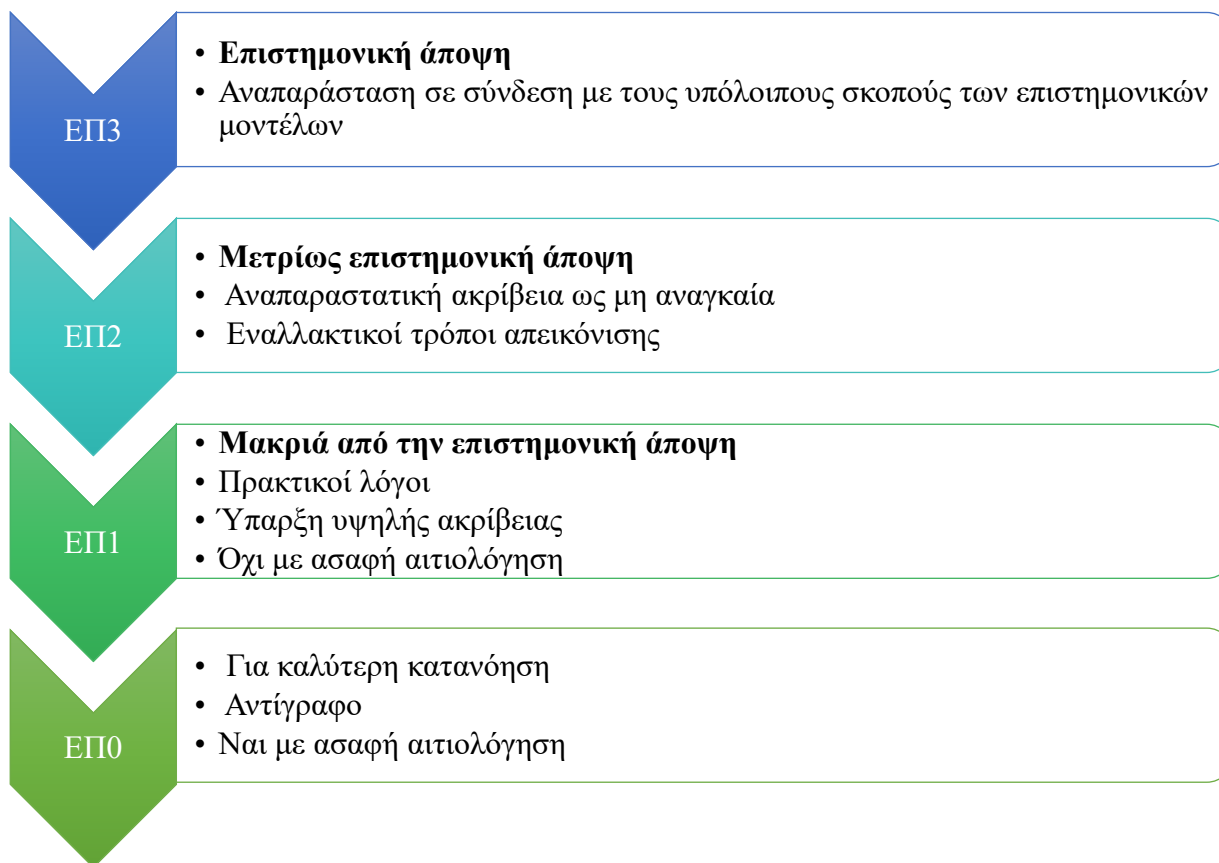
Πιο συγκεκριμένα, στο ανώτερο επίπεδο, δηλαδή στην «**Επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες ήταν εμφανές ότι οι μαθητές δεν προσκολλούνταν στα αντικείμενα της αναπαράστασης και στην ομοιότητά της με το πραγματικό φαινόμενο. Ταυτόχρονα, αντιλαμβάνονταν την αναπαράσταση ως μέσο προσέγγισης του φαινομένου και ως έναν από τους τρεις σκοπούς των επιστημονικών μοντέλων. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες αναφερόταν, ότι δε χρειάζεται να μοιάζουν περισσότερο και στην αιτιολόγηση της δήλωσης υπήρχαν μονάδες ανάλυσης όπως «εξήγηση», «καταλαβαίνουμε το φαινόμενο». Παράδειγμα αποτελεί η απάντηση του M31 «δε χρειάζεται γιατί αν η εξήγηση στην ουσία μας κάνει να καταλάβουμε το φαινόμενο, δεν χρειάζεται να είναι τέλεια αναπαράσταση», οι οποίες κωδικοποιήθηκαν ως «Αναπαράσταση σε σύνδεση με του υπόλοιπους σκοπούς των επιστημονικών μοντέλων».

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν μαθητές, οι οποίοι αν και θεωρούσαν ότι δε χρειάζεται να μοιάζουν περισσότερο, επικεντρώνονταν στο αναπαραστατικό χαρακτήρα των μοντέλων και το συνέδεαν με τον επεξηγηματικό και προβλεπτικό σκοπό των μοντέλων. Παρόλα αυτά, αντιλαμβάνονταν ότι τα μοντέλα δεν αποτελούν αντίγραφα ή μικρογραφίες της πραγματικότητας. Στο επίπεδο αυτό, εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες αναφερόταν, ότι δεν χρειάζεται να μοιάζουν περισσότερο και στην αιτιολόγηση των οποίων ανιχνεύθηκαν απαντήσεις όπως αυτή του M19 «όχι, γιατί δεν είναι ανάγκη να είναι ίδια» και κατηγοριοποιήθηκαν ως «Αναπαραστατική ακρίβεια ως μη αναγκαία». Επίσης, σε αυτό το επίπεδο κατατάχθηκαν και απαντήσεις στις οποίες ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης, όπως στην απάντηση του M4 «Δεν χρειάζεται να είναι ίδια. Μέχρι και αντικείμενα της καθημερινής ζωής μπορεί να είναι μοντέλα» και κατηγοριοποιήθηκαν ως «Εναλλακτικοί τρόποι απεικόνισης».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν οι μαθητές που ανέφεραν ότι δεν χρειάζεται μεγαλύτερος βαθμός ομοιότητας όχι γιατί δεν χρειάζεται η αναπαράσταση του μοντέλου να είναι αντίγραφο του φαινομένου, αλλά γιατί αυτό δεν είναι δυνατό να συμβεί ή ακόμη γιατί ήδη είναι ολόιδιο. Φαίνεται επομένως ότι οι μαθητές αυτοί ήταν προσκολλημένοι στην αναπαραστατική ακρίβεια του μοντέλου.

Σε αυτό το επίπεδο, επομένως, εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές θεωρούσαν ότι δεν χρειάζεται να μοιάζουν περισσότερο και στην αιτιολόγηση της δήλωσής τους ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης, όπως αυτή στην απάντηση του M64 «όχι επειδή το να κάνεις έναν ήλιο ακριβώς σαν τον αληθινό θα σήμαινε ότι θα έκαιγε και για την αναπαράσταση της γης θα έπρεπε να κάνεις βουνά, ποτάμια, λίμνες, φαράγγια, κλπ.» και του M39 «είναι πάρα πολύ δύσκολο να φτιαχτούν» και κωδικοποιήθηκαν ως «Πρακτικοί λόγοι», και μονάδες ανάλυσης όπως αυτές που ανιχνεύονται στην απάντηση του M8 «όχι, γιατί έτσι είναι και στην πραγματικότητα» κωδικοποιήθηκαν ως «ύπαρξη υψηλής ακρίβειας». Τέλος, σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν οι απαντήσεις που υποστηρίζουν ότι δεν χρειάζεται μεγαλύτερη ακρίβεια, αλλά η αιτιολόγηση της δήλωσης είναι ασαφής.

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ότι χρειάζεται να μοιάζουν περισσότερο με το πραγματικό και στις απαντήσεις τους ανιχνεύθηκαν μονάδες ανάλυσης που σχετίζονταν με την καλύτερη κατανόηση, όπως στην απάντηση του M20 «ναι, για να το καταλαβαίνουμε καλύτερα» που κωδικοποιήθηκαν ως «για καλύτερη κατανόηση» και μονάδες ανάλυσης, στις οποίες δηλώνεται η αντίληψη του μοντέλου ως αντίγραφου, όπως στη απάντηση του M18 «γιατί η γη είναι μικρότερη από τον ήλιο» και κατηγοριοποιούνται ως «αντίγραφο». Οι μαθητές σε αυτό το επίπεδο θεωρούσαν σημαντική την ακρίβεια στην αναπαράσταση και συγκεκριμένα ότι το μοντέλο αποτελεί ουσιαστικά αντίγραφο του φαινομένου.



Σχήμα 7: EM4: Επιδιωκόμενος βαθμός ομοιότητας αναπαράστασης του μοντέλου με το φαινόμενο της μέρας-νύχτας

EM5: Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων- Μεταβλητότητα μοντέλων

Η ερώτηση «Οι επιστήμονες στο παρελθόν τροποποίησαν μοντέλα που είχαν δημιουργηθεί για να εξηγήσουν το φαινόμενο της μέρας και της νύχτας. Για ποιο λόγο πιστεύεις ότι συνέβη αυτό; Αιτιολόγησε την απάντησή σου» έχει κατασκευαστεί από τον ερευνητή και διερευνά τις απόψεις των μαθητών σχετικά με την προσωρινή [tentative] φύση των μοντέλων. Για την κατασκευή των επιπέδων χρησιμοποιήθηκαν τα επίπεδα των Schwarz et al. (2009) με ορισμένες τροποποιήσεις.

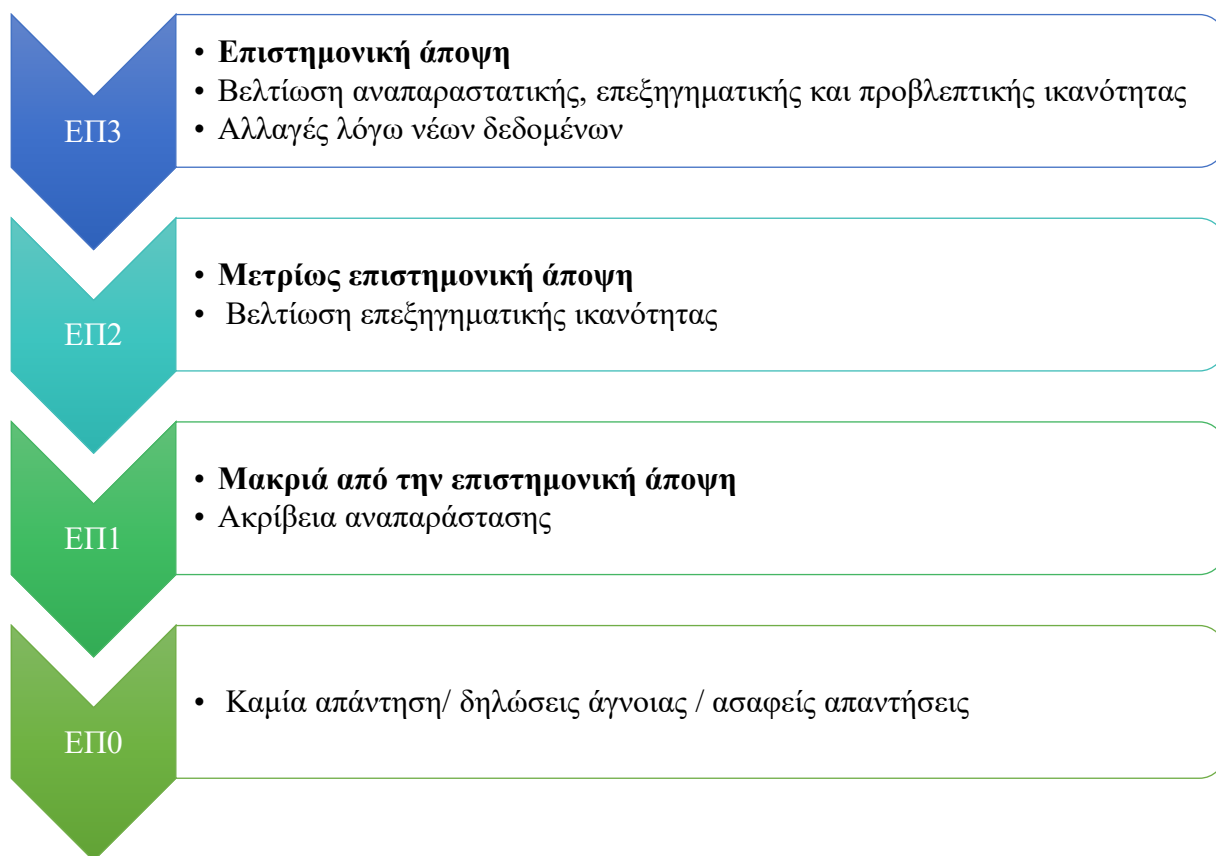
Πιο συγκεκριμένα, στο ανώτερο επίπεδο δηλαδή στην «**Επιστημονική άποψη**», όπως και στους Schwarz et al. (2009), εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ότι τα μοντέλα τροποποιήθηκαν για να βελτιώσουν την αναπαραστατική, επεξηγηματική και προβλεπτική τους ικανότητα. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις όπως του M2 «για να δείξουν καλύτερα την

αναπαράσταση, την εξήγηση και τις προβλέψεις για το φαινόμενο». Επιπλέον, σε αυτό το επίπεδο τοποθετήθηκαν και απαντήσεις που αναφέρονταν στην αλλαγή των μοντέλων ως αποτέλεσμα νέων δεδομένων, αντίληψης λαθών. Παράδειγμα αποτελεί η απάντηση του M11 «γιατί ανακάλυπταν περισσότερα πράγματα για το φαινόμενο για αυτό το αλλάζουν στην πορεία».

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ότι τροποποιήθηκαν για να εξηγούν καλύτερα ή σωστότερα το φαινόμενο. Η έννοια της εξήγησης σε αυτό το επίπεδο είναι διττή. Αναφέρεται τόσο στην βελτίωση του υποκείμενου μηχανισμού του φαινομένου που πραγματοποιεί ο επιστήμονας, αλλά και στην βελτίωση του τρόπου που το εξηγεί, ώστε να κοινωνήσει τη γνώση στους υπόλοιπους. Σε αυτό το επίπεδο κατατάχθηκαν απαντήσεις όπως του μαθητή M8 «για να εξηγήσει στον κόσμο το φαινόμενο αυτό. Όλοι οι άνθρωποι παλιά πίστευαν ότι ο ήλιος γυρίζει γύρω απ' τη γη, αλλά η πραγματικότητα είναι ότι η γη γυρίζει γύρω από τον ήλιο».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες αναφερόταν ότι τροποποιήθηκαν για αναπαραστατικούς λόγους (για να είναι πιο ακριβής η αναπαράσταση, για να είναι πιο όμορφο). Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις όπως αυτή του M25 «για να το κάνουν πιο ρεαλιστικό».

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι δηλώσεις στις οποίες οι μαθητές δεν απάντησαν, πραγματοποίησαν δηλώσεις άγνοιας ή έδωσαν ασαφείς απαντήσεις. Το επίπεδο αυτό διαφέρει από των Schwarz et al. (2009), καθώς στην παρούσα έρευνα, δινόταν ως δεδομένο ότι τα μοντέλα τροποποιήθηκαν και επομένως οι μαθητές δεν μπορούσαν να απαντήσουν αρνητικά.



Σχήμα 8: EM5: Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων-Τροποποίηση μοντέλων

EM6: Χρησιμότητα μοντέλων

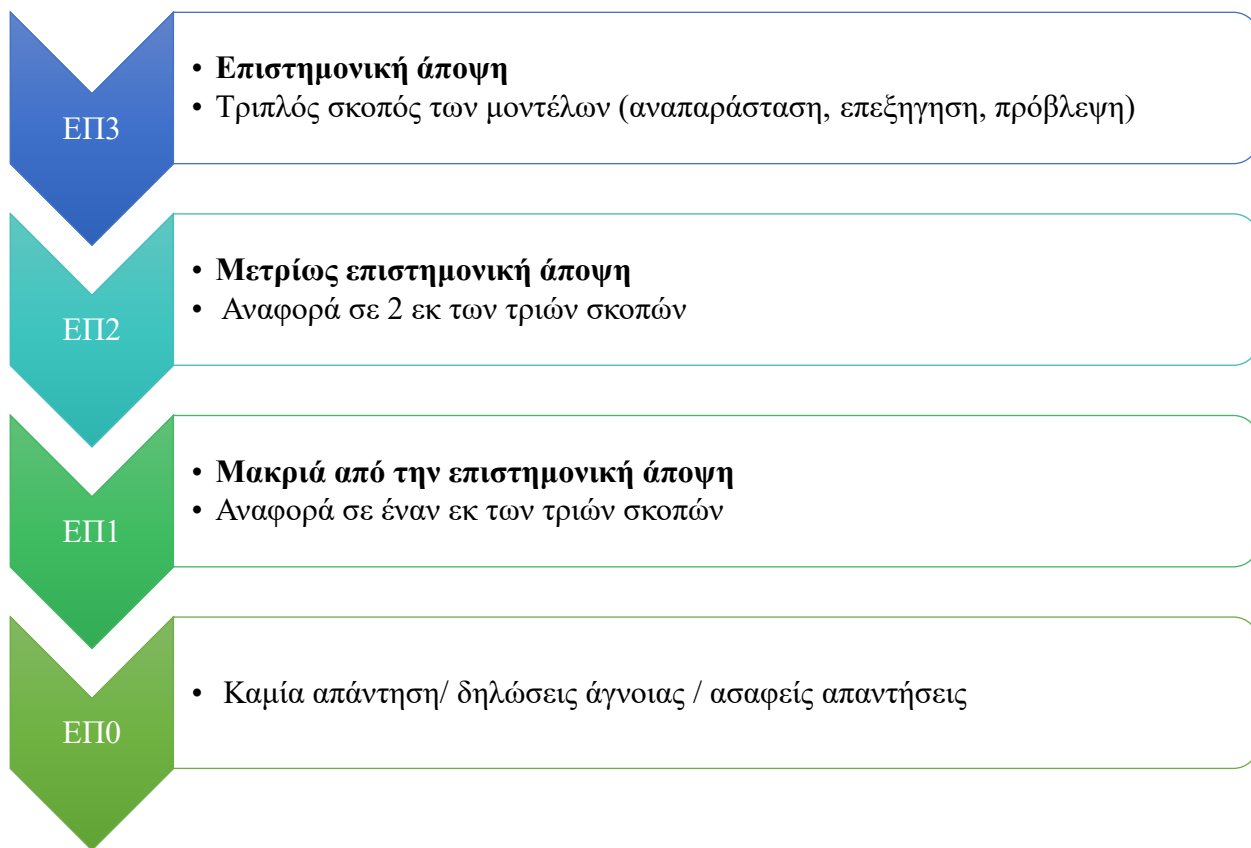
Η συγκεκριμένη ερώτηση είναι εμπνευσμένη από την Καρνάου (2015). Για την διαμόρφωση των επιπέδων χρησιμοποιήθηκε τόσο η βιβλιογραφία που αναφέρεται στο σκοπό των επιστημονικών μοντέλων (Harrison & Treagust, 2000· Schwarz, 2002· Schwarz και White, 2005· Schwarz et al. 2009) όσο και η κατηγοριοποίηση της Καρνάου (2015).

Πιο συγκεκριμένα, στο ανώτερο επίπεδο, δηλαδή στην «**Επιστημονική άποψη**» εντάχθηκαν απαντήσεις οι οποίες ανέφεραν και τους τρεις σκοπούς των επιστημονικών μοντέλων, δηλαδή την αναπαράσταση, την επεξήγηση και την πρόβλεψη. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις, όπως αυτή του μαθητή M1 «Για να αναπαραστήσουμε, να εξηγήσουμε και να προβλέψουμε ένα φαινόμενο», του μαθητή M12 «1) Για να δείξουμε πώς είναι το φαινόμενο 2) να δούμε πώς λειτουργεί το φαινόμενό τους 3) Για να κάνουμε δοκιμές»

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες γινόταν αναφορά σε δύο από τους τρεις σκοπούς των μοντέλων. Σε αυτό το επίπεδο κατατάχθηκαν απαντήσεις, όπως αυτή του M16 «για να κάνουμε προβλέψεις, για να καταλαβαίνουμε καλύτερα το φαινόμενο» και του M21 «για να δούμε το φαινόμενο, την εξήγηση και την αναπαράσταση».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες γινόταν αναφορά μόνο σε έναν από τους τρεις σκοπούς που επιτελούν τα μοντέλα. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις όπως του M62 «για να δούμε την πορεία της μυρωδιάς» και του M34 «για να ξέρουμε πως λειτουργεί η αίσθηση της όσφρησης».

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές δεν απάντησαν, προέβησαν σε δηλώσεις άγνοιας ή έδωσαν ασαφείς απαντήσεις, π.χ. η απάντηση του M42 «μπορούμε να αναπνεύσουμε όποτε θέλουμε, όπως θέλουμε 2. για να μπορούμε να εισπνεύσουμε και να εκπνεύσουμε»



Σχήμα 9: EM6: Χρησιμότητα μοντέλων

EM7: Αξιολόγηση της αναπαραστατικής πληρότητας και της επεξηγηματικής ικανότητας των μοντέλων

Καθώς στη βιβλιογραφία δεν εντοπίστηκαν επίπεδα κατανόησης που να ανταποκρίνονται στην συγκεκριμένη ερώτηση, η διάρθρωση των επιπέδων βασίστηκε στους στόχους της διδακτικής παρέμβασης, που διαμορφώθηκε από την βιβλιογραφία που αναφέρεται στον ορισμό των επιστημονικών μοντέλων (Harrison & Treagust, 2000·Schwarz, 2002· Schwarz και White, 2005·Schwarz et al. 2009), καθώς και από την βιβλιογραφία που αναφέρεται στα στοιχεία που πρέπει να περιλαμβάνει ένα μοντέλο (Constantinou, 1999).

Πιο συγκεκριμένα, στο ανώτερο επίπεδο («**Επιστημονική άποψη**») εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ταυτόχρονα α) την έλλειψη των στοιχείων του μοντέλου (αντικείμενα, μεταβλητές, διαδικασίες) και κωδικοποιήθηκαν ως «αναπαραστατική πληρότητα» και β) την

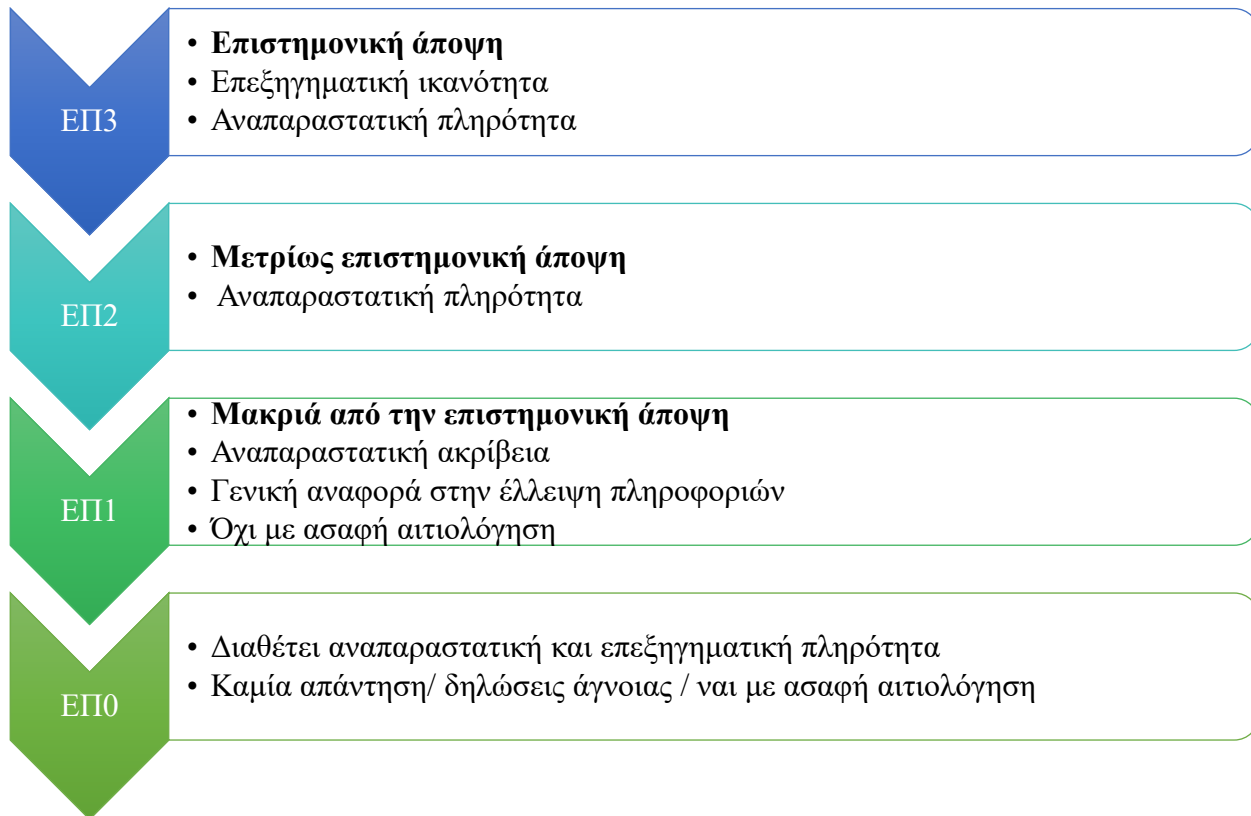
έλλειψη επεξήγησης ή ακόμη και πρόβλεψης και κωδικοποιήθηκαν ως «επεξηγηματική ικανότητα». Σε αυτό το επίπεδο κατατάχθηκαν απαντήσεις όπως π.χ. του M13 «όχι δεν περιλαμβάνει αρκετές πληροφορίες ώστε κάποιος να καταλάβει και δεν εξηγεί» και του M30 «γιατί δεν δίνει ονομασίες και δεν έχει επεξήγηση». Επίσης, σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν και απαντήσεις που αναφέρονταν μόνο στην έλλειψη επεξήγησης ή και πρόβλεψης, που κωδικοποιήθηκαν ως «Έλλειψη σκοπού», όπως π.χ. του M25 «λείπει η εξήγηση», είτε απαντήσεις που ανέφεραν ότι δεν μπορούμε να καταλάβουμε το φαινόμενο οι οποίες υπονοούν την έλλειψη των στοιχείων ή την έλλειψη εξήγησης, όπως π.χ. του M12 «Όχι γιατί δεν μπορείς να το καταλάβεις όπως είναι».

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες γινόταν αναφορά μόνο στην αναπαραστατική πληρότητα του μοντέλου, δηλαδή στην έλλειψη των στοιχείων στην αναπαράσταση που κωδικοποιήθηκαν ως «Στοιχεία του μοντέλου», π.χ. απαντήσεις όπως του M23 «λείπουν τα στοιχεία (π.χ. μύτη)».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες αναφερόταν α) ότι θα έπρεπε να είναι πιο ακριβής η αναπαράσταση, δηλαδή να περιλαμβάνει περισσότερες λεπτομέρειες, και κωδικοποιήθηκε ως «έλλειψη μεγάλης αναπαραστατικής ακρίβειας», ενώ εντάχθηκαν απαντήσεις όπως του M19 «Όχι, γιατί μας δείχνει μόνο τη ρινική κοιλότητα ενώ κατά τη γνώμη μου θα έπρεπε να έχει όλο το αναπνευστικό σύστημα». Επίσης, σε αυτό το επίπεδο τοποθετήθηκαν και απαντήσεις που αναφέρονταν γενικά στην έλλειψη πληροφοριών χωρίς συγκεκριμένες αναφορές, όπως π.χ. του M3 «επειδή δεν μας λέει τις απαραίτητες πληροφορίες». Τέλος, στο επίπεδο αυτό κατατάχθηκαν οι αρνητικές απαντήσεις με ασαφή αιτιολόγηση.

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ότι περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες, π.χ. απαντήσεις όπως αυτή του M7 «νομίζω ότι τα δείχνει όλα όπως είπα, πού πηγαίνει αυτό που αναπνέουμε, πώς αναπνέουμε και τι αναπνέουμε» καθώς και απαντήσεις όπου οι μαθητές δεν απάντησαν, πραγματοποίησαν δηλώσεις άγνοιας ή

έδωσαν ασαφείς απαντήσεις, όπως π.χ. του Μ6 «ναι γιατί θα είναι καλό να ξέρουμε διάφορα πράγματα για την όσφρηση, όχι γιατί μπορεί να μυρίζουμε διάφορα επικίνδυνα πράγματα χωρίς να ξέρουμε τι είναι».



Σχήμα 10: EM7: Αναπαραστατική πληρότητα και επεξηγηματική ικανότητα των μοντέλων

EM8: Αξιολόγηση αν αποτελεί μοντέλο

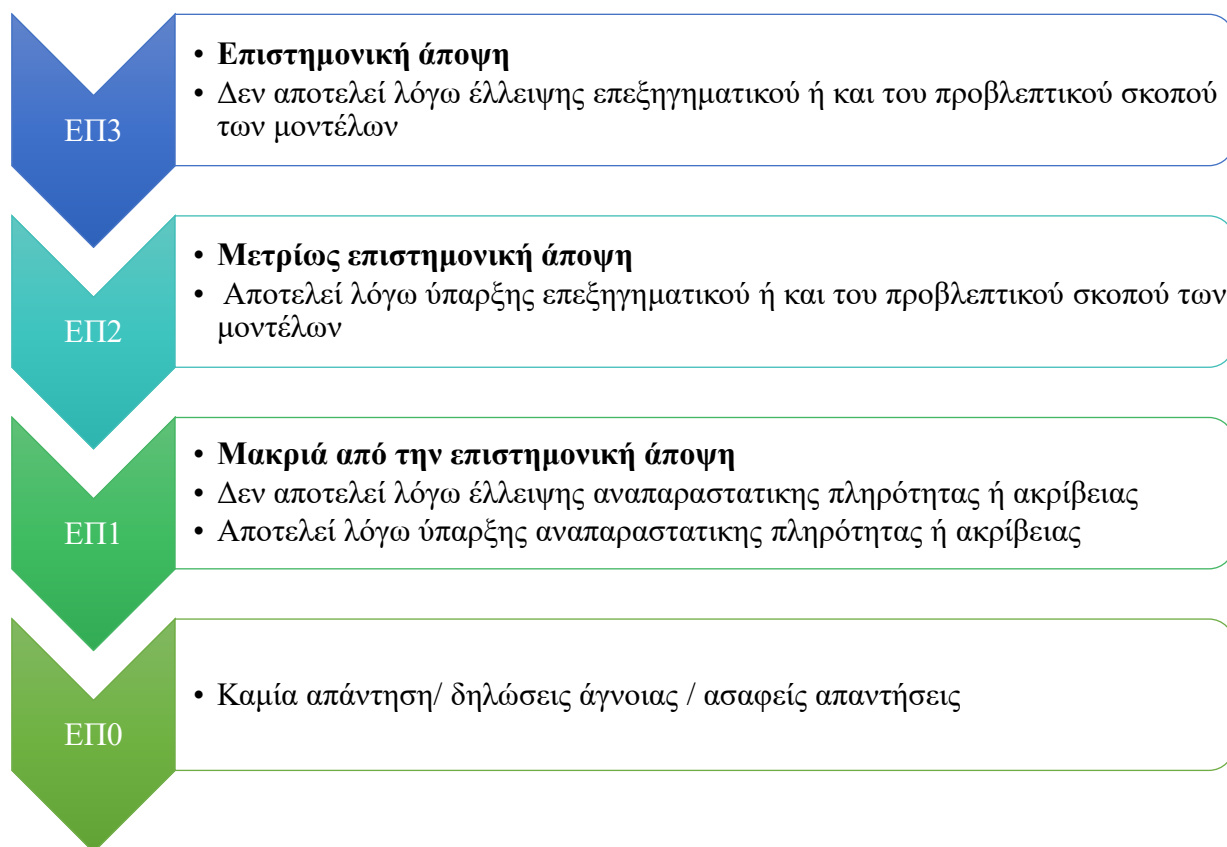
Η ερώτηση αυτή είναι εμπνευσμένη από το διαγνωστικό δοκίμιο της Καρνάου (2015). Η διαμόρφωση των επιπέδων πραγματοποιήθηκε τόσο με βάση τη βιβλιογραφία για την έννοια του επιστημονικού μοντέλου (Harrison & Treagust, 2000·Schwarz, 2002· Schwarz και White, 2005·Schwarz et al. 2009), όσο και με βάση τα επίπεδα που δημιούργησε η Καρνάου (2015). Η συγκεκριμένη ερευνήτρια έχει κατασκευάσει 6 επίπεδα κατανόησης. Παρόλα αυτά για τους σκοπούς της παρούσας έρευνας και την διευκόλυνση των αναλύσεων, κατασκευάστηκαν 4 επίπεδα κατανόησης.

Πιο συγκεκριμένα, στο υψηλότερο επίπεδο, την «**Επιστημονική άποψη**» εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές δήλωσαν ότι δεν αποτελεί μοντέλο και το αιτιολογούν στην βάση της έλλειψης του επεξηγηματικού ή και του προβλεπτικού σκοπού των μοντέλων. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις, όπως π.χ. του M9 «επειδή δεν έχει επεξήγηση για να καταλάβει κάποιος το φαινόμενο της όσφρησης» και του M11 «γιατί είναι ελλιπής ούτε επεξήγηση περιέχει ούτε πρόβλεψη για την θεωρία που δείχνουν».

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ότι αποτελεί επιστημονικό μοντέλο και αναφέρονταν στο σκοπό των μοντέλων, ανέφεραν δηλαδή την επεξήγηση ή και την πρόβλεψη. Σε αυτό το επίπεδο κατατάχθηκαν απαντήσεις όπως αυτή του M33 «γιατί δείχνει πως λειτουργεί η όσφρηση», του M34 «γιατί έχει επεξήγηση».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές υποστήριζαν ότι αποτελεί ή δεν αποτελεί επιστημονικό μοντέλο και το αιτιολογούν άμεσα ή έμμεσα με επιχειρήματα που σχετίζονταν με την μη ικανοποιητική αναπαράσταση (π.χ. την έλλειψη στοιχείων-πληροφοριών/ακρίβεια) του φαινομένου. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις όπως π.χ. του M5 «επειδή λείπουν τα κατάλληλα στοιχεία. Αν τα βάζαμε, τότε ναι» και του του M31 «γιατί πιστεύω θα ήταν καλύτερο να έδειχνε όλα τα όργανα του σώματος».

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές δεν έδωσαν καμία απάντηση, δηλώσεις άγνοιας, ασαφείς απαντήσεις, π.χ. M3 «γιατί και αυτό είναι ένα φαινόμενο»



Σχήμα 11: EM8: Αξιολόγηση αν αποτελεί μοντέλο

2.7.2 Ανάλυση διαγνωστικού δοκιμίου για την N-ET

Η επαγωγική μέθοδος ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε για την ομαδοποίηση και την ανάδειξη επιπέδων αναφορικά με το διαγνωστικό δοκίμιο και τον σχεδιαστικό άξονα της κατανόησης του περιεχομένου της N-ET. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος ανάλυσης είναι γιατί δεν εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία κατηγορίες ανάλυσης ή επίπεδα κατανόησης που να ανταποκρίνονται στα ερωτήματα που τέθηκαν. Ταυτόχρονα, κατά την ανάλυση των δεδομένων λήφθηκε υπόψη η επιθυμητή γνώση στην οποία στόχευε η διδακτική παρέμβαση (Ζουπίδης, 2012), ώστε να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μάθησης.

Ο σκοπός της επαγωγικής μεθόδου ανάλυσης είναι η κατάληξη σε συνοπτικές κατηγορίες απευθείας, οι οποίες προέρχονται από τα ίδια τα δεδομένα και όχι από τη θεωρία. Για την ανάλυση των δεδομένων 1) αρχικά, προσδιορίστηκαν οι θεματικοί άξονες τους οποίους

διερευνούσε η κάθε ερώτηση του δοκιμίου (βλέπε πίνακα 8), στη συνέχεια 2) πραγματοποιήθηκε αναζήτηση ιδεών με θεωρητικό χαρακτήρα, λέξη προς λέξη με σκοπό την δημιουργία των επιπέδων. Καθώς το ανώτερο επίπεδο κατανόησης διαμορφώθηκε με βάση τους στόχους της διδασκαλίας, όσες μονάδες ανάλυσης εφάπτονταν με τους επιδιωκόμενους στόχους της διδασκαλίας, εντάσσονταν στο ανώτερο επίπεδο. Κάθε νέα μονάδα ανάλυσης που δεν εντασσόταν σε αυτό το επίπεδο, οδηγούσε στην δημιουργία του κατώτερου επιπέδου. Όταν μία μονάδα ανάλυσης ταίριαζε με κάποιο υπάρχον επίπεδο, εντασσόταν εκεί, διαφορετικά νέα επίπεδα προκύπταν.

Μετά τον αρχικό έλεγχο των δεδομένων 3) ακολούθησε η συνολική αναθεώρηση των επιπέδων. Ελέγχθηκε η λογική των επιπέδων να είναι ξεκάθαρη και να μη υπάρχουν επικαλύψεις. Καθώς, επιδιώχθηκε η κατασκευή 4 διαβαθμιζόμενων επιπέδων κατανόησης, από την πιο επιστημονική στην πιο διαισθητική, σε αυτό το σημείο αποφασίστηκε πως οι κατηγορίες που προέκυψαν θα διαβαθμιστούν, ώστε να αντικατοπτρίζουν τα τέσσερα επίπεδα κατανόησης, σε σύγκριση με τους στόχους της διδασκαλίας και το αντίστοιχο ανώτερο επίπεδο που καθορίστηκε. Μετά τον καθορισμό των τελικών επιπέδων 4) η διαδικασία ελέγχου προσαρμογής των δεδομένων στις κατηγορίες επαναλήφθηκε. Την διαδικασία ελέγχου και επανελέγχου ακολούθησε η διαδικασία βαθμολόγησης από τον ερευνητή και από έναν δεύτερο βαθμολογητή για την εύρεση συμφωνίας. Κατά την διαδικασία αυτή, όταν υπήρξε εισήγηση από το δεύτερο βαθμολογητή για αλλαγή ή διεύρυνση των επιπέδων κατανόησης και υπήρχε συμφωνία, τότε επαναλαμβανόταν η διαδικασία ελέγχου και επανελέγχου των δεδομένων.

Πίνακας 8: Επίπεδα κατανόησης της Ν-ετ

Κατεύθυνση ανάλυσης	Ερωτήση	Επίπεδο 3 «επιστημονική άποψη»	Επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη»	Επίπεδο 1 «Μακριά από την επιστημονική άποψη»	Επίπεδο 0
Α)Υπαρξη μικρότερων αντικειμένων από αυτά που είναι ορατά με το μάτι και με ποιον τρόπο μπορούμε να τα δούμε	EN 1	Ανέφεραν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα και αναφορά στα μικροσκόπια ως όργανα παρατήρησης	Ανέφεραν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα και δηλώνουν ότι μπορούμε να τα δούμε με μεγεθυντικό φακό	Α) Ανέφεραν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα αλλά δεν ανέφεραν το όργανο παρατήρησης Β) ειδικά όργανα χωρίς αναφορά στη λειτουργία τους Γ) Ή ανέφεραν ότι μπορούμε να τα δούμε πλησιάζοντας πιο κοντά.	1.Απαντούν ότι δεν υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα 2.Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις
Ταξινόμηση επιπέδων [μάκρο-, μικρο-, νάνο-] στα αντίστοιχα όργανα παρατήρησης και τα αντίστοιχα αντικείμενα	EN 2	Σωστή σύνδεση επιπέδου με το σωστό όργανο παρατήρησης & το σωστό αντικείμενο αναφοράς (κανένα λάθος)	Σωστή σύνδεση όλων επιπέδων της κλίμακας με το σωστό όργανο αλλά 2 ή 3 λάθη στη σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο	2 ή 3 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο αλλά σωστή (κανένα λάθος) σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο	Α) 2 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο και 2 λάθη στη σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο Β) 2 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο και 3 λάθη στη σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο Γ) 3 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο και 2 λάθη στη σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο Δ) Λάθος αντιστοίχιση και των τριών και στις δύο

					στήλες/ Καμία απάντηση
Φύλλα μαρουλιού, λάχανου και τριαντάφυλλου συμπεριφορά σταγόνας	EN 3	Σωστή περιγραφή του σχήματος και της κίνησης της σταγόνας σε τουλάχιστον 5 από τα έξι	Σωστή περιγραφή του σχήματος και της κίνησης της σταγόνας σε 3 ή 4 από τα έξι	Σωστή περιγραφή του σχήματος και της κίνησης της σταγόνας σε 2	Σωστή 1 ή 0 από τα έξι
Α) Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος- αιτιολόγηση συμπεριφοράς σταγόνας	4	Αναφορά σε έννοιες του νανογραμματισμού: αναφορά στη μικρο- και νανοδομή (μικροεξογκώματα, ή και μεταξύ τους αποστάσεις και ύψος, νανοπροεξοχές), ή/ και στη λειτουργία της επιφάνειας των φυτών: υδροφοβικότητα, υδροφιλικότητα	Αναφορές σε μικρότερο επίπεδο από τη μακρο χωρίς σαφήνεια	Αναφορές σε χαρακτηριστικά της μακροκλιμακάς του φύλλου	Α) Ασαφείς απαντήσεις ως προς την κλίμακα Β) Αναφορές σε χαρακτηριστικά της σταγόνας Γ) Αναφορά σε χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος Καμία απάντηση/ δηλώσεις άγνοιας/ ασαφείς απαντήσεις

EN1: Ύπαρξη μικρότερων αντικειμένων από αυτά που είναι ορατά με το μάτι και με ποιον τρόπο μπορούμε να τα δούμε.

Η ερώτηση «Υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που βλέπουμε με τα μάτια μας; Αν ναι πως μπορούμε να τα δούμε;» διερευνά κατά πόσο οι μαθητές θεωρούν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που μπορούμε να δούμε με τα μάτια μας, καθώς και τον τρόπο που αυτά είναι ορατά. Για την διαμόρφωση των επιπέδων ως ανώτερο επίπεδο τέθηκε ο στόχος της διδασκαλίας, δηλαδή οι μαθητές να κατανοήσουν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που είναι ορατά με γυμνό μάτι και να γνωρίσουν τα μέσα προσέγγισής τους.

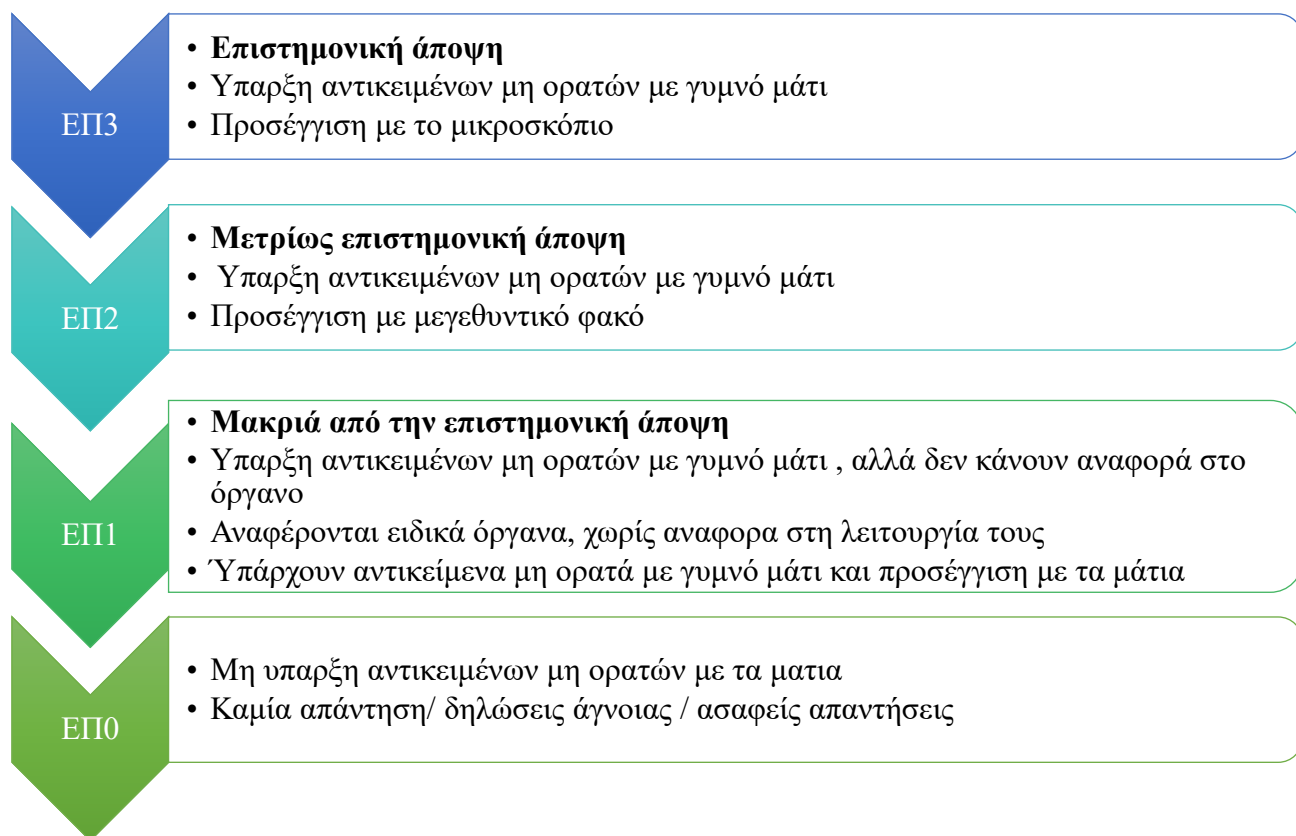
Πιο συγκεκριμένα, στο ανώτερο επίπεδο δηλαδή στην «**Επιστημονική άποψη**» εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που είναι ορατά με γυμνό μάτι καθώς και ότι μπορούμε να τα δούμε με το μικροσκόπιο. Είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι θεωρήθηκαν σωστές οι απαντήσεις που αναφέρονταν ευρύτερα στα

μικροσκόπια, χωρίς να διευκρινίσουν ποιο, καθώς στην ερώτηση δεν τίθεται το ζήτημα διαχωρισμού μικρο- με νάνο-κλίμακα, δηλαδή οι μαθητές δεν ερωτούνταν αναφορικά με το μικρότερο αντικείμενο και το όργανο παρατήρησής του. Απαντήσεις που εντάχθηκαν σε αυτό το επίπεδο ήταν αυτές όπως του M5 «με οπτικά μικροσκόπια και ηλεκτρονικά μικροσκόπια» και του M46 «ναι, και τα βλέπουμε με τα μικροσκόπια».

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές υποστήριζαν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που είναι ορατά με γυμνό μάτι και τα βλέπουμε με μεγεθυντικό φακό, π.χ. του M54 «για να τα δούμε όμως θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μεγεθυντικό φακό ή για περιπτώσεις όπως μικρόβια, ειδικά μηχανήματα».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές ανέφεραν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα αλλά ως όργανο ανέφεραν και πάλι τα μάτια, π.χ. η απάντηση του M6 «ναι, υπάρχουν. Μπορούμε να τα δούμε. Ερχόμαστε πιο κοντά στο αντικείμενο αυτό». Επιπλέον, στο επίπεδο αυτό κατατάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες αναφερόταν η χρήση ειδικών οργάνων χωρίς αναφορά στη λειτουργία τους, όπως π.χ. η απάντηση του M17 «Ναι, μπορούμε να τα δούμε με ειδικούς φακούς». Επίσης σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες δε γινόταν αναφορά στο όργανο.

Τέλος, στο **επίπεδο 0** τοποθετήθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές δήλωναν ότι δεν υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα, όπως η απάντηση του M46 «όχι δεν υπάρχουν» καθώς και απαντήσεις όπου οι μαθητές δεν απαντούσαν, πραγματοποιούσαν δηλώσεις άγνοιας ή έδιναν ασαφείς απαντήσεις.



Σχήμα 12: EN1: Υπαρξη μικρότερων αντικειμένων από αυτά που είναι ορατά με το μάτι και με ποιον τρόπο μπορούμε να τα δούμε.

EN2: Ταξινόμηση επιπέδων [μάκρο-, μικρο-, νάνο-] στα αντίστοιχα όργανα παρατήρησης και τα αντίστοιχα αντικείμενα

Η συγκεκριμένη ερώτηση-αντιστοίχιση σχετίζεται με τις Μεγάλες Ιδέες για το «μέγεθος και την κλίμακα» καθώς και τη μεγάλη ιδέα αναφορικά με τα «εργαλεία και όργανα » (Stevens et al., 2009, Stevens et al., 2007), όπως αυτές προσεγγίστηκαν μετά από το διδακτικό μετασχηματισμό. Η διαμόρφωση των επιπέδων βασίστηκε στους στόχους της διδασκαλίας και στα σημεία που κατά τη διδακτική παρέμβαση δόθηκε μεγαλύτερη έμφαση.

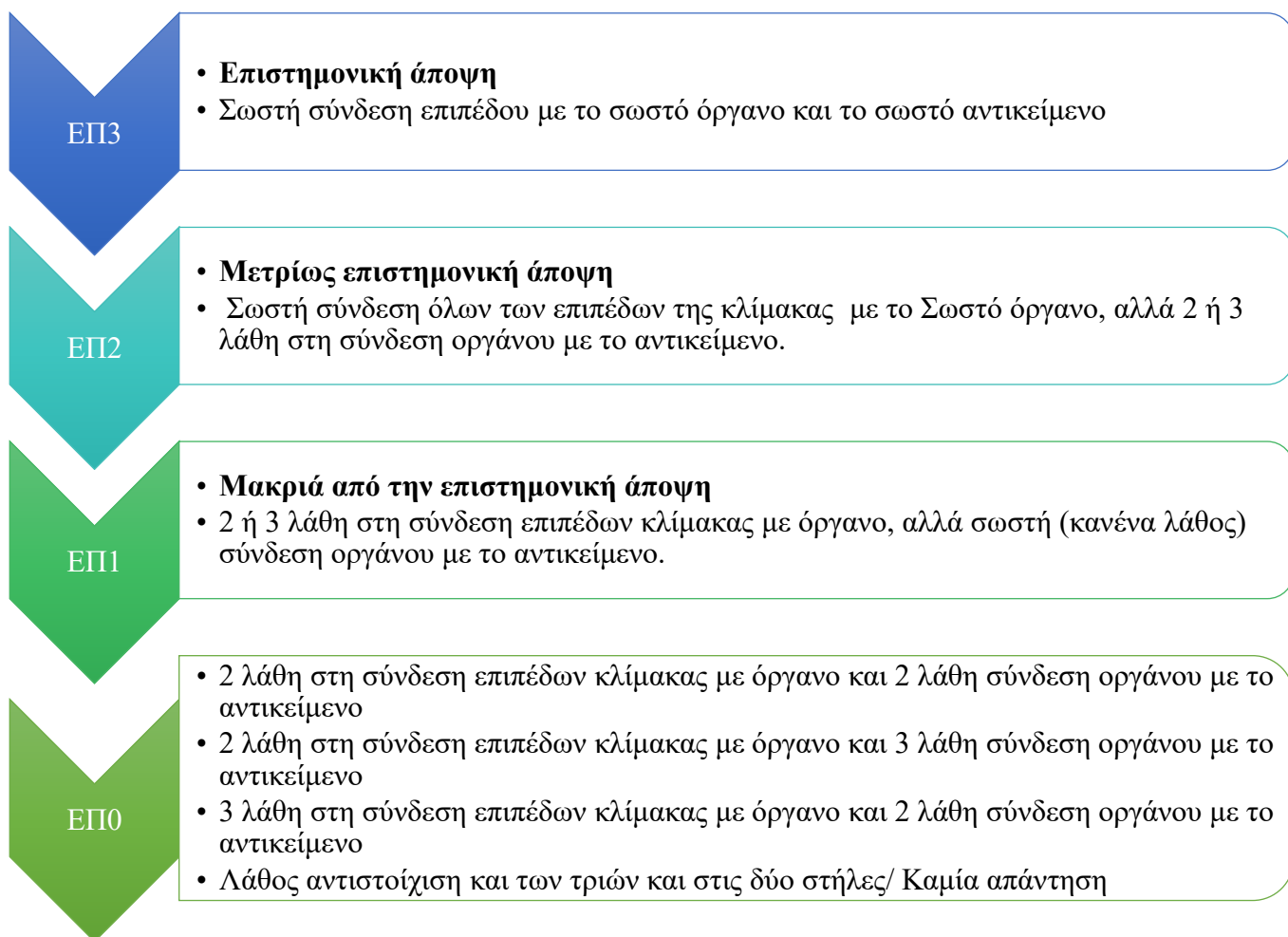
Πιο συγκεκριμένα, στο ανώτερο επίπεδο, δηλαδή στην «**Επιστημονική άποψη**» τοποθετήθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές πραγματοποίησαν ταυτόχρονα σωστή σύνδεση επιπέδου (μάκρο-, μικρο-, νάνο-) με το σωστό όργανο (μάτια, οπτικό μικροσκόπιο, ηλεκτρονικό μικροσκόπιο) και το σωστό αντικείμενο (δείγμα αίματος σε φιαλίδιο, ερυθρά αιμοσφαίρια, ιός).

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν δηλώσεις στις οποίες οι μαθητές πραγματοποιούσαν σωστή σύνδεση όλων επιπέδων της κλίμακας με το σωστό όργανο παρατήρησης, αλλά έκαναν 2 ή 3 λάθη στη σύνδεση του οργάνου με το αντικείμενο.

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές πραγματοποίησαν 2 ή 3 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο αλλά επέτυχαν σωστή (κανένα λάθος) σύνδεση του οργάνου με το αντικείμενο.

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να διευκρινιστεί η επιλογή των επιπέδων 2 και 1. Η διαμόρφωση αυτών των δύο επιπέδων πραγματοποιήθηκε με βάση τους σκοπούς που στόχευε να επιτύχει η διδακτική παρέμβαση και το χρόνο που αφιερώθηκε αναφορικά με τις δύο αυτές μεγάλες ιδέες. Η διδακτική παρέμβαση στόχευε κατά κύριο λόγο στην διάκριση των τριών κόσμων (μακρόκοσμο, μικρόκοσμο και νανόκοσμο), καθώς και στα εργαλεία και όργανα με τα οποία μπορούμε να προσεγγίσουμε τον κάθε «κόσμο», ενώ αντίθετα αφιερώθηκε πολύ λίγος χρόνος σε συγκεκριμένα αντικείμενα αναφοράς του κάθε κόσμου, και αυτό στη βάση προσέγγισης των εργαλείων και οργάνων παρατήρησης και των τριών «κόσμων».

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές έκαναν Α) 2 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο και 2 λάθη σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο, Β) 2 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο και 3 λάθη σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο, Γ) 3 λάθη στη σύνδεση επιπέδων κλίμακας με όργανο και 2 λάθη σύνδεση οργάνου με το αντικείμενο, Δ) Λάθος αντιστοίχιση και των τριών και στις δύο στήλες/ Καμία απάντηση.



Σχήμα 13: EN2: Ταξινόμηση επιπέδων [μάκρο-, μικρο-, νάνο-] στα αντίστοιχα όργανα παρατήρησης και τα αντίστοιχα αντικείμενα

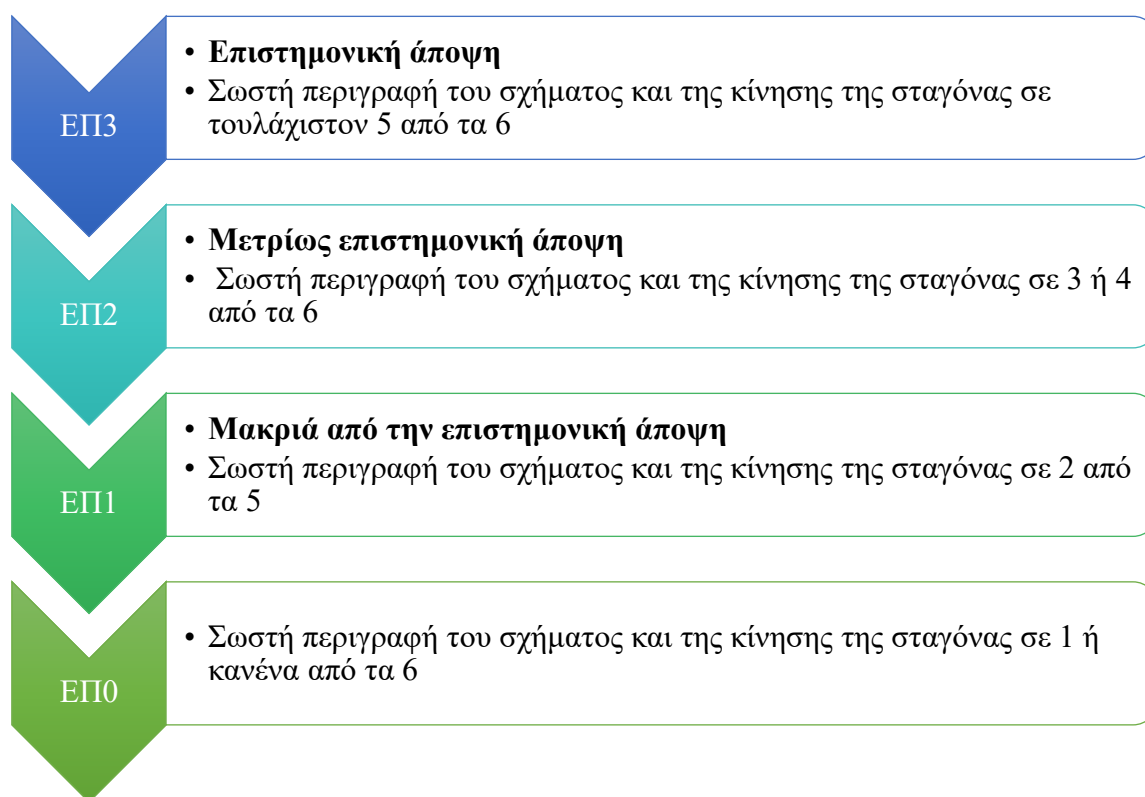
EN3: Λειτουργία επιφάνειας των φύλλων μαρουλιού, λάχανου και τριαντάφυλλου

Στη συγκεκριμένη ερώτηση, οι απαντήσεις των μαθητών που ανταποκρίνονταν στην επιστημονική άποψη για α) το σχήμα και β) την κίνηση της σταγόνας στα τρία φύλλα, βαθμολογήθηκαν ως σωστές, ενώ αυτές που δεν ανταποκρίνονταν ως λάθος. Στις λάθος απαντήσεις κατατάσσονταν οι δηλώσεις άγνοιας και οι ασαφείς απαντήσεις. Στη συνέχεια καταμετρούνταν ο αριθμός των συνολικών σωστών απαντήσεων ανά μαθητή. Τα επίπεδα διαμορφώθηκαν με βάση των αριθμών των σωστών απαντήσεων που έδωσαν οι μαθητές.

Στο ανώτερο επίπεδο, την «**Επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές απάντησαν σωστά στην περιγραφή του σχήματος και της κίνησης της σταγόνας σε τουλάχιστον 5 από τα 6.

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές περιέγραψαν σωστά το σχήμα και την κίνηση της σταγόνας σε 3 ή 4 από τα 6. Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές πραγματοποίησαν σωστή περιγραφή του σχήματος και της κίνησης της σταγόνας σε 2 από τα 6.

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές έκαναν σωστή περιγραφή του σχήματος και της κίνησης της σταγόνας σε 1 ή κανένα από τα 6, δεν απάντησαν, πραγματοποίησαν δηλώσεις άγνοιας ή έδωσαν ασαφείς απαντήσεις,



Σχήμα 14: Επίπεδα κατανόησης λειτουργίας επιφανειών

EN4:Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος-αιτιολόγηση συμπεριφοράς σταγόνας

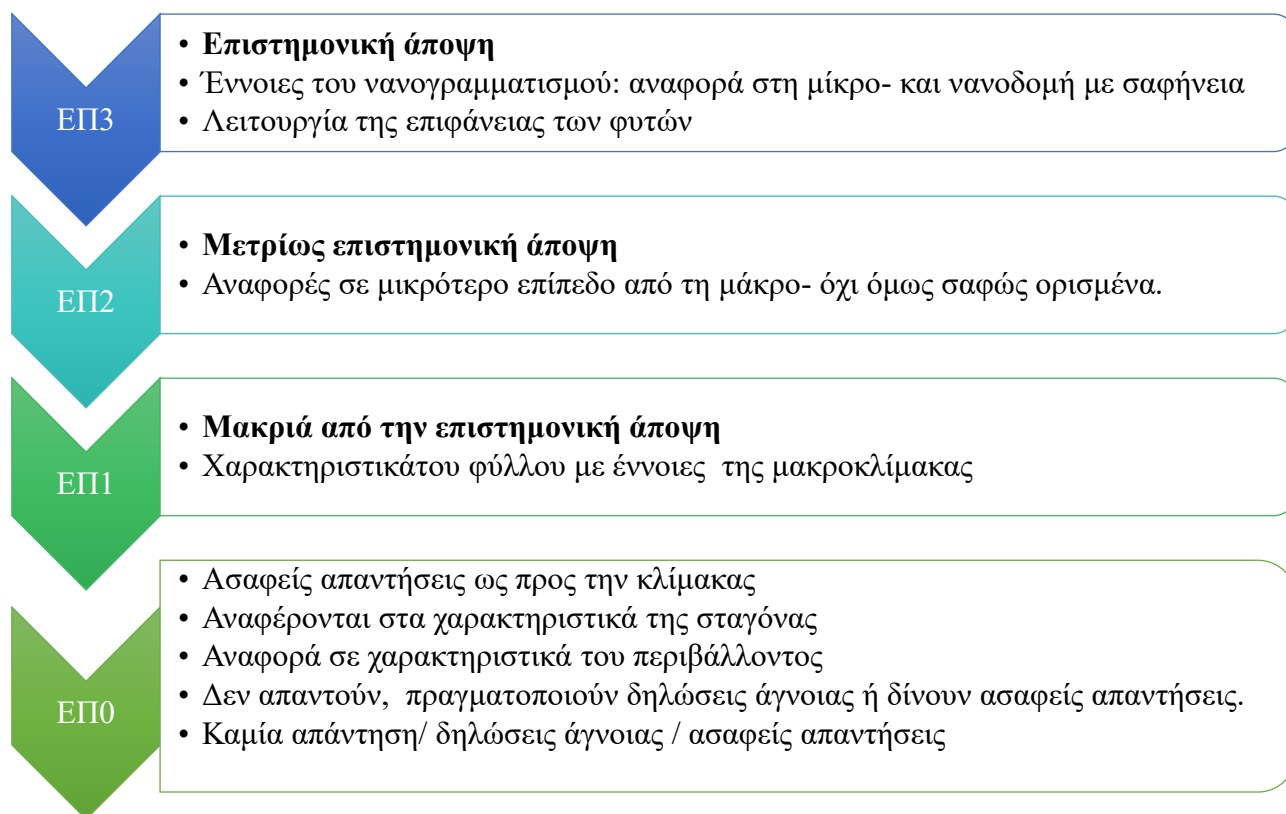
Η διαμόρφωση των επιπέδων στην ερώτηση: «Οι σταγόνες νερού συμπεριφέρονται [κίνηση και σχήμα] διαφορετικά ή το ίδιο στα φύλλα; Γιατί πιστεύεις ότι συμβαίνει αυτό;» βασίστηκε στους στόχους της διδακτικής παρέμβασης. Η αξιολόγηση των απαντήσεων πραγματοποιήθηκε στην βάση της σαφήνειας των δηλώσεων ως προς την κλίμακα αναφοράς.

Πιο συγκεκριμένα, στο υψηλότερο επίπεδο, αυτό της «**Επιστημονικής άποψης**» εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρονταν σε έννοιες του νανογραμματισμού: αναφορά στη μικρο- και νανοδομή με σαφήνεια (μικροεξογκώματα, ή και μεταξύ τους αποστάσεις και το ύψος τους, νανοπροεξοχές), ή/και την λειτουργία της επιφάνειας των φυτών: υδροφοβικότητα, υδροφιλικότητα. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις όπως του M15 «το λάχανο και το τριαντάφυλλο έχουν μικροεξογκώματα και νανοπροεξοχές και είναι υδρόφιλα, το μαρούλι δεν έχει μικροεξογκώματα και νανοπροεξοχές, είναι υδρόφοβο»

Στο δεύτερο επίπεδο κατανόησης «**Μετρίως επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρονταν σε χαρακτηριστικά σε μικρότερο επίπεδο από τη μακρο-, όχι όμως σαφώς ορισμένα. Σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν απαντήσεις όπως του M14 «Λόγω της διάταξης των μορίων».

Στο πρώτο επίπεδο κατανόησης «**Μακριά από την επιστημονική άποψη**», εντάχθηκαν απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές αναφέρονταν σε χαρακτηριστικά της μακροκλίμακας του φύλλου. Σε αυτό το επίπεδο κατατάσσονται απαντήσεις όπως του M4 «γιατί το σχήμα του φύλλου μπορεί να καθορίσει την ταχύτητα της σταγόνας και το σχήμα της».

Τέλος, στο **επίπεδο 0** εντάχθηκαν οι απαντήσεις στις οποίες οι μαθητές έδωσαν α) ασαφείς απαντήσεις ως προς την κλίμακα, όπως ο M25 «γιατί είναι διαφορετικά τα φύλλα», β) αναφέρονταν στα χαρακτηριστικά της σταγόνας, όπως ο M45 «ανάλογα πώς πέφτουν οι σταγόνες», γ) δεν απάντησαν, πραγματοποίησαν δηλώσεις άγνοιας ή έδωσαν ασαφείς απαντήσεις.



Σχήμα 15: ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος

2.7.3 Συμφωνία μεταξύ βαθμολογητών

Η αξιολόγηση των απαντήσεων των μαθητών πραγματοποιήθηκε από δύο ερευνητές. Ο πρώτος βαθμολογητής είχε γνώσεις για το πεδίο της N-ET, των επιστημονικών μοντέλων και της εννοιολογικής αλλαγής. Ο δεύτερος βαθμολογητής ήταν γνώστης της N-ET και των επιστημονικών μοντέλων. Κάθε βαθμολογητής βαθμολόγησε αρχικά ατομικά τις απαντήσεις των μαθητών. Για την εύρεση της συμφωνίας μεταξύ των βαθμολογητών χρησιμοποιήθηκαν τα κριτήρια 1) Krippendorff's alpha coefficient, K_{α} (Krippendorff, 2004) και 2) ο δείκτης Cohen's Kappa (Cohen, 1968). Η τιμή (Value) του Kappa κυμαίνεται από 0 μέχρι 1. Το 1 σημαίνει ότι υπάρχει πλήρης συμφωνία, ενώ το 0 ότι δεν υπάρχει συμφωνία (Cohen, 1968). Η συμφωνία των βαθμολογητών για όλα τα στοιχεία στο προδιαγνωστικό και μεταδιαγνωστικό δοκίμιο για το κριτήριο K_{α} ήταν μεταξύ 0.92 και 1, ενώ για το κριτήριο Cohen's Kappa

μεταξύ .81 και 1, όπως φαίνεται αναλυτικά στον πίνακα 9. Από την εφαρμογή του κριτηρίου φαίνεται ότι η συμφωνία μεταξύ των βαθμολογητών ήταν εξαιρετικά υψηλή και επομένως η κωδικοποίηση αξιόπιστη. Στις περιπτώσεις που υπήρξε διαφωνία μεταξύ των βαθμολογητών, αυτή λύθηκε μετά από συζήτηση, με αποτέλεσμα την πλήρη συμφωνία για όλα τα στοιχεία.

Πίνακας 9: Δείκτες συμφωνίας μεταξύ βαθμολογητών

Δοκίμιο	Ερώτηση	Συμφωνία Προδιαγνωστικό	Συμφωνία μεταδιαγνωστικό
Φύση και ρόλος των μοντέλων	1: Περιέγραψε πώς καταλαβαίνεις την έννοια επιστημονικό μοντέλο.	.93 / .87	.99/ .94
	3: Πιστεύεις ότι θα μπορούσαν να υπάρχουν περισσότερα από ένα επιστημονικά μοντέλα για να αναπαραστήσουν το φαινόμενο της μέρας και της νύχτας; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.	.97/ .90	.97/ .91
	4: Πιστεύεις ότι τα αντικείμενα της αναπαράστασης [ο ήλιος- η γη] θα έπρεπε να μοιάζουν περισσότερο με το πώς είναι στη πραγματικότητα ή όχι; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.	.98/ .87	.97/ .89
	5: Οι επιστήμονες στο παρελθόν τροποποίησαν μοντέλα που είχαν δημιουργηθεί για να εξηγήσουν το φαινόμενο της μέρας και της νύχτας. Για ποιο λόγο πιστεύεις ότι συνέβη αυτό; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.	.97/ .93	.99/ .98
	6: Να αναφέρεις τρεις τουλάχιστον λόγους για τους οποίους θεωρείς ότι είναι χρήσιμο να φτιάχνουμε τέτοιες αναπαραστάσεις. Αιτιολόγησε την απάντησή σου.	.94/ .85	.95/ .81
	7: Α) Πιστεύεις ότι αυτή η αναπαράσταση περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για να καταλάβει κάποιος πώς λειτουργεί η αίσθηση της όσφρησης; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.	.96/ .92	.97/ .89

	8: Β) Θα μπορούσε αυτή η αναπαράσταση να θεωρηθεί ότι αποτελεί επιστημονικό μοντέλο για την αίσθηση της όσφρησης; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.	.97/ .91	.98/ .93
Περιεχόμενο N-ET	1: Υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που βλέπουμε με τα μάτια μας; Αν ναι πως μπορούμε να τα δούμε;	.98/ .91	1/ 1
	2: Αντιστοίχιση τριών στηλών	1/ 1	1/1
	3: Η φίλη μου με ρώτησε πώς πιστεύω ότι θα συμπεριφέρονται οι σταγόνες της βροχής στο φύλλο του μαρουλιού, του λάχανου και στα πέταλα του τριαντάφυλλου! Μπορείς να με βοηθήσεις;	.96/ .90	.99/ .97
	4: Οι σταγόνες νερού συμπεριφέρονται [κίνηση και σχήμα] διαφορετικά ή το ίδιο στα φύλλα; Γιατί πιστεύεις ότι συμβαίνει αυτό;	.92/ .94	.98/ .92

2.7.4 Στατιστική ανάλυση

Για τη συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν απόλυτες και σχετικές συχνότητες (ποσοστά %), μέσοι όροι, τυπικές αποκλίσεις, συντελεστές συσχέτισης (r του Pearson) και συμφωνίας (Kappa του Cohen και το Krippendorff's alpha coefficient). Για τη σύγκριση των αρχικών-τελικών επιδόσεων των μαθητών στα προδιαγνωστικά και μεταδιαγνωστικά δοκίμια χρησιμοποιήθηκε ο μη παραμετρικός έλεγχος Wilcoxon.

Για τη διερεύνηση των ερευνητικών ερωτημάτων χρησιμοποιήθηκε η απλή γραμμική παλινδρόμηση και η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Το επίπεδο σημαντικότητας σε όλους τους στατιστικούς ελέγχους προκαθορίστηκε σε $p \leq 0.05$. Οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν με το στατιστικό πακέτο SPSS version 23.

Κεφάλαιο Τρίτο: Αποτελέσματα

3.1 Αλλαγή των ιδεών για τα επιστημονικά μοντέλα και το περιεχόμενο της N-ET

Για τη μελέτη της αλλαγής των ιδεών των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων, αλλά και για το περιεχόμενο της N-ET, πραγματοποιήθηκε ανά ερώτηση μη παραμετρικός έλεγχος σύγκρισης της αρχικής με την τελική επίδοση των μαθητών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, υπήρξε μετατόπιση των ιδεών των μαθητών, μετά τη διδακτική παρέμβαση, από τα κατώτερα προς τα ανώτερα επίπεδα κατανόησης. Επιπλέον, η αλλαγή αυτή ήταν σε όλες τις περιπτώσεις στατιστικά σημαντική, πλην της αλλαγής των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τη μεταβλητότητα των μοντέλων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αναλυτικά ανά διαγνωστικό δοκίμιο και ανά ερώτηση.

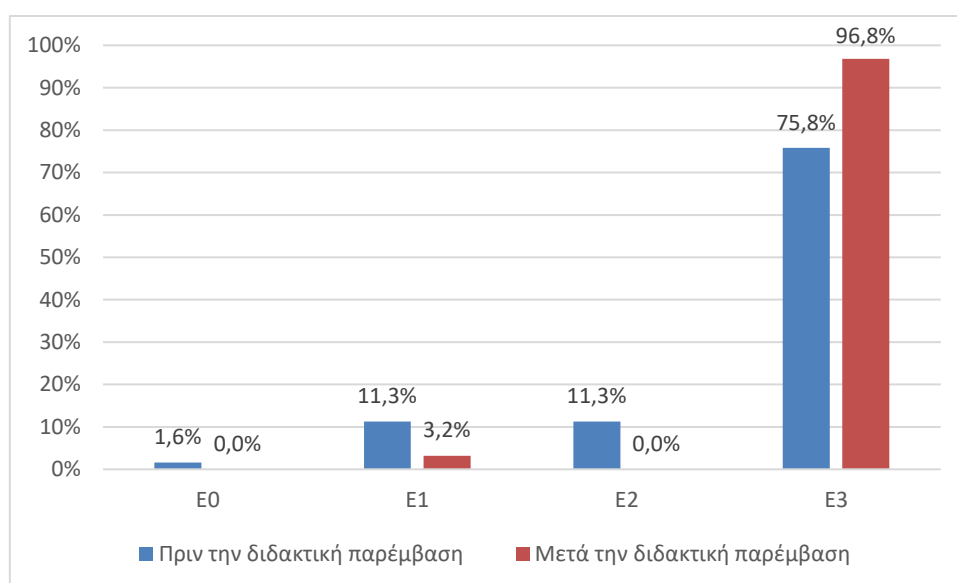
3.1.1 Αλλαγή των ιδεών αναφορικά με το περιεχόμενο της N-ET

EN1: Αλλαγή των ιδεών των μαθητών αναφορικά με το μέγεθος και τα όργανα παρατήρησης

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 1, παρατηρείται μία μετατόπιση των μαθητών από το επίπεδο 0, το επίπεδο 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη» και το επίπεδο 2 «Μετρίως επιστημονική άποψη» στο επίπεδο 3 «Επιστημονική άποψη». Πιο συγκεκριμένα, στο επίπεδο 0, με δηλώσεις που υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από τα ορατά με το μάτι ή με ασαφείς απαντήσεις, υπήρχε ένας μαθητής. Στο επίπεδο 1 (E1), με απαντήσεις που αναφέρονταν στην ύπαρξη μικρότερων αντικείμενων, χωρίς αναφορά στο όργανο παρατήρησης ή αναφορά σε ειδικά όργανα χωρίς αναφορά στη λειτουργία τους ή αναφορά στην ικανότητα παρατήρησης πλησιάζοντας σε αυτά π.χ. «ναι, αφού υπάρχουν τα μάτια. με τα μάτια μπορούμε να δούμε μεγάλα αντικείμενα και μικρά αντικείμενα», υπήρχαν αρχικά 7 μαθητές (11,3 %). Μετά τη διδακτική παρέμβαση έμειναν στο ίδιο επίπεδο 2 μαθητές (3,2 %).

Στο προδιαγνωστικό δοκίμιο υπήρχαν 7 μαθητές (11,3%) στο επίπεδο κατανόησης 2 (E2), με αναφορές στην ύπαρξη μικρότερων αντικειμένων και την προσέγγισή τους με μεγεθυντικό φακό π.χ. «ναι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα και μπορούμε να τα δούμε με μεγεθυντικό φακό». Αντίθετα, στο μεταδιαγνωστικό δοκίμιο δεν υπήρχε κανείς μαθητής σε αυτό το επίπεδο. Οι μαθητές στο επίπεδο 3 (E3) αυξήθηκαν από 47 (75,8%) σε 60 (96,8%). Οι μαθητές σε αυτό το επίπεδο ανέφεραν ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που βλέπουμε με γυμνό μάτι και ότι χρησιμοποιούμε τα μικροσκόπια ως όργανα παρατήρησης τους, όπως στην απάντηση «με οπτικά μικροσκόπια και ηλεκτρονικά μικροσκόπια».

Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z= 3.153, p= .002$).



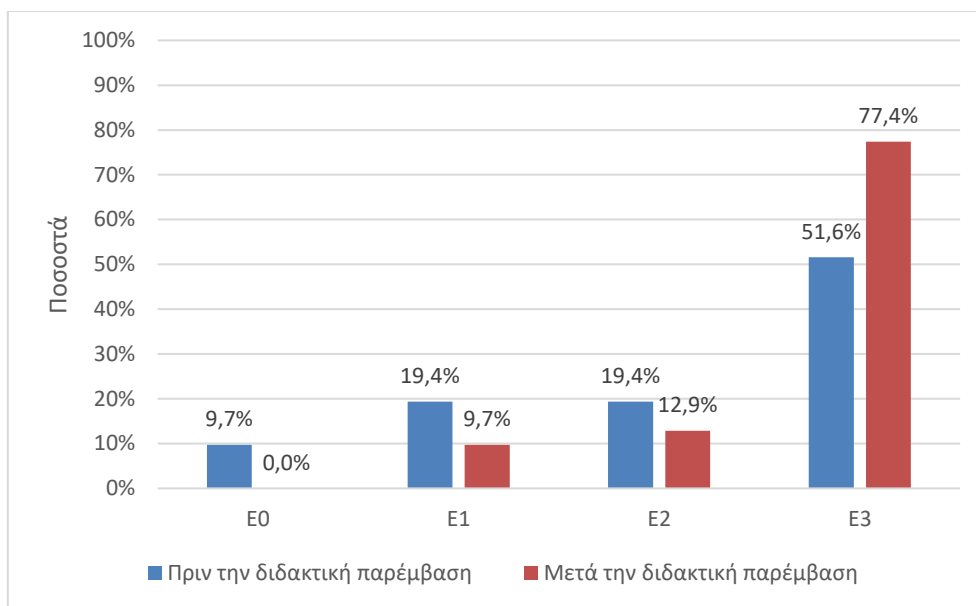
Διάγραμμα 1: Αλλαγή ιδεών Μέγεθος και όργανο

Ειδικότερα, πριν τη διδακτική παρέμβαση στο επίπεδο κατανόησης 0 υπήρχε ένας μαθητής, του οποίου οι απόψεις μετά τη διδακτική παρέμβαση αντικατόπτριζαν την επιστημονική άποψη (επίπεδο 3). Στο επίπεδο 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», πριν τη διδακτική παρέμβαση εντάσσονταν 7 μαθητές από τους οποίους, μετά τη διδακτική παρέμβαση 2

παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο, ενώ 5 κατέκτησαν την επιστημονικά αποδεκτή άποψη (επίπεδο 3). Σχετικά με το επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», πριν την παρέμβαση κατατάσσονταν σε αυτό 7 μαθητές, οι οποίοι κατάφεραν να περάσουν στο επίπεδο 3 «επιστημονική άποψη» μετά την παρέμβαση. Τέλος, και οι 47 μαθητές που πριν τις διδασκαλίες εξέφρασαν επιστημονική άποψη (επίπεδο 3), παρέμειναν σε απόψεις του ίδιου επιπέδου και μετά την παρέμβαση.

EN2: Αλλαγή στην ικανότητα αντιστοίχισης «κόσμων»- οργάνων και αντικειμένων αναφοράς

Σημαντικό σε αυτήν την ερώτηση είναι ότι στο μεταδιαγνωστικό δοκίμιο δεν υπάρχει κανείς μαθητής στο επίπεδο 0 (E0), σε αντίθεση με το προδιαγνωστικό, στο οποίο υπήρχαν στο επίπεδο αυτό 6 μαθητές (9,7 %), με δύο και πάνω λάθη τόσο στη σύνδεση κόσμων-οργάνων, όσο και στη σύνδεση οργάνων-αντικειμένων μεταφοράς. Μείωση παρατηρήθηκε και στο ποσοστό των μαθητών που εντάσσονταν στο επίπεδο 1 (E1) στο προδιαγνωστικό δοκίμιο, με απαντήσεις που περιλάμβαναν λάθη στη σύνδεση κόσμων-οργάνων παρατήρησης. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός των μαθητών μειώθηκε από 12 (ποσοστό 19,4%) σε 6 (9,7%) στο μεταδιαγνωστικό. Ο αριθμός των μαθητών με απαντήσεις που ανήκαν στο επίπεδο 3 πριν τη διδακτική παρέμβαση αυξήθηκε από 32 μαθητές (51,6%) σε 48 μαθητές (77,4%) μετά τη διδακτική παρέμβαση, με σωστή σύνδεση τόσο των κόσμων- οργάνων, όσο και των οργάνων- αντικειμένων αναφοράς. Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z= 3.949, p< .001$).

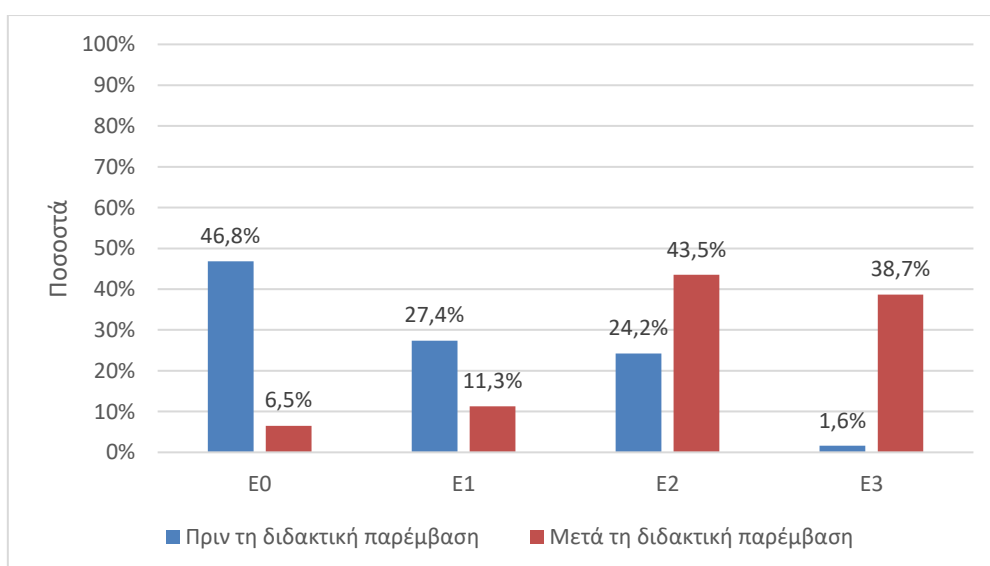


Διάγραμμα 2: Αντιστοίχιση "κόσμων"- οργάνων παρατήρησης- αντικειμένων αναφοράς

Πιο αναλυτικά, οι μαθητές που εντάσσονταν στο επίπεδο κατανόησης 0 πριν την παρέμβαση ήταν 6, εκ των οποίων μετά την παρέμβαση ο ένας έδειξε βελτίωση ανεβαίνοντας στο πρώτο επίπεδο «μακριά από την επιστημονική άποψη» και οι υπόλοιποι 5 στο επίπεδο 3 «επιστημονική άποψη». Επιπλέον, πριν από τη διδακτική παρέμβαση υπήρχαν 12 μαθητές που εξέφρασαν απόψεις μακριά από την επιστημονική (επίπεδο 1). Μετά την παρέμβαση, 4 από αυτούς διατήρησαν παρόμοιες απόψεις (επιπέδου 1), 4 άλλοι υιοθέτησαν μετρίως επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 2), ενώ οι υπόλοιποι 4 παρέθεσαν επιστημονικές απόψεις (επιπέδου 3). Επιπρόσθετα, 12 μαθητές είχαν μετρίως επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 2) πριν τη διεξαγωγή των διδασκαλιών, ενώ μετά το πέρας αυτών ο ένας εξέφρασε άποψη επιπέδου 1 «μακριά από την επιστημονική», 3 άλλοι διατήρησαν τις απόψεις τους στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ οι απόψεις των υπόλοιπων 8 αντικατόπτριζαν το επίπεδο 3 «επιστημονική άποψη». Τέλος, όσον αφορά τους 32 μαθητές που πριν τη διδακτική παρέμβαση εξέφρασαν επιστημονικές απόψεις (επιπέδου 3), μετά την παρέμβαση μόνον ο ένας υιοθέτησε άποψη επιπέδου 2 «μετρίως επιστημονική», με τους υπόλοιπους να παραμένουν στις απόψεις του ίδιου επιπέδου (επίπεδο 3 – «επιστημονική άποψη»).

EN3: Αλλαγές στη γνώση των μαθητών αναφορικά με τη λειτουργία της επιφάνειας των τριών φύλλων

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 3, μετά τη διδακτική παρέμβαση υπήρξε μετατόπιση των μαθητών από το επίπεδο 0 προς τα ανώτερα επίπεδα. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθητές που ανήκαν στο επίπεδο 0 (E0), με μία ή καμία σωστή απάντηση αναφορικά με τη λειτουργία της επιφάνειας, από 29 στον αριθμό (ποσοστό 46,8 %) έπεσαν στους 4 (6,5 %). Ταυτόχρονα, ο αριθμός των μαθητών, που οι απαντήσεις τους κατατάσσονταν στο πρώτο επίπεδο (E1), με 2 σωστές αναφορές για την λειτουργία της επιφάνειας, ήταν 17 (27,4%) πριν τη διδακτική παρέμβαση, ενώ μετά ήταν 7 μαθητές (11,3 %). Αύξηση των μαθητών παρατηρήθηκε στα δύο υψηλότερα επίπεδα, με τον αριθμό των μαθητών στο επίπεδο 2, με 3 ή 4 σωστές απαντήσεις αναφορικά με τη λειτουργία της επιφάνειας, να μεταβάλλεται από 15 (ποσοστό 24,2%) πριν τη διδακτική παρέμβαση σε 27 μαθητές (43,5%) μετά τη διδακτική παρέμβαση, καθώς και ο αριθμός τους στο επίπεδο 3, με 5 σωστές απαντήσεις αναφορικά με τη λειτουργία της επιφάνειας από 1 μαθητής (1,6%) σε 24 (38,7%). Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z= 5.954, p < .001$).



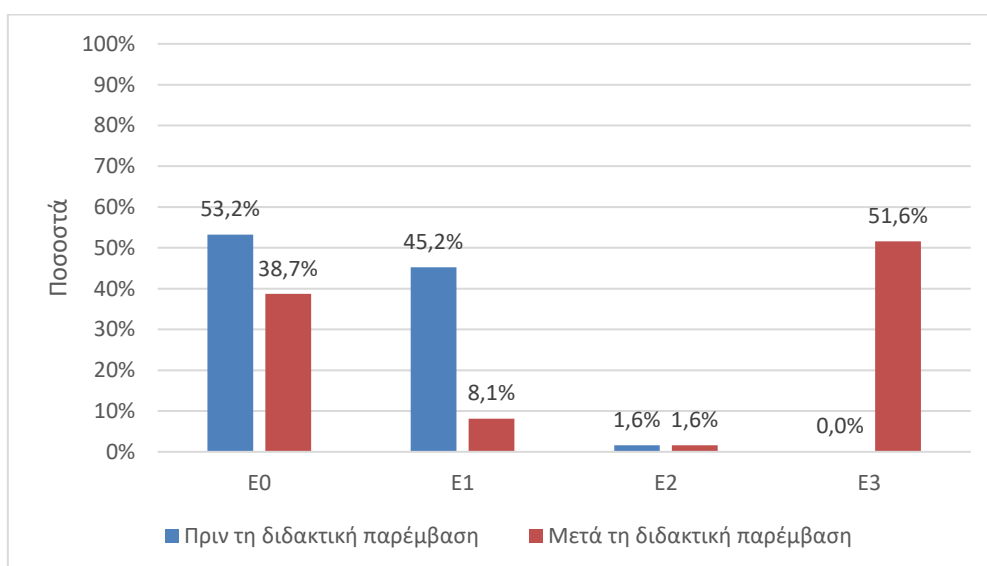
Διάγραμμα 3: Λειτουργία των επιφανειών των 3 φύλλων

Πιο συγκεκριμένα, πριν από τη διδακτική παρέμβαση 29 μαθητές εντάσσονταν στο επίπεδο κατανόησης μηδέν. Από αυτούς, μετά την παρέμβαση 3 μαθητές παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο κατανόησης, 4 έδειξαν πολύ μικρή βελτίωση ανερχόμενοι στο επίπεδο 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 13 βελτιώθηκαν περισσότερο φτάνοντας σε απόψεις επιπέδου 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ 9 άλλοι κατάφεραν να φτάσουν στο μεγαλύτερο επίπεδο κατανόησης (επίπεδο 3 – «επιστημονική άποψη»). Επίσης, 17 μαθητές εξέφρασαν πριν την παρέμβαση απόψεις που ταιριάζουν με το επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», με έναν να υιοθετεί άποψη επιπέδου 0 μετά την παρέμβαση, έναν άλλο μαθητή να παραμένει σε άποψη επιπέδου 1, άλλους 7 να μεταπηδούν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη» και 8 μαθητές στο επίπεδο 3 «επιστημονική άποψη». Ακόμη, υπήρχαν 15 μαθητές των οποίων οι απόψεις πριν τις διδασκαλίες εντάχθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη». Εξ αυτών, μετά την παρέμβαση 2 μαθητές υιοθέτησαν απόψεις που μπορούν να καταταχθούν στο επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 7 μαθητές εξέφρασαν απόψεις που παραμένουν στο επίπεδο 2, ενώ 6 μαθητές επέδειξαν βελτίωση κατακτώντας το επίπεδο της επιστημονικής άποψης (επίπεδο 3). Τέλος, υπήρχε ένας μαθητής, ο οποίος και πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε εξέφρασε απόψεις επιπέδου 3, «επιστημονική άποψη».

EN4 :Αλλαγή των ιδεών των μαθητών για το μέγεθος και τις ιδιότητες που είναι εξαρτώμενες από το μέγεθος.

Όπως φαίνεται στο γράφημα 4, υπάρχει μεγάλη αλλαγή στις απαντήσεις των μαθητών στο επίπεδο 3 (E3). Πιο συγκεκριμένα, κανένας μαθητής πριν την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης δεν εντάσσονταν στο E3, με απαντήσεις στις οποίες η αιτιολόγηση της λειτουργίας της επιφάνειας πραγματοποιήθηκε με αναφορές σε έννοιες του νανογραμματισμού. Αντίθετα, μετά τη διδακτική παρέμβαση ο αριθμός των μαθητών στο E3

ανήλθε σε 32 (51,6%) με απαντήσεις όπως «λόγω κάποιων νανοπροεξοχών και μικροεξογκωμάτων στα φύλλα». Μείωση παρατηρήθηκε στον αριθμό των μαθητών των επιπέδων 0 (E0) και 1 (E1). Πιο αναλυτικά, οι μαθητές στο E0, με ασαφείς απαντήσεις ως προς την κλίμακα ή αναφορές στα χαρακτηριστικά της σταγόνας ή του περιβάλλοντος, όπως π.χ. η απάντηση «συμβαίνει ανάλογα με τον αέρα. Κάποιες φορές απλώνονται, μαζεύονται κινούνται γρήγορα, αργά, προς τα πάνω, προς τα κάτω», από 33 στον αριθμό (53,2%) στο προδιαγνωστικό δοκίμιο μειώθηκαν σε 24 (38,7%). Οι μαθητές που εντάσσονταν στο E1, με αναφορές σε μικρότερο επίπεδο από τη μακροκλίμακα χωρίς σαφήνεια, όπως π.χ. η απάντηση «το κάθε φύλλο έχει διαφορετικό σχήμα και επιφάνεια, το οποίο κάνει τη σταγόνα να συμπεριφερθεί ανάλογα», ήταν πριν τη διδακτική παρέμβαση 28 (45,2%), ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση 5 (8,1%). Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=5.250, p<.001$).



Διάγραμμα 4: Ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος

Αναλυτικότερα, πριν από τις διδασκαλίες 33 μαθητές εξέφρασαν απόψεις που κατατάσσονται στο επίπεδο κατανόησης μηδέν. Μεταξύ αυτών, μετά την παρέμβαση 17 μαθητές παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο (επίπεδο 0), 2 μαθητές ανέβηκαν στο επίπεδο 1 «μακριά

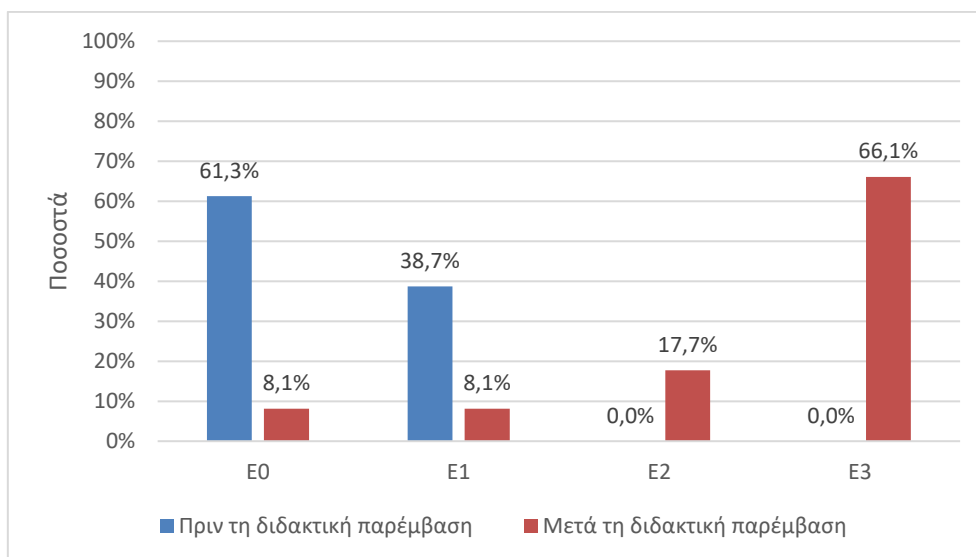
από την επιστημονική άποψη», ένας σημείωσε σημαντική πρόοδο φτάνοντας σε απόψεις επιπέδου 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», με απαντήσεις όπως «Λόγω της διάταξης των μορίων» ενώ 13 μαθητές κατάφεραν να φτάσουν στο μεγαλύτερο επίπεδο κατανόησης (επίπεδο 3 – «επιστημονική άποψη»). Επιπλέον, 28 μαθητές εξέφρασαν πριν την παρέμβαση απόψεις που ταιριάζουν με το επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», εκ των οποίων 7 εξέφρασαν απόψεις επιπέδου 0 μετά την παρέμβαση, κι άλλοι 3 μαθητές υιοθέτησαν εκ νέου άποψη επιπέδου 1. Τέλος, υπήρχε ένας μαθητής, του οποίου η άποψη πριν τη διδακτική παρέμβαση μπορεί να τοποθετηθεί στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική». Ο συγκεκριμένος μαθητής έδειξε να βελτιώνεται, καθώς η άποψή του μετά τις διδασκαλίες κρίνεται ως επιστημονική (επίπεδο 3).

3.1.2 Αλλαγή των ιδεών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων

EN1: Αλλαγές στη νοηματοδότηση των επιστημονικών μοντέλων από τους μαθητές

Σύμφωνα με το γράφημα 5, η σημαντικότερη αλλαγή στις απαντήσεις των μαθητών φαίνεται να πραγματοποιήθηκε στα δύο ανώτερα επίπεδα κατανόησης (E2, E3). Πιο συγκεκριμένα, κανείς μαθητής δεν εντασσόταν σε αυτά τα δύο επίπεδα πριν τη διδακτική παρέμβαση, ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση 11 μαθητές (17,7%) εντάχθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», δηλαδή νοηματοδοτούν το μοντέλο στη βάση του αναπαραστατικού σκοπού τους με απαντήσεις όπως π.χ. «ένα επιστημονικό μοντέλο είναι μια αναπαράσταση όμως δεν χρειάζεται να είναι ίδια, για παράδειγμα η αναπαράσταση της γης δεν είναι η ίδια η γη μπορεί να είναι και ένα πορτοκάλι» και 41 μαθητές (66,1%) εντάχθηκαν στην επιστημονική άποψη (E3), δηλαδή αναφέρθηκαν στον επεξηγηματικό ή και το προβλεπτικό σκοπό των μοντέλων, με απαντήσεις όπως π.χ. «είναι ένα μοντέλο που μας δείχνει

ένα φαινόμενο μας εξηγεί ένα φαινόμενο και μπορεί να προβλέπει ένα φαινόμενο». Μετατόπιση παρατηρήθηκε και από το επίπεδο 0 προς τα ανώτερα επίπεδα, καθώς από τους 38 μαθητές (61,3 %) που εντάσσονταν στο επίπεδο 0, δηλαδή έδιναν απαντήσεις ασαφείς, άγνοιας ή μη σχετικές με την επιστήμη πριν τη διδακτική παρέμβαση, μετά τη διδακτική παρέμβαση υπήρχαν στο επίπεδο αυτό 5 μαθητές (8,1%). Τέλος, διαφορές παρατηρήθηκαν και στο επίπεδο 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», στο οποίο αρχικά εντάσσονταν 24 μαθητές (38,7%), οι οποίοι νοηματοδοτούσαν το επιστημονικό μοντέλο ως κάτι που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες ή έβλεπαν τα μοντέλα ως μικρογραφίες, όπως για παράδειγμα στην απάντηση «Δεν ξέρω αλλά αν έπρεπε να μαντέψω θα έλεγα ότι θα ήταν κάτι σαν μινιατούρα», ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση εντάχθηκαν σε αυτό το επίπεδο 5 μαθητές (8,1%). Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=6.617, p< .001$).



Διάγραμμα 5: Νοηματοδότηση επιστημονικών μοντέλων

Ειδικότερα, υπήρχαν 38 μαθητές που πριν τις διδασκαλίες εξέφρασαν απόψεις που ανήκαν στο επίπεδο κατανόησης 0. Μετά το τέλος των διδασκαλιών, οι 5 από αυτούς εξακολουθούσαν να έχουν απόψεις του ίδιου επιπέδου (επίπεδο 0), άλλοι 3 είχαν απόψεις που κρίνεται ότι

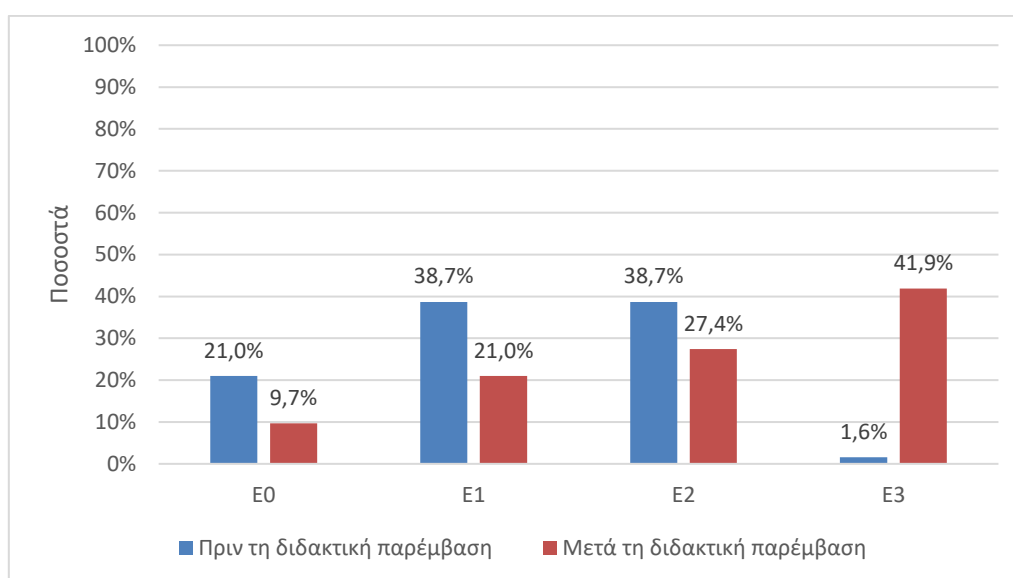
βρίσκονται μακριά από την επιστημονική (επίπεδο 1), 9 βελτιώθηκαν κατακτώντας το επίπεδο της μετρίως επιστημονικής άποψης (επίπεδο 2) και 21 επέδειξαν τη μεγαλύτερη βελτίωση φτάνοντας σε επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 3). Επιπλέον, 24 μαθητές ανέπτυξαν πριν από τη διδακτική παρέμβαση απόψεις επιπέδου 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη». Μετά τις διδασκαλίες, 2 μαθητές από εκείνους έμειναν σε απόψεις επιπέδου 1, άλλοι 2 μαθητές μεταπήδησαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ 20 μαθητές εξέφρασαν απόψεις επιπέδου 3 «επιστημονική».

EM3: Αλλαγή στη κατανόηση για την πολλαπλότητα των επιστημονικών μοντέλων

Αναφορικά με αυτήν την ερώτηση φαίνεται να υπήρχε μεγάλη μετατόπιση των απαντήσεων των μαθητών προς το ανώτερο επίπεδο (E3), καθώς από έναν μαθητή (1,6%) που υπήρχε αρχικά, οι μαθητές των οποίων οι απαντήσεις ανταποκρίνονταν στην επιστημονική άποψη, δηλαδή αναφέρονταν στην πολλαπλότητα των μοντέλων ως αποτέλεσμα πολλαπλών απόψεων, μετά τη διδακτική παρέμβαση ήταν 26 (41,9%) με απαντήσεις όπως «γιατί σαφώς υπάρχουν και διαφορετικές θεωρίες». Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε μετατόπιση από το κατώτερο επίπεδο (E0), δηλαδή ιδέες που ανέφεραν ότι δεν υπάρχουν πολλαπλά μοντέλα, ασαφείς απαντήσεις ή απαντήσεις άγνοιας, προς τα ανώτερα. Πιο συγκεκριμένα, από τους 13 μαθητές (21%) που ανήκαν στο επίπεδο 0, σε μετά τη διδακτική παρέμβαση υπήρχαν σε αυτό το επίπεδο 6 μαθητές (9,7%). Επιπλέον, από τους 24 μαθητές (38,7%) που κατείχαν μια άποψη μακριά από την επιστημονική (E1) πριν τη διδακτική παρέμβαση, οι μαθητές που είχαν αυτήν την άποψη, δηλαδή ανέφεραν ότι υπάρχουν επιστημονικά μοντέλα, με διαφορετικό βαθμός ακρίβειας ή αιτιολογούσαν ασαφώς την απάντησή τους, ήταν 13 (21%) μετά τη διδακτική παρέμβαση με απαντήσεις όπως «ναι, για περισσότερη ακρίβεια και περισσότερη σιγουριά για το ότι είναι σωστό». Τέλος, στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», δηλαδή αυτοί που αναφέρονταν στην πολλαπλότητα των μοντέλων ως αποτέλεσμα του διαφορετικού μέσου/

τρόπου αναπαράστασης, κατατάσσονταν πριν τη διδακτική παρέμβαση 24 μαθητές (38,7%) ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση 17 μαθητές (27,4 %) με απαντήσεις όπως «ναι, γιατί οι επιστήμονες μπορεί να το δείξουν αλλιώς π.χ. με 3D».

Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=4.524, p< .001$).



Διάγραμμα 6: Πολλαπλότητα επιστημονικών μοντέλων

Αναλυτικότερα, πριν από τη διδακτική παρέμβαση 13 μαθητές κατατάσσονταν στο επίπεδο κατανόησης 0. Από αυτούς, μετά την παρέμβαση 4 μαθητές παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο κατανόησης, ένας μαθητής βελτιώθηκε αμυδρά και ανήλθε στο επίπεδο 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 4 βελτιώθηκαν περισσότερο φτάνοντας σε απόψεις επιπέδου 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ 4 άλλοι κατάφεραν να φτάσουν στο μεγαλύτερο επίπεδο κατανόησης (επίπεδο 3 – «επιστημονική άποψη»). Επίσης, 24 μαθητές εξέφρασαν πριν τη σειρά διδασκαλιών απόψεις που ταιριάζουν με το επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», με έναν να υιοθετεί άποψη επιπέδου 0 μετά την παρέμβαση, άλλους 10 να διατηρούν απόψεις επιπέδου 1, έξι μαθητές να σκαρφαλώνουν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη» και 8 να φτάνουν σε επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 3). Ακόμη,

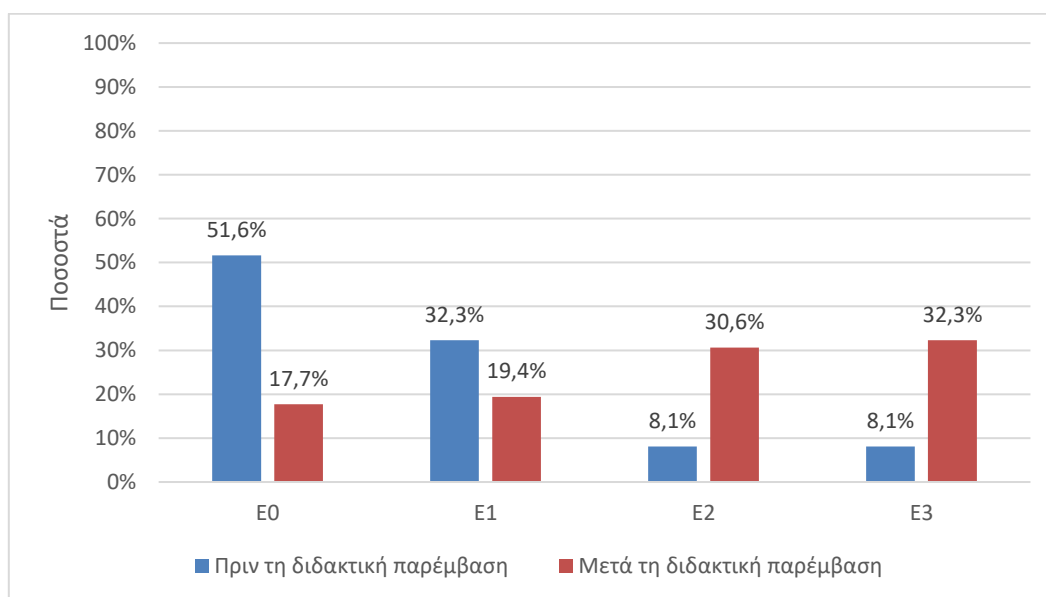
υπήρχαν 24 μαθητές των οποίων οι απόψεις πριν τις διδασκαλίες εντάχθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη». Εξ αυτών, μετά την παρέμβαση 2 μαθητές υποβιβάστηκαν σε απόψεις επιπέδου 0, άλλοι 2 μαθητές υιοθέτησαν απόψεις που μπορούν να καταταχθούν στο επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 7 μαθητές εξέφρασαν απόψεις που παραμένουν στο επίπεδο 2, ενώ 13 μαθητές επέδειξαν βελτίωση κατακτώντας το επίπεδο της επιστημονικής άποψης (επίπεδο 3). Τέλος, υπήρχε ένας μαθητής, ο οποίος και πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε εξέφρασε απόψεις επιπέδου 3 «επιστημονική άποψη».

EM4: Αλλαγή των ιδεών των μαθητών αναφορικά με την αναγκαιότητα αναπαραστατικής ομοιότητας

Στο διάγραμμα 7 φαίνεται μεγάλη μετατόπιση από το κατώτερο επίπεδο (E0) προς τα ανώτερα. Πιο συγκεκριμένα, από τους 32 μαθητές (51,6%) που ανήκαν στο επίπεδο 0 στην αρχική μέτρηση, πίστευαν δηλαδή ότι χρειάζεται μεγαλύτερη ομοιότητα των αντικειμένων αναπαράστασης με τα πραγματικά ώστε να το καταλαβαίνουμε καλύτερα, για να μοιάζει πιο πολύ με το αληθινό/ να είναι σαν το αληθινό ή χωρίς σαφή αιτιολόγηση, όπως για παράδειγμα η απάντηση «ναι, θα έπρεπε να μοιάζουν με την πραγματικότητα για να γίνει πιο προφανές το μοντέλο», ο αριθμός των μαθητών μειώθηκε σε 11 (17,7%) στην τελική μέτρηση. Επιπλέον, από τους 20 μαθητές (32,3%) που κατείχαν ιδέες μακριά από την επιστημονική (E1) στην αρχική μέτρηση, πίστευαν δηλαδή ότι δεν χρειάζεται μεγαλύτερος βαθμός ομοιότητας για πρακτικούς λόγους (πχ. θα καιγόμασταν) ή γιατί μοιάζει ήδη αρκετά ή είναι ολόιδια ή έδιναν μία αιτιολόγηση ασαφή, κατά την τελική μέτρηση σε αυτό το επίπεδο υπήρχαν 12 μαθητές (19,4%). Στα δύο ανώτερα επίπεδα E2, με απαντήσεις όπως «όχι, επειδή με το που βλέπεις την αναπαράσταση καταλαβαίνεις ότι είναι η γη και ο ήλιος, δεν χρειάζεται κάτι άλλο» και E3 με απαντήσεις όπως «όχι, δεν χρειάζεται να είναι ολόιδιο, το μόνο που θέλουμε είναι να μας το

εξηγεί», παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση καθώς στην αρχική μέτρηση σε κάθε επίπεδο υπήρχαν 5 μαθητές (8,1%), ενώ κατά την τελική μέτρηση οι μαθητές που κατείχαν μετρίως επιστημονικές απόψεις, ανέφεραν δηλαδή ότι δεν χρειάζεται υψηλή ακρίβεια ή αναφέρονταν στους διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης ήταν 19 (30,6%) και αυτοί που κατείχαν τη επιστημονική άποψη, δηλαδή πίστευαν ότι δεν χρειάζεται και κάνουν αναφορά στον επεξηγηματικό σκοπό των μοντέλων ήταν 20 μαθητές (32,3%).

Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z= 4.799, p<.001$).



Διάγραμμα 7: Αναπαραστατική ομοιότητα

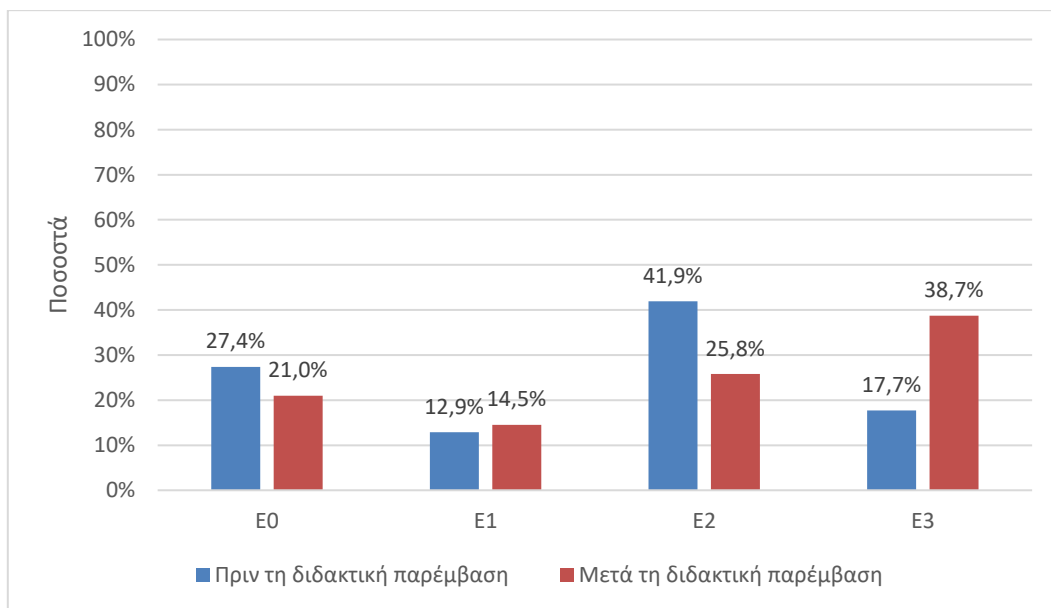
Πριν από τις διδασκαλίες που πραγματοποιήθηκαν, υπήρχαν 32 μαθητές, των οποίων οι απόψεις κατατάσσονται στο επίπεδο κατανόησης 0. Μεταξύ αυτών, μετά την παρέμβαση 8 μαθητές παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο κατανόησης, 5 ανέβηκαν στο επίπεδο 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 9 βελτιώθηκαν σημαντικά φτάνοντας σε απόψεις επιπέδου 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», και 10 άλλοι κατάφεραν να φτάσουν στο βέλτιστο επίπεδο κατανόησης (επίπεδο 3 – «επιστημονική άποψη»). Ακόμη, 20 μαθητές υιοθέτησαν πριν την παρέμβαση

απόψεις που ταιριάζουν με το επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη». Μετά την παρέμβαση, ένας μαθητής υιοθέτησε άποψη επιπέδου 0, επτά μαθητές διατήρησαν άποψη επιπέδου 1, τέσσερις αναρριχήθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη» και 8 άλλοι στο επίπεδο 3 «επιστημονική σκέψη». Επιπροσθέτως, 5 μαθητές εξέφρασαν απόψεις πριν τις διδασκαλίες που εντάχθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», με τους 2 να κατακυλούν στο επίπεδο 0 και τους άλλους 3 να παραμένουν στο επίπεδο 2 μετά τις διδασκαλίες. Τέλος, υπήρχαν 5 μαθητές που πριν τις διδασκαλίες εξέφρασαν απόψεις επιπέδου 3 «επιστημονική άποψη», οι 3 εκ των οποίων υποβιβάστηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη» μετά τη διδακτική παρέμβαση, ενώ οι άλλοι 2 εξακολούθησαν να έχουν επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 3).

EM5: Αλλαγή των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τη μεταβλητότητα των μοντέλων

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 8, πριν την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης 11 μαθητές (17,7%) κατείχαν την επιστημονική άποψη, δηλαδή ανέφεραν ότι τα μοντέλα τροποποιήθηκαν για να βελτιώσουν την αναπαραστατική και επεξηγηματική και προβλεπτική τους ικανότητα, ή λόγω νέων δεδομένων (νέα ανακάλυψη), ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση 24 μαθητές (38,7%) κατείχαν την επιστημονική άποψη (E3) με απαντήσεις όπως «συνέβη αυτό για να καταλάβουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν το φαινόμενο καλύτερα». Στο επίπεδο E2 με ιδέες μετρίως επιστημονικές πριν τη διδακτική παρέμβαση εντάσσονταν 28 μαθητές (41,9%), με απαντήσεις όπως «για να το εξηγήσουν καλύτερα σε ανθρώπους που έχουν μια πολύ γενικότερη εικόνα με τα καινούρια μοντέλα», ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση εντάχθηκαν 16 μαθητές (25,8%), οι οποίοι πίστευαν ότι τα μοντέλα τροποποιήθηκαν για να εξηγούν καλύτερα ή σωστότερα το φαινόμενο. Οκτώ μαθητές (12,9%) κατείχαν απόψεις μακριά από την επιστημονική (E1) στην αρχική μέτρηση, πίστευαν δηλαδή ότι τα μοντέλα τροποποιήθηκαν για αναπαραστατικούς λόγους, με απαντήσεις όπως « Για να μοιάζει πιο

πραγματικό και για να το καταλάβουν οι υπόλοιποι καλύτερα» και 9 μαθητές (14,5 %) στην τελική μέτρηση. Τέλος, 17 μαθητές (27,4%) ανήκαν στο κατώτερο επίπεδο (E0) πριν τη διδακτική παρέμβαση, ενώ μετά στο κατώτερο επίπεδο ανήκαν 13 (21%) των μαθητών. Οι μαθητές αυτοί έδωσαν ασαφείς απαντήσεις ή απαντήσεις άγνοιας. Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=1.637, p= .102$).



Διάγραμμα 8: Μεταβλητότητα επιστημονικών μοντέλων

Πιο αναλυτικά, πριν από τη διδακτική παρέμβαση 17 μαθητές εξέφρασαν απόψεις επιπέδου κατανόησης μηδέν, 6 από τους οποίους διατήρησαν απόψεις παρόμοιου επιπέδου (επίπεδο 0) και μετά τη διδακτική παρέμβαση. Άλλοι 3 μαθητές επέδειξαν πολύ μικρή βελτίωση ανερχόμενοι στο επίπεδο 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 4 βελτιώθηκαν περισσότερο φτάνοντας σε απόψεις επιπέδου 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ 4 άλλοι κατάφεραν να φτάσουν στο μεγαλύτερο επίπεδο κατανόησης (επίπεδο 3 – «επιστημονική άποψη»). Επίσης, 8 μαθητές εξέφρασαν πριν την παρέμβαση απόψεις που κατατάχθηκαν στο επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», ένας εκ των οποίων υιοθέτησε

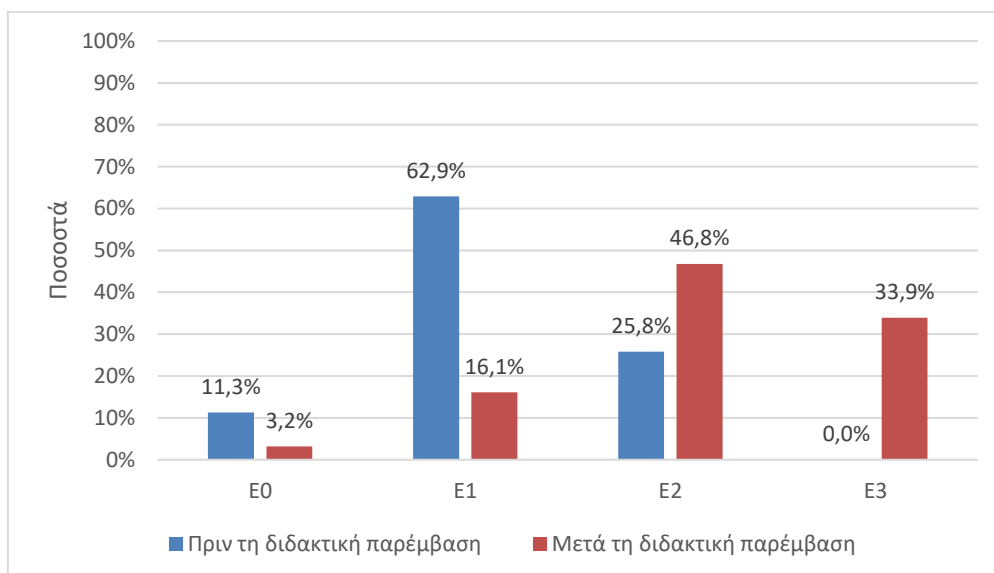
άποψη επιπέδου 0 μετά την παρέμβαση, ένας άλλος μαθητής παρέμεινε σε άποψη επιπέδου 1, δύο μαθητές αναρριχήθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ άλλοι 4 εξέφρασαν επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 3). Εκτός αυτών, υπήρχαν 26 μαθητές των οποίων οι απόψεις πριν τις διδασκαλίες εντάχθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη». Εξ αυτών, μετά την παρέμβαση 6 μαθητές κατέβηκαν στο επίπεδο μηδενικής κατανόησης, 3 μαθητές υιοθέτησαν απόψεις που μπορούν να καταταχθούν στο επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 8 μαθητές εξέφρασαν απόψεις που παραμένουν στο επίπεδο 2, ενώ 9 μαθητές επέδειξαν βελτίωση κατακτώντας το επίπεδο της επιστημονικής άποψης (επίπεδο 3). Τέλος, 11 μαθητές υιοθέτησαν επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 3) πριν τις διδασκαλίες. Μετά την παρέμβαση, 2 από αυτούς εξέφρασαν απόψεις επιπέδου 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 2 άλλοι μαθητές κατέβηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ 7 μαθητές διατήρησαν επιστημονικές απόψεις (επίπεδο 3).

EM6: Αλλαγή των ιδεών των μαθητών αναφορικά με τη χρησιμότητα των μοντέλων

Στο διάγραμμα 9 φαίνεται ότι πριν την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης κανένας μαθητής δεν κατείχε την επιστημονική άποψη, δηλαδή κανείς δεν ανέφερε τους τρεις βασικούς σκοπούς των μοντέλων, την αναπαράσταση, την επεξήγηση του φαινομένου και την διενέργεια προβλέψεων, ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση 21 μαθητές (33,9%) κατείχαν την επιστημονική άποψη (E3) με απαντήσεις όπως «για να κάνεις προβλέψεις, για να καταλαμβάνουν αυτοί που το βλέπουν για το φαινόμενο, για να εξηγήσεις θεωρίες». Στο επίπεδο E2 με ιδέες μετρίως επιστημονικές, όπου οι μαθητές ανέφεραν δύο από τους τρεις σκοπούς των μοντέλων, πριν τη διδακτική παρέμβαση εντάσσονταν 16 μαθητές (25,8%) ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση εντάχθηκαν 29 μαθητές (46,8%) με απαντήσεις όπως «1) Για να δείξουμε πως είναι το φαινόμενο 2) Για να κάνουμε δοκιμές». Τριάντα εννιά μαθητές (62,9%) κατείχαν απόψεις μακριά από την επιστημονική (E1), δηλαδή ανέφεραν έναν από τους

τρεις σκοπούς των μοντέλων, με απαντήσεις όπως «1. για να έχουμε μία εικόνα στο μυαλό μας για αυτό το θέμα 2. να μάθουμε που βρίσκονται τα μέρη που χρησιμεύουν στην λειτουργία 3/ τις επιστημονικές ονομασίες», στην αρχική μέτρηση ενώ 10 μαθητές (16,1 %) στην τελική μέτρηση. Τέλος, 7 μαθητές (11,3 %) ανήκαν στο κατώτερο επίπεδο (E0), όπου δεν ανέφεραν κανένα σκοπό, έδιναν ασαφείς απαντήσεις ή άγνοιας, πριν τη διδακτική παρέμβαση, ενώ μετά στο κατώτερο επίπεδο ανήκαν 2 μαθητές (3,2 %).

Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=5.709, p<.001$).



Διάγραμμα 9: Χρησιμότητα επιστημονικών μοντέλων

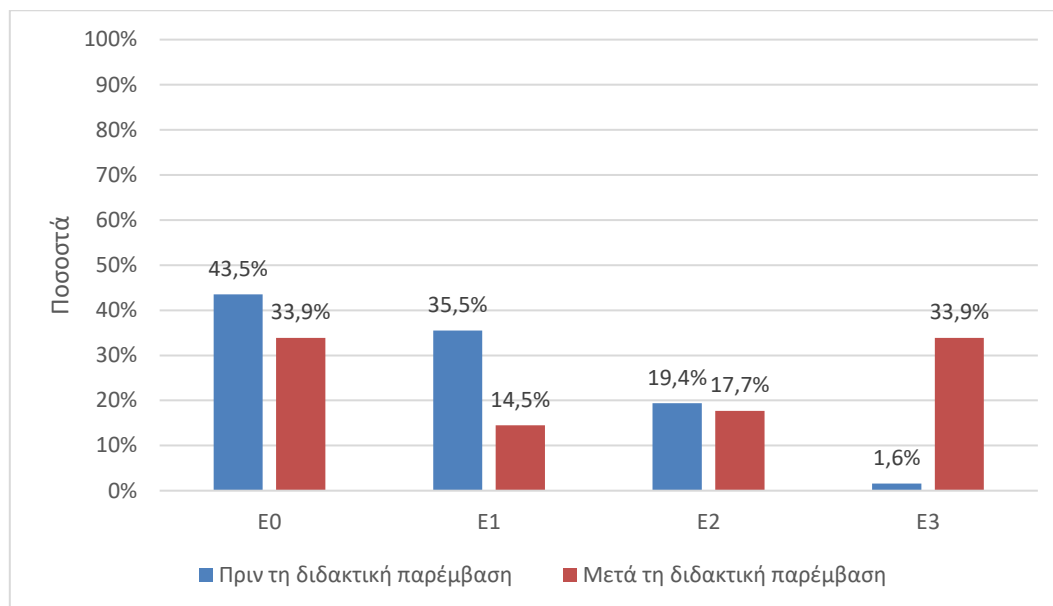
Πιο συγκεκριμένα, 7 μαθητές εντάσσονταν στο επίπεδο κατανόησης μηδέν πριν τις διδασκαλίες, με 2 από αυτούς να παραμένουν στο ίδιο επίπεδο (επίπεδο 0), έναν άλλο να ανεβαίνει στο επίπεδο 1, «μακριά από την επιστημονική άποψη», 2 μαθητές να κατακτούν το επίπεδο 2, «μετρίως επιστημονική άποψη» και 2 άλλους να φτάνουν σε κατάκτηση επιστημονικών απόψεων (επίπεδο 3) μετά την παρέμβαση. Επιπλέον, 39 μαθητές εξέφρασαν πριν τις διδασκαλίες απόψεις που μπορούν να τοποθετηθούν στο επίπεδο κατανόησης 1

«μακριά από την επιστημονική άποψη», με 7 να παραμένουν στο ίδιο επίπεδο μετά την παρέμβαση, 19 να ανεβαίνουν στο επίπεδο 2, «μετρίως επιστημονική άποψη» και άλλους 13 να σκαρφαλώνουν στο επίπεδο 3, «επιστημονική άποψη». Ακόμη, υπήρχαν 16 μαθητές των οποίων οι απόψεις πριν τις διδασκαλίες εντάχθηκαν στο επίπεδο 2, «μετρίως επιστημονική άποψη». Από αυτούς, μετά την παρέμβαση 2 μαθητές υιοθέτησαν απόψεις που μπορούν να καταταχθούν στο επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 8 μαθητές εξέφρασαν απόψεις που παραμένουν στο επίπεδο 2, ενώ 6 μαθητές επέδειξαν βελτίωση κατακτώντας το επίπεδο της επιστημονικής άποψης (E3).

EM7: Αλλαγή στην ικανότητα αξιολόγησης της αναπαραστατικής πληρότητας και της επεξηγηματικής ικανότητας των μοντέλων

Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση, σύμφωνα με το γράφημα 10 πραγματοποιήθηκε στο ανώτερο επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα οι μαθητές που κατείχαν την επιστημονική άποψη (E3), αναφέρονταν δηλαδή στην έλλειψη σκοπού ή ταυτόχρονα και στην έλλειψη των στοιχείων του φαινομένου, πριν τη διδακτική παρέμβαση ήταν 1 μαθητής (1,6%), ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση 21 μαθητές (33,9%) με απαντήσεις όπως «όχι, γιατί δεν έχει επεξήγηση και δεν γράφει τα μέρη που έχουμε στο φαινόμενο αυτό». Στο επίπεδο E2, με ιδέες μετρίως επιστημονικές, όπου οι μαθητές αναφέρονταν μόνο στη έλλειψη των στοιχείων, πριν τη διδακτική παρέμβαση εντάσσονταν 12 μαθητές (19,4 %) ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση εντάχθηκαν 11 μαθητές (17,7 %). Στο E1, με απόψεις μακριά από την επιστημονική, στην οποία οι μαθητές αναφέρονταν στην αναπαραστατική ακρίβεια, στην έλλειψη πληροφοριών χωρίς συγκεκριμένες αναφορές ή έδιναν ασαφείς αιτιολογήσεις για την έλλειψη πληροφοριών, εντάσσονταν στην αρχική μέτρηση 22 μαθητές (35,5 %) ενώ 9 μαθητές (14,5 %) στην τελική μέτρηση. Τέλος, 27 μαθητές (43,5 %) ανήκαν στο κατώτερο επίπεδο (E0), του οποίου οι μαθητές θεωρούσαν ότι στην αναπαράσταση περιλαμβάνονται όλες οι πληροφορίες, πριν τη

διδασκτική παρέμβαση, ενώ μετά στο επίπεδο 0 ανήκαν 21 μαθητές (33,9 %). Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=3.825, p<.001$).



Διάγραμμα 10: Αναπαραστατική πληρότητα και επεξηγηματική ικανότητα

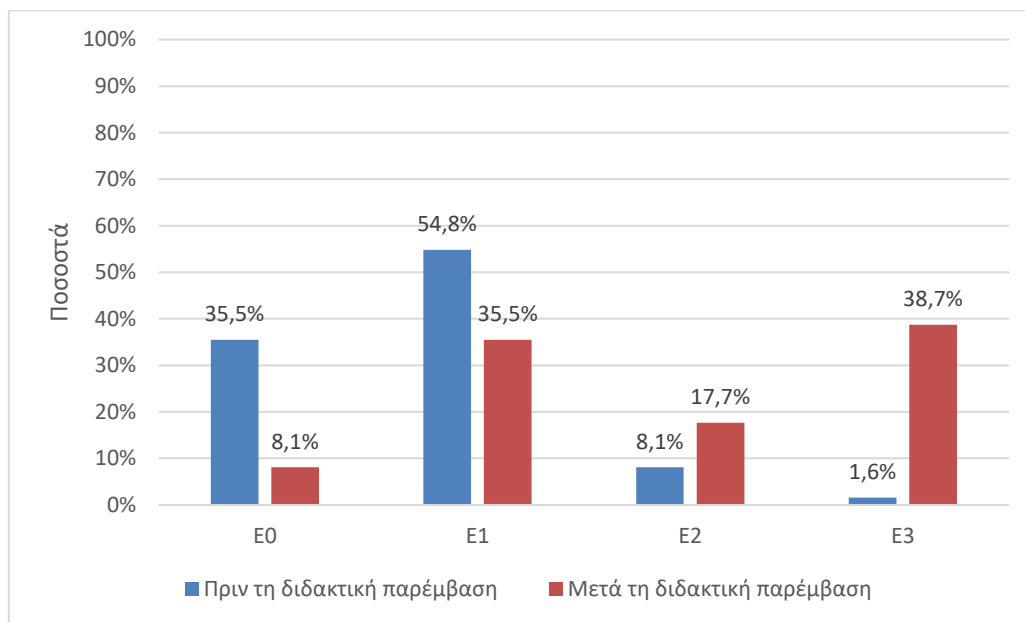
Αναλυτικότερα, πριν από τις διδασκαλίες 27 μαθητές εντάσσονταν στο επίπεδο κατανόησης μηδέν, οι 14 εκ των οποίων εξακολούθησαν να διατηρούν απόψεις του ίδιου επιπέδου και μετά την παρέμβαση. Τρεις μαθητές υιοθέτησαν απόψεις που βρίσκονταν μακριά από την επιστημονική (E1), 2 μαθητές υιοθέτησαν μετρίως επιστημονικές απόψεις (E2) και άλλοι 8 εξέφρασαν επιστημονικές απόψεις (E3) μετά την παρέμβαση. Επιπρόσθετα, 22 μαθητές είχαν απόψεις «μακριά από την επιστημονική» (E1) πριν τις διδασκαλίες, από τους οποίους, μετά την παρέμβαση 5 μαθητές υποβιβάστηκαν στο επίπεδο μηδέν, 4 μαθητές παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο κατανόησης, 5 άλλοι ανέβηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ 8 άλλοι κατάφεραν να κατακτήσουν την επιστημονική άποψη (E3). Ακόμη, υπήρχαν 12 μαθητές των οποίων οι απόψεις πριν τις διδασκαλίες εντάχθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη». Εξ αυτών, μετά την παρέμβαση 2 μαθητές κατρακύλησαν στο επίπεδο 0, άλλοι 2

μαθητές υιοθέτησαν απόψεις που μπορούν να ενταχθούν στο επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», 4 εξέφρασαν απόψεις που παραμένουν στο επίπεδο 2, ενώ 4 άλλοι μαθητές επέδειξαν βελτίωση κατακτώντας το επίπεδο της επιστημονικής άποψης (επίπεδο 3). Ο πίνακας ολοκληρώνεται με έναν μαθητή, ο οποίος και πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε εξέφρασε απόψεις επιπέδου 3, «επιστημονική άποψη».

EM8: Αλλαγή στην ικανότητα αξιολόγησης μοντέλων με βάση την αναπαραστατική επεξηγηματική και προβλεπτική τους ικανότητα

Η μεγαλύτερη μεταβολή που παρατηρείται σύμφωνα με το γράφημα 11 αφορούν το E3 δηλαδή την επιστημονική άποψη. Πιο συγκεκριμένα, στο E3 ανήκαν πριν τη διδακτική παρέμβαση 1 μαθητής (1,6%), ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση 24 μαθητές (38,7%) ανέφεραν ότι δεν αποτελεί μοντέλο λόγω της έλλειψης επεξηγηματικής ή και προβλεπτικής ικανότητας, με απαντήσεις όπως «όχι, γιατί δεν γράφει τις ονομασίες και δεν εξηγεί τίποτα». Στο E2, με απαντήσεις στις οποίες ανέφεραν ότι αποτελεί επιστημονικό μοντέλο και το αιτιολογούν στη βάση του επεξηγηματικού η και προβλεπτικού σκοπού του, με απαντήσεις όπως «Ναι, γιατί είναι μία απεικόνιση που βοηθά να καταλάβεις πως λειτουργεί το σύστημα», κατά τη αρχική μέτρηση εντάσσονταν 5 μαθητές (8,1%), ενώ στην τελική μέτρηση εντάχθηκαν 11 μαθητές (17,7%). Οι περισσότεροι μαθητές, 34 (54,8%) στην αρχική μέτρηση εντάσσονταν στο επίπεδο E1 με απόψεις μακριά από την επιστημονικά αποδεκτή, με δηλώσεις ότι δεν αποτελεί επιστημονικό μοντέλο λόγω τη μη ικανοποιητικής αναπαράστασης του φαινομένου, όπως π.χ. στην απάντηση «Όχι, γιατί δε δείχνει όλα τα εσωτερικά μας όργανα π.χ. εγκέφαλος, καρδιά, και δε μπορούν να δουλέψουν καλά χωρίς αυτά», ενώ μετά τη διδακτική παρέμβαση σε αυτό το επίπεδο εντάχθηκαν 22 μαθητές (35,5 %). Τέλος, μεγάλη διαφοροποίηση παρατηρήθηκε και στο E0, με δηλώσεις άγνοιας ή ασαφείς, στο οποίο στην αρχική μέτρηση

εντάσσονταν 22 μαθητές (35,5%) ενώ στην τελική μέτρηση εντάχθηκαν 5 μαθητές (8,1%). Τέλος, ο έλεγχος Wilcoxon έδειξε ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ της αρχικής με την τελική γνωστική κατάσταση των μαθητών ($z=5.495$, $p<.001$).



Διάγραμμα 11: Αξιολόγηση αν αποτελεί επιστημονικό μοντέλο με βάση το ρόλο του

Αναλυτικότερα, πριν από τη διδακτική παρέμβαση 22 μαθητές εντάσσονταν στο επίπεδο κατανόησης μηδέν. Από αυτούς, μετά την παρέμβαση 3 μαθητές παρέμειναν στο ίδιο επίπεδο κατανόησης, 8 έδειξαν ελάχιστη βελτίωση ανεβαίνοντας στο επίπεδο 1, «μακριά από την επιστημονική άποψη», 3 βελτιώθηκαν αισθητά φτάνοντας σε απόψεις επιπέδου 2, «μετρίως επιστημονική άποψη», ενώ 8 άλλοι κατάφεραν να φτάσουν στο μεγαλύτερο επίπεδο κατανόησης (επίπεδο 3 – «επιστημονική άποψη»). Επίσης, 34 μαθητές εξέφρασαν πριν την παρέμβαση απόψεις που ταιριάζουν με το επίπεδο κατανόησης 1 «μακριά από την επιστημονική άποψη», με 2 μαθητές να υιοθετούν άποψη επιπέδου 0 μετά την παρέμβαση, άλλους 13 να διατηρούν απόψεις επιπέδου 1, επτά μαθητές να σκαρφαλώνουν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη» και 12 μαθητές να κατακτούν το επίπεδο της επιστημονικής άποψης (επίπεδο 3). Ακόμη, υπήρχαν 5 μαθητές των οποίων οι απόψεις πριν τις διδασκαλίες

εντάχθηκαν στο επίπεδο 2 «μετρίως επιστημονική άποψη». Εξ αυτών, μετά την παρέμβαση ένας μαθητής υιοθέτησε άποψη που μπορεί να ενταχθεί στο επίπεδο κατανόησης 1, «μακριά από την επιστημονική άποψη», ένας άλλος μαθητής εξέφρασε άποψη που παραμένει στο επίπεδο 2, ενώ 3 μαθητές επέδειξαν βελτίωση κατακτώντας το επίπεδο της επιστημονικής άποψης (επίπεδο 3). Τέλος, υπήρχε ένας μαθητής που και πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση που πραγματοποιήθηκε εξέφρασε απόψεις επιπέδου 3 «επιστημονική άποψη».

3.1.3 Συσχέτιση γνώσεων για τα μοντέλα με τις γνώσεις για το περιεχόμενο της N-ET

Καθώς στη βιβλιογραφία (Schwarz, 2002·Wiser και Smith, 2008· Zoupidis et al. 2010) υποστηρίζεται ότι η κατανόησή της φύσης και του ρόλου των μοντέλων επηρεάζει την κατανόηση του περιεχομένου, πραγματοποιήθηκε συσχετιστική ανάλυση ανάμεσα στην επίδοση των μαθητών στα μεταδιαγνωστικά δοκίμια για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και τα μεταδιαγνωστικά δοκίμια για τη κατανόηση του περιεχομένου της N-ET. Στα αποτελέσματα, όπως φαίνονται στον πίνακα 1 υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στην τελική γνώση για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων με τη τελική γνώση το περιεχόμενο της N-ET. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της συσχετιστικής ανάλυσης.

Επιπλέον, μελετήσαμε τη συσχέτιση μεταξύ των εξής μεταβλητών: α) την αρχική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET με την αρχική επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα και την τελική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET με την τελική επιστημολογική γνώση για τα μοντέλα.

Αρχικά, από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι υπήρχε μέτρια θετική, στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ τις αρχικής γνώσης των μαθητών στη N-ET με την αρχική γνώση των μαθητών για τα μοντέλα, όπως αυτό φάνηκε από τις ερωτήσεις Σ/Λ, $r = .340, p < .01$.

Επιπλέον, από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης (πίνακας 10) φαίνεται ότι υπάρχει μέτρια θετική, στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της τελικής επιστημολογικής γνώσης

και της τελικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET, όπως μετρήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου $r = .353$, $p < .01$ και μέτρια θετική, στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της τελικής επιστημολογικής γνώσης για τα μοντέλα και της τελικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET, όπως μετρήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους $r = .435$, $p < 0.01$. Μέτρια θετική, στατιστικά σημαντική συσχέτιση παρατηρείται και ανάμεσα στην τελική γνώση για τη N-ET, όπως μετρήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, με τις ερωτήσεις Σ/Λ για τα μοντέλα $r = .425$, $p < .01$.

Πίνακας 10: Συσχέτιση αρχικής και τελικής γνώσης των μαθητών για τα μοντέλα και τη N- ET

	Αρχική γνώση N-ET (AT)	Αρχική γνώση N-ET (ΣΛ)	Αρχική γνώση Μοντέλα (AT)	Αρχική γνώση Μοντέλα (Σ/Λ)	Τελική γνώση N-ET (AT)	Τελική γνώση N-ET (Σ/Λ)	Τελική γνώση Μοντέλα (AT)	Τελική γνώση Μοντέλα (ΣΛ)
Αρχική γνώση N-ET (AT)	1	.189	.194	.194	.455**	.171	.194	.107
Αρχική γνώση N-ET (ΣΛ)		1	.075	.340**	.023	.108	-.044	-.062
Αρχική γνώση Μοντέλα (AT)			1	.065	.445**	.429**	.431**	.412**
Αρχική γνώση Μοντέλα (Σ/Λ)				1	.033	.136	.113	.054
Τελική γνώση N-ET (AT)					1	.352**	.353**	.425**
Τελική γνώση N-ET (Σ/Λ)						1	.260*	.435**
Τελική γνώση Μοντέλα (AT)							1	.431**

Σημείωση ** $p < .01$, * $p < .05$, AT= ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, ΣΛ= ερωτήσεις σωστού λάθους,

Επιπλέον, για τη μελέτη της διακύμανσης των τελικών αντιλήψεων για τη N-ET με βάση τα μοντέλα, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης με εξαρτημένη μεταβλητή τη τελική γνώση των μαθητών για τη N-ET όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και ως ανεξάρτητες την τελική μέτρηση της γνώσης των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και τις ερωτήσεις σωστού λάθους. Τα αποτελέσματα, όπως φαίνονται στον πίνακα 2, έδειξαν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική επίδραση της τελικής κατανόησης για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων στην τελική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET ($p < .01$). Σύμφωνα με το υπόδειγμα 1,6% της διακύμανσης της τελικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET, εξηγείται από την τελική γνώση των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα, με δείκτες καλής προσαρμογής του υποδείματος ήταν $F_{2,59} = 8.149$, $p = 0.001$, $R^2 = 0.216$, $R^2_{\text{adjusted}} = 0.190$, $SE_{st} = 2.000$

Πίνακας 11: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για την ερμηνεία της τελικής γνώσης των μαθητών για το περιεχόμενο της N-ET*, με προβλεπτικό παράγοντα την τελική γνώση για τα επιστημονικά μοντέλα

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	R^2	R^2_{adjusted}	F	p	B	Beta	SE	p	Part correlation
<i>Μοντέλο</i>	.216	.190	8.149	.001					
<i>Σταθερός όρος</i>					1.177				
Τελική γνώση μοντέλων (ΑΤ)					.099	.209	.061	.108	.188
Τελική γνώση μοντέλων (ΣΛ)					.333	.336	.127	.011	.303

Σημείωση* ερωτήσεις ανοιχτού τύπου

Σημείωση* SE: Stander error of estimate

3.2 Περιγραφή επιδόσεων στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών

Πίνακας 12: Περιγραφή των επιδόσεων στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών

	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Antissacade -Βλέπω στην απέναντι πλευρά	4	54	33.63	10.48
Χρώμα λέξης_ ACC	7	20	15.33	2.66
Χρώμα λέξης_ MRT	560 (ms)	1.064 (ms)	814.57 (ms)	106.43 (ms)
Χρώμα λέξης_ EFF	16 (ms)	361 (ms)	157.32 (ms)	88.57 (ms)
RAVEN	11	35	29.24	4.10
Χρώμα- σχήμα_ BAMP	-.04	.32	.06	.08
Χρώμα- σχήμα_ ACC	8	10	9.93	.32
Χρώμα- σχήμα_ EFF	55 (ms)	1698 (ms)	511.41 (ms)	410.56 (ms)
Χρώμα- σχήμα_ .PersErr	.00	12	1.97	2.56
Δύο –πίσω με γράμματα	2	10	6.31	1.87
Χρώμα ή λέξη_ ACC	18.00	32	27.96	2.87
Χρώμα ή λέξη_ MRT	1158.62 (ms)	3828.36 (ms)	2212.51 (ms)	634.44 (ms)
Χρώμα ή λέξη_ EFF	6 (ms)	1544 (ms)	361.11 (ms)	302.53 (ms)

Σημείωση: ACC= ακρίβεια, MRT=χρόνος αντίδρασης στις μη συμβατές συνθήκες, EFF= διαφορά χρόνου αντίδρασης στις συμβατές με τις μη συμβατές συνθήκες, PersErr=λάθη διατήρησης

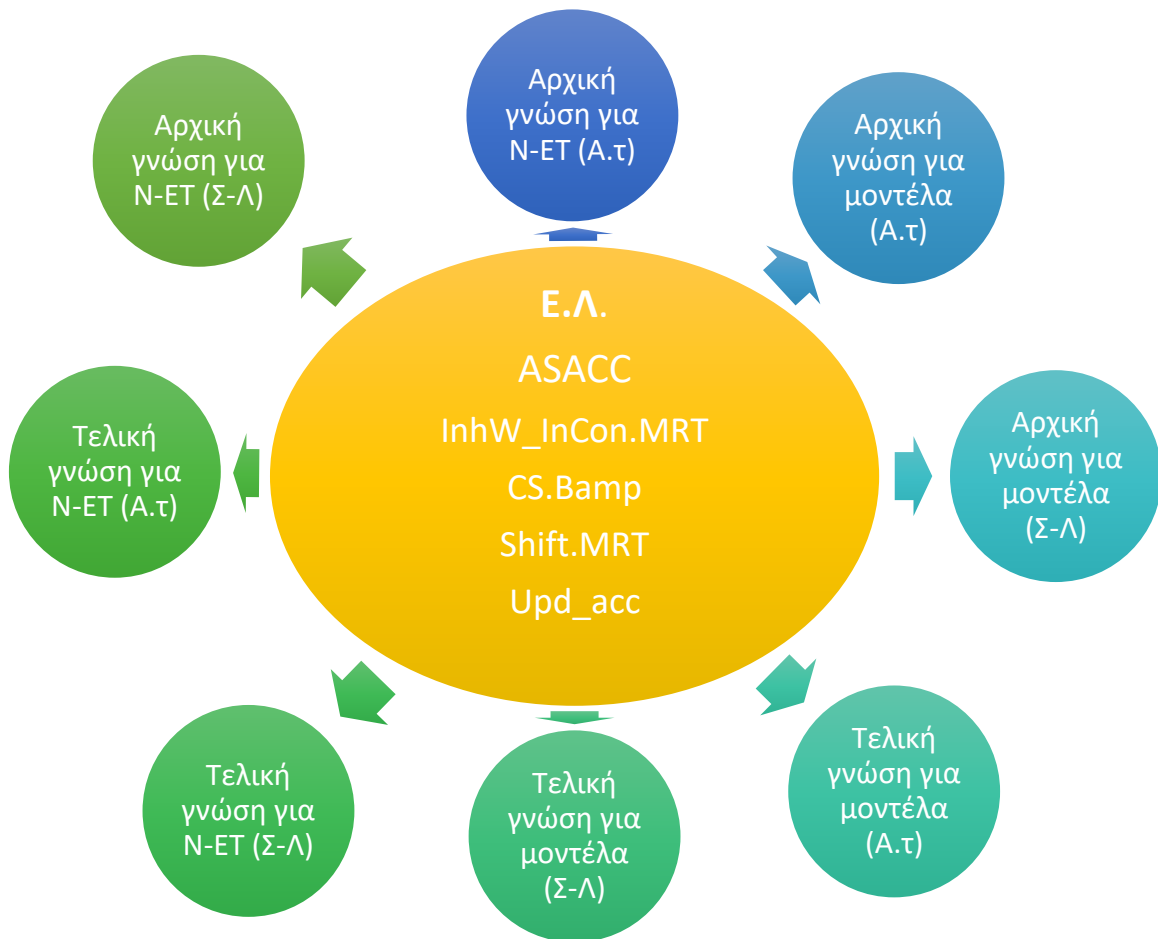
Αναφορικά με το έργο αναστολής «βλέπω στην απέναντι πλευρά» (antissacade), ο μέσος όρος σωστών αποκρίσεων ήταν 33,63 (τυπική απόκλιση 1.49). Οι ελάχιστες σωστές αποκρίσεις ήταν 4 (στα 60) και οι μέγιστες 54 (στα 60). Στο έργο αναστολής «χρώμα λέξης» -stroop like task, ο μέσος όρος σωστών αποκρίσεων, στις μη συμβατές συνθήκες, ήταν 15,34 (τυπική απόκλιση 2.66). Οι ελάχιστες σωστές αποκρίσεις ήταν 7 (στα 20) και οι μέγιστες 20 (στα 20). Στο ίδιο έργο, ο μέσος χρόνος αντίδρασης των μαθητών στις μη συμβατές συνθήκες ήταν 814.57 (τυπική απόκλιση 106.43). Ο ελάχιστος χρόνος αντίδρασης ήταν 560 ms και ο μέγιστος 1064 ms. Στο ίδιο έργο η μέση διαφορά του χρόνου απόκρισης στις συμβατές με τις ασύμβατες συνθήκες ήταν 57.32ms (τυπική απόκλιση 88.57). Η ελάχιστη διαφορά στο χρόνο αντίδρασης ήταν 16 ms και η μέγιστη 361 ms. Αναφορικά με το έργο μέτρησης της νοητικής ικανότητας (Raven), ο μέσος όρος σωστών αποκρίσεων ήταν 29.24 (τυπική απόκλιση 4.1). Οι

ελάχιστες σωστές αποκρίσεις ήταν 11 (στα 36) και οι μέγιστες 35 (στα 36). Αναφορικά με το έργο εναλλαγής «χρώμα – σχήμα» η μέση ακρίβεια των μαθητών (CS.BAMP) ήταν 0.68 (τυπική απόκλιση 0.83). Η ελάχιστη τιμή ήταν -0.4 και η μέγιστη 0.32. Στο ίδιο έργο η μέση διαφορά του χρόνου απόκρισης στις συμβατές με τις ασύμβατες συνθήκες ήταν 511.41 ms (τυπική απόκλιση 410.56). Η ελάχιστη διαφορά ήταν 55.00 ms και η μέγιστη 1698 ms. Στο ίδιο έργο, αναφορικά με τα λάθη διατήρησης στην αλλαγή του κανόνα, ο μέσος όρος των λαθών ήταν 1.97 (τυπική απόκλιση 2.56). Η μέγιστη τιμή των λαθών διατήρησης ήταν 2.56 και η ελάχιστη 0. Αναφορικά με το έργο 2- πίσω ο μέσος όρος σωστών αποκρίσεων ήταν 6.31 (τυπική απόκλιση 1.87). Οι ελάχιστες σωστές αποκρίσεις ήταν 2 (στα 10) και οι μέγιστες 10 (στα 10). Τέλος, αναφορικά με το έργο Χρωμα ή λέξη (Local- Global), ο μέσος όρος σωστών αποκρίσεων, στις μη συμβατές συνθήκες, ήταν 27.96 (τυπική απόκλιση 2.87). Οι ελάχιστες σωστές αποκρίσεις ήταν 18 (στα 32) και οι μέγιστες 32 (στα 32). Στο ίδιο έργο, ο μέσος χρόνος αντίδρασης των μαθητών στις μη συμβατές συνθήκες ήταν 2212,51 (τυπική απόκλιση 634.44). Ο ελάχιστος χρόνος αντίδρασης ήταν 1158.62 ms και ο μέγιστος 3828.36 ms. Στο ίδιο έργο η μέση διαφορά του χρόνου απόκρισης στις συμβατές με τις ασύμβατες συνθήκες ήταν 361.11ms (τυπική απόκλιση 302.5). Η ελάχιστη διαφορά στο χρόνο αντίδρασης ήταν 6ms και η μέγιστη 1544ms.

3.3 Προβλεπτική ικανότητα εκτελεστικών λειτουργιών

Για τη διερεύνηση των δύο πρώτων ερευνητικών ερωτημάτων, δηλαδή αν οι επιδόσεις στις εκτελεστικές λειτουργίες αποτελούν προβλεπτικό παράγοντα της αρχικής και της τελικής επίδοσης των μαθητών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET, πραγματοποιήθηκε ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι εκτελεστικές λειτουργίες της αναστολής, της εναλλαγής και της ανανέωσης της μνήμης εργασίας, ώστε να διερευνηθεί ο βαθμός στον οποίο εξηγούν τη διακύμανση στις αρχικές και τελικές επιδόσεις των μαθητών.

Για την εκτελεστική λειτουργία της αναστολής χρησιμοποιήθηκε η ακρίβεια στο έργο «βλέπω στην απέναντι πλευρά» και ο χρόνος αντίδρασης στο έργο «Χρώμα λέξης». Για την εκτελεστική λειτουργία της εναλλαγής χρησιμοποιήθηκαν ο χρόνος αντίδρασης στο έργο «Χρώμα ή λέξη» και η μεταβλητή b_{amp} στο παρόν έργο «Χρώμα- σχήμα», η οποία συνδυάζει τα λάθη διατήρησης και μη-διατήρησης. Τέλος, για την εκτελεστική λειτουργία της ανανέωσης της μνήμης εργασίας χρησιμοποιήθηκε η ακρίβεια στο έργο «2-πίσω με γράμματα».



Σχήμα 16: Προβλεπτικός παράγοντας Ε.Λ.

Πραγματοποιώντας μία συνοπτική αναφορά, οι εκτελεστικές λειτουργίες αποτέλεσαν προβλεπτικούς παράγοντες της αρχικής και τελικής γνώσης για τη φύση και των ρόλων των μοντέλων. Αντίθετα, οι εκτελεστικές λειτουργίες δεν αποτέλεσαν προβλεπτικό παράγοντα της αρχικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET, αλλά μόνο της τελικής κατανόησης αναφορικά με το περιεχόμενο της N-ET. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της παλινδρομικής ανάλυση για κάθε εκτελεστική λειτουργία.

3.3.1 Προβλεπτική ικανότητα εκτελεστικών λειτουργιών για την αρχική κατανόηση

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην γνώση του περιεχομένου της N-ET στο προδιαγνωστικό δοκίμιο, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι εκτελεστικές λειτουργίες δεν προέβλεψαν ικανοποιητικά τη γνώση του περιεχομένου της N-ET στο προδιαγνωστικό δοκίμιο, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, $F_{5,34} = .303$, $p = .908$, $R^2 = .043$, $SE_{ST} = 1.727$.

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην γνώση του περιεχομένου της N-ET στο προδιαγνωστικό δοκίμιο, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι εκτελεστικές λειτουργίες δεν προέβλεψαν ικανοποιητικά τη γνώση του περιεχομένου της N-ET στο προδιαγνωστικό δοκίμιο, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους, $F_{5,4} = .691$, $p = .633$, $R^2 = .092$, $SE_{ST} = 4.039$.

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην αρχική γνώση για τα μοντέλα όπως μελετήθηκε στο προδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι εκτελεστικές λειτουργίες δεν προέβλεψαν ικανοποιητικά την αρχική γνώση για τα μοντέλα στο προδιαγνωστικό δοκίμιο όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, $F_{5,34} = 1.645$, $p = .175$, $R^2 = .195$, $SE_{ST} = 2.276$.

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην αρχική γνώση για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε στο προδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις σωστού- λάθους, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής

γραμμικής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στατιστικά σημαντική επίδραση στην αρχική γνώση για τα μοντέλα όπως μελετήθηκε στο προδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις σωστού- λάθους είχε το έργο αναστολής «βλέπω στην απέναντι πλευρά»- antissacade ($p < .05$) και ο χρόνος αντίδρασης στις μη συμβατές συνθήκες στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή λέξη» ($p < .05$). Σύμφωνα με το μοντέλο το 34.9% της διακύμανσης της αρχικής γνώσης για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε στο προδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις σωστού- λάθους εξηγείται από τις εκτελεστικές λειτουργίες της αναστολή, εναλλαγής και ανανέωσης της μνημης εργασίας των μαθητών, με δείκτες καλής προσαρμογής του μοντέλου ήταν $F_{5,3}=3.653$, $p= .009$, $R^2 = .349$, $R^2_{adjusted}=.254$, $SE_{ST}= 2.283$.

Πίνακας 13: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για την ερμηνεία της αρχικής γνώσης των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα*, βάσει των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	R ²	R ² adjusted	F	p	B	Beta	SE	P	Part correlation
<i>Μοντέλο</i>	.349	.254	3.653	.009					
<i>Σταθερός όρος</i>					4.113				
Anti-ssacade					.074	.329	.036	.044	.289
Χρώμα λέξης_ MRT					.004	.160	.004	.381	.123
Χρώμα- σχήμα _BAMP					-2,287	-.056	6.151	.712	-.051
Χρώμα ή λέξη_ MRT					-.002	-.401	.001	.036	-.302
2-πίσω γράμματα _Acc					.169	.224	.224	.458	.104

Σημείωση* ερωτήσεις σωστού λάθους

Σημείωση* SE= Standard error of estimate

3.3.2 Προβλεπτική ικανότητα εκτελεστικών λειτουργιών για την τελική κατανόηση

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην τελική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET, όπως μελετήθηκε στο προδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στατιστικά σημαντική επίδραση στην αρχική γνώση για τα μοντέλα όπως μελετήθηκε στο προδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις σωστού- λάθους είχε ο χρόνος αντίδρασης στις μη συμβατές συνθήκες στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή λέξη» ($p < .01$). Σύμφωνα με το μοντέλο το 31.6% της διακύμανσης της τελικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET, όπως μελετήθηκε στο προδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, εξηγείται από τις εκτελεστικές λειτουργίες, με δείκτες καλής προσαρμογής του μοντέλου ήταν $F_{5,34}=3.141, p= .019, R^2 = .316, R^2_{adjusted} = .215, SE_{ST} = 1.720$.

Πίνακας 14: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για την ερμηνεία της τελικής γνώσης των μαθητών για τα το περιεχόμενο της N-ET*, βάσει των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	R ²	R ² adjusted	F	p	B	Beta	SE	p	Part correlation
<i>Μοντέλο</i>	.316	.215	3.141	.019					
<i>Σταθερός όρος</i>					11.628				
Anti-ssacade					.009	.056	.027	.731	.049
Χρώμα λέξης_MRT					.002	.143	.003	.444	.110
Χρώμα- σχήμα _BAMP					-1,089	-.036	4.635	.816	-.033
Χρώμα ή λέξη_MRT					-,002	.001	-.609	.003	-.458
2-πίσω γράμματα_Acc					-,012	-.011	.169	.942	-.010

Σημείωση* ερωτήσεις ανοιχτού τύπου

Σημείωση* SE= Standard error of estimate

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην τελική γνώση του περιεχομένου της N-ET, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους, τα

δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι εκτελεστικές λειτουργίες δεν προέβλεψαν ικανοποιητικά τη γνώση του περιεχομένου της N-ET στο προδιαγνωστικό δοκίμιο όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους, $F_{5,34}=.283$, $p=.919$, $R^2=.040$, $SE_{ST}=3.097$.

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην τελική γνώση για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε στο μεταδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στατιστικά σημαντική επίδραση στην τελική γνώση για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε στο μεταδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, είχε το έργο «Χρώμα ή λέξη» ($p < 0.01$). Σύμφωνα με το μοντέλο το 30.5% της διακύμανσης της τελικής γνώσης για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε στο μεταδιαγνωστικό δοκίμιο με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου εξηγείται από τις εκτελεστικές λειτουργίες, με δείκτες καλής προσαρμογής του μοντέλου ήταν $F_{5,34}=2.982$, $p=.024$, $R^2=.305$, $R^2_{adjusted}=.203$, $SE_{ST}=4.018$.

Πίνακας 15: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για την ερμηνεία της τελικής γνώσης των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα*, βάσει των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	R^2	R^2 adjusted	F	p	B	Beta	SE	p	Part correlatio n
Μοντέλο	.305	.203	2.982	.024					
Σταθερός όρος					9.236				
Anti-ssacade					.088	.229	.063	.169	.201
Χρώμα λέξης_MRT					.012	.305	.007	.110	.235
Χρώμα- σχήμα _BAMP					3.537	.051	10.82 5	.746	.047
Χρώμα ή λέξη_ MRT					-.004	-.536	.001	.008	-.403
2-πίσω γράμματα_Acc					.074	.028	.395	.852	.027

Σημείωση* ερωτήσεις ανοιχτού τύπου

Σημείωση* SE= Standard error of estimate

Για τη μελέτη της επίδρασης των εκτελεστικών λειτουργιών στην τελική γνώση για τα μοντέλα στο μεταδιαγνωστικό δοκίμιο, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους, τα δεδομένα προσαρμόστηκαν στο υπόδειγμα της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι εκτελεστικές λειτουργίες δεν προβλέπουν ικανοποιητικά την τελική γνώση των μαθητών για τα μοντέλα στο μεταδιαγνωστικό δοκίμιο, όπως μελετήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους, $F_{5,34}=2.265$, $p=0.70$, $R^2=0.250$, $SE_{ST}=1.853$

3.4 Σύγκριση προβλεπτικής ικανότητας εκτελεστικών λειτουργιών σε σχέση με την νοητική ικανότητα

Για την απάντηση του ερωτήματος αν αποτελεί η νοητική ικανότητα ή όχι καλύτερο προβλεπτικό παράγοντα της επίδοσης των μαθητών σε σύγκριση με τις Ε.Λ., τρέξαμε μία απλή γραμμική παλινδρόμηση για κάθε εξαρτημένη μεταβλητή και με ανεξάρτητη μεταβλητή το έργο Raven και μία πολλαπλή παλινδρόμηση με όλες τις εκτελεστικές λειτουργίες που μελετήθηκαν και νωρίτερα και τις ίδιες εξαρτημένες μεταβλητές (αρχική- τελική κατανόηση για τα μοντέλα και το περιεχόμενο της N-ET), όπως φαίνεται στο σχήμα 1 και 2. Ως καλύτερο υπόδειγμα ανάμεσα στο raven και τις υπόλοιπες εκτελεστικές, θεωρήθηκε αυτό που είχε το μεγαλύτερο $R^2_{adjusted}$ και το μικρότερο Std error of estimate (Ζαχαροπούλου, 1994· Μπόρα- Σέντα & Μωυσιάδης, 1990)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σύγκρισης της προβλεπτικής ικανότητας της νοητικής ικανότητας και των Ε.Λ, οι Ε.Λ. αποτελούν καλύτερο προβλεπτικό παράγοντας τόσο της αρχικής όσο και της τελικής κατανόησης για τα επιστημονικά μοντέλα και το περιεχόμενο της N-ET. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των παλινδρομικών αναλύσεων.

3.4.1 Αρχική κατανόηση

Αναφορικά με την αρχική γνώση των μαθητών στο περιεχόμενο της N-ET, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, κανένα από τα δύο υποδείγματα – μοντέλα, δεν ερμήνευε τη διακύμανση της γνώσης των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα η στάθμη σημαντικότητας για τον προβλεπτικό παράγοντα νοητική ικανότητα ήταν $p=.688$ και για τον προβλεπτικό παράγοντα εκτελεστικές λειτουργίες $p=.908$. Ενδεικτικά σε περίπτωση που η στάθμη σημαντικότητας ήταν ικανοποιητική, βασιζόμενοι στο R^2 και στο Std error of estimate, το μοντέλο που θα ερμήνευε τη διακύμανση στην αρχική γνώση των μαθητών για τη N-ET, θα ήταν οι εκτελεστικές λειτουργίες ($R^2_{\text{adjusted}} = -.098$, $SE_{ST} = 1.727$) και όχι η νοητική ικανότητα ($R^2_{\text{adjusted}} = .003$, $SE_{ST} = 1.761$)

Αναφορικά με την αρχική γνώση των μαθητών στο περιεχόμενο της N-ET, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις Σωστού- Λάθους, κανένα από τα δύο υποδείγματα – μοντέλα, δεν ερμήνευε τη διακύμανση της αρχικής γνώσης των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα η στάθμη σημαντικότητας για τον προβλεπτικό παράγοντα νοητική ικανότητα ήταν $p=.237$ και για τον προβλεπτικό παράγοντα εκτελεστικές λειτουργίες $p=.633$. Ενδεικτικά, σε περίπτωση που η στάθμη σημαντικότητας ήταν ικανοποιητική, βασιζόμενοι στο R^2 και στο Std error of estimate, το μοντέλο που θα ερμήνευε τη διακύμανση στην αρχική γνώση των μαθητών για τη N-ET, θα ήταν οι εκτελεστικές λειτουργίες ($R^2_{\text{adjusted}} = -.041$, $SE_{ST} = 4.039$) και όχι η νοητική ικανότητα ($R^2_{\text{adjusted}} = .007$, $SE_{ST} = 3.994$).

Αναφορικά με την αρχική γνώση των μαθητών για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου, κανένα από τα δύο υποδείγματα – μοντέλα, δεν ερμήνευε τη διακύμανση της γνώσης των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα η στάθμη σημαντικότητας για τον προβλεπτικό παράγοντα νοητική ικανότητα ήταν $p=.167$ και

για τον προβλεπτικό παράγοντα εκτελεστικές λειτουργίες $p=.175$. Ενδεικτικά σε περίπτωση που η στάθμη σημαντικότητας ήταν ικανοποιητική, βασιζόμενοι στο R^2 και στο Std error of estimate, το μοντέλο που θα ερμήνευε τη διακύμανση στην αρχική γνώση των μαθητών για τα μοντέλα, θα ήταν οι εκτελεστικές λειτουργίες ($R^2_{\text{adjusted}}=.076$, $SE_{ST}=2.276$) και όχι η νοητική ικανότητα ($R^2_{\text{adjusted}}=.015$, $SE_{ST}=2.825$)

Αναφορικά με την αρχική γνώση των μαθητών για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις Σωστού- Λάθους, το υπόδειγμα – μοντέλο, που ερμήνευε καλύτερα τη διακύμανση της αρχικής γνώσης των μαθητών, ήταν αυτό που περιελάμβανε τις εκτελεστικές λειτουργίες ($p=.009 < .05$, $R^2_{\text{adjusted}}=.254$, $SE_{ST}=2.283$) σε σύγκριση με τα μοντέλο που περιλάμβανε ως προβλεπτικό παράγοντα την νοητική ικανότητα ($p=.058$, $R^2_{\text{adjusted}}=.043$, $SE_{ST}=2.572$). Πιο συγκεκριμένα, στο υπόδειγμα με ανεξάρτητες μεταβλητές τις εκτελεστικές λειτουργίες, παρουσία των άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών, οι μεταβλητές που αποτέλεσαν τους καλύτερους προβλεπτικούς παράγοντες της αρχικής γνώσης των μαθητών, ήταν η ακρίβεια στο έργο αναστολής «βλέπω στην απέναντι πλευρά» ($p=.044$) και το χρόνος αντίδρασης στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή λέξη» ($p=.036$).

3.4.1 Τελική κατανόηση

Αναφορικά με την τελική γνώση των μαθητών για τη N-ET, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις ανοιχτού και τα δύο μοντέλα μπορούσαν να ερμηνεύσουν τη διακύμανση της τελικής γνώσης των μαθητών. Καλύτερο προβλεπτικός παράγοντας της διακύμανσης της τελικής γνώσης αποτέλεσαν οι εκτελεστικές λειτουργίες ($p=.019$, $R^2_{\text{adjusted}}=.215$, $SE_{ST}=1.720$), με σε σύγκριση με τα τον προβλεπτικό παράγοντα την νοητική ικανότητα ($p=.006$, $R^2_{\text{adjusted}}=.104$, $SE_{ST}=2.103$). Πιο συγκεκριμένα, στο υπόδειγμα με ανεξάρτητες μεταβλητές τις εκτελεστικές λειτουργίες, παρουσία των άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών, η μεταβλητή που αποτέλεσε τον καλύτερο

προβλεπτικό παράγοντα της τελικής γνώσης των μαθητών, ήταν ο χρόνος αντίδρασης στις μη συμβατές συνθήκες στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή λέξη» ($p = .003$).

Αναφορικά με την τελική γνώση των μαθητών στο περιεχόμενο της N-ET, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις Σωστού- Λάθους, κανένα από τα δύο υποδείγματα – μοντέλα, δεν ερμήνευε τη διακύμανση της τελικής γνώσης των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα η στάθμη σημαντικότητας για τον προβλεπτικό παράγοντα νοητική ικανότητα ήταν $p = .462$ και για τον προβλεπτικό παράγοντα εκτελεστικές λειτουργίες $p = .919$. Ενδεικτικά, σε περίπτωση που η στάθμη σημαντικότητας ήταν ικανοποιητική, βασιζόμενοι στο R^2 και στο Std error of estimate, το μοντέλο που θα ερμήνευε τη διακύμανση στην αρχική γνώση των μαθητών για τη N-ET, θα ήταν οι εκτελεστικές λειτουργίες ($R^2_{\text{adjusted}} = .101$, $SE_{ST} = 3.097$) και όχι η νοητική ικανότητα ($R^2_{\text{adjusted}} = .009$, $SE_{ST} = 2.888$).

Αναφορικά με την τελική γνώση των μαθητών για μοντέλα, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου και τα δύο μοντέλα μπορούσαν να ερμηνεύσουν τη διακύμανση της τελικής γνώσης των μαθητών. Καλύτερος προβλεπτικός παράγοντας της διακύμανσης της τελικής γνώσης αποτελούν οι εκτελεστικές λειτουργίες ($p = .024$, $R^2_{\text{adjusted}} = .203$, $SE_{ST} = 4.018$) σε σύγκριση με τα τον προβλεπτικό παράγοντα την νοητική ικανότητα ($p = .010$, $R^2_{\text{adjusted}} = .089$, $SE_{ST} = 4.448$). Πιο συγκεκριμένα, στο υπόδειγμα με ανεξάρτητες μεταβλητές τις εκτελεστικές λειτουργίες, παρουσία των άλλων ανεξάρτητων μεταβλητών, η μεταβλητή που προβλέπει καλύτερα τη τελική γνώση των μαθητών, ήταν ο χρόνος αντίδρασης στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή σχήμα» ($p = .008$).

Αναφορικά με την τελική γνώση των μαθητών για τα μοντέλα, όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις Σωστού- Λάθους, κανένα από τα δύο υποδείγματα – μοντέλα, δεν ερμήνευε τη διακύμανση της τελικής γνώσης των μαθητών. Πιο συγκεκριμένα η

στάθμη σημαντικότητας για τον προβλεπτικό παράγοντα νοητική ικανότητα ήταν $p=.614$ και για τον προβλεπτικό παράγοντα εκτελεστικές λειτουργίες $p=.070$. Ενδεικτικά, σε περίπτωση που η στάθμη σημαντικότητας ήταν ικανοποιητική, βασιζόμενοι στο R^2 και στο SE_{ST} το μοντέλο που θα ερμήνευε τη διακύμανση στην αρχική γνώση των μαθητών για τη Ν-ΕΤ, θα ήταν οι εκτελεστικές λειτουργίες ($R^2_{adjusted} = .140$, $SE_{ST}=1.853$) και όχι η νοητική ικανότητα ($R^2_{adjusted} = -.012$, $SE_{ST} = 2.250$).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι οι Ε.Λ. αποτέλεσαν καλύτερο προβλεπτικό παράγοντα τόσο της αρχικής όσο και της τελικής κατανόησης, σε σχέση με την νοημοσύνη. Επιπρόσθετα, κατασκευάστηκε ένα υπόδειγμα με ανεξάρτητες μεταβλητές τις Ε.Λ. στις οποίες προστέθηκε και η νοητική ικανότητα, ώστε να ελεγχθεί αν οι Ε.Λ. συνεχίζουν να έχουν στατιστικά σημαντική επίδραση στην κατανόηση, υπό την παρουσία της νοητικής ικανότητας. Παρακάτω παρουσιάζονται μόνο τα αποτελέσματα για τα οποία οι Ε.Λ. αποτέλεσαν προβλεπτικό παράγοντα, όπως παρουσιάστηκε στα παραπάνω αποτελέσματα.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 16, συγκρίνοντας τα δύο υποδείγματα, παρατηρείται ότι παρουσία της νοητικής ικανότητας (Raven), η επίδραση των Ε.Λ. στην αρχική γνώση για τα μοντέλα παρέμεινε στατιστικά σημαντική. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στατιστικά σημαντική επίδραση στην αρχική γνώση για τα μοντέλα όπως μελετήθηκε με τις ερωτήσεις σωστού- λάθους συνέχιζε να έχει το έργο αναστολής «βλέπω στην απέναντι πλευρά»- *antissacade* ($p = .05$) και ο χρόνος αντίδρασης στις μη συμβατές συνθήκες στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή λέξη» ($p < .05$).

Πίνακας 16: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για την ερμηνεία της αρχικής γνώσης των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα*, βάσει των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης χωρίς και υπό την παρουσία ης νοητικής ικανότητας.

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	R ²	R ² adjusted	F	P	B	Beta	SE	p	Part correlation
Μοντέλο 1	.349	.254	3.653	.009					
Σταθερός όρος					4.113				
Anti-ssacade					.074	.329	.036	.044	.289
Χρώμα λέξης_MRT					.004	.160	.004	.381	.123
Χρώμα- σχήμα _BAMP					-2,287	-.056	6.151	.712	-.051
Χρώμα ή λέξη_MRT					-.002	-.401	.001	.036	-.302
2-πίσω γράμματα_Acc					.169	.224	.224	.458	.104
Μοντέλο 2	.595	.354	3.009	.019					
Σταθερός όρος					4.850				
Anti-ssacade					.084	.370	.041	.050	.283
Χρώμα λέξης_MRT					.004	.170	.004	.361	.130
Χρώμα- σχήμα _BAMP					-1.709	-.042	6.350	.790	-.038
Χρώμα ή λέξη_MRT					-.002	-.390	.001	.046	-.291
2-πίσω γράμματα_Acc					.163	.106	.227	.478	.100
Raven					-.045	-.074	.099	.649	-.064

Σημείωση* ερωτήσεις σωστού λάθους

Σημείωση* SE= Standard error of estimate

Όπως φαίνεται στον πίνακα 17, συγκρίνοντας τα δύο υποδείγματα, παρατηρείται ότι παρουσία της νοητικής ικανότητας (Raven), η επίδραση των Ε.Λ. στην τελική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET παρέμεινε στατιστικά σημαντική. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στατιστικά σημαντική επίδραση στην τελική γνώση για το περιεχόμενο της N-ET συνέχισε να έχει ο χρόνος αντίδρασης στις μη συμβατές συνθήκες στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή λέξη» ($p < .01$).

Πίνακας 17: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για την ερμηνεία της τελικής γνώσης των μαθητών για τα το περιεχόμενο της N-ET*, βάσει των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης χωρίς και υπό την παρουσία ης νοητικής ικανότητας.

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	R ²	R ² adjusted	F	p	B	Beta	SE	p	Part correlation
Μοντέλο 1	.316	.215	3.141	.019					
Σταθερός όρος					11.628				
Anti-ssacade					.009	.056	.027	.731	.049
Χρώμα λέξης_MRT					.002	.143	.003	.444	.110
Χρώμα- σχήμα _BAMP					-1.089	-.036	4.635	.816	-.033
Χρώμα ή λέξη_ MRT					-.002	.001	-.609	.003	-.458
2-πίσω γράμματα_Acc					-.012	-.011	.169	.942	-.010
Μοντέλο 2	.615	.379	3.351	.011					
Σταθερός όρος					9.519				
Anti-ssacade					-.018	-.105	.030	.561	-.081
Χρώμα λέξης_MRT					.002	.103	.003	.569	.079
Χρώμα- σχήμα _BAMP					-2.745	-.092	4.575	.553	-.082
Χρώμα ή λέξη_ MRT					-.002	-	.001	.001	-.486
2-πίσω γράμματα_Acc					.003	.652	.164	.986	.002
Raven					.130	.290	.071	.077	.250

Σημείωση* ερωτήσεις ανοιχτού τύπου

Σημείωση* SE= Standard error of estimate

Όπως φαίνεται στον πίνακα 18, συγκρίνοντας τα δύο υποδείγματα, παρατηρείται ότι παρουσία της νοητικής ικανότητας (Raven), η επίδραση των Ε.Λ. στην τελική γνώση για τα επιστημονικά μοντέλα παρέμεινε στατιστικά σημαντική. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στατιστικά σημαντική επίδραση στην τελική γνώση για τα επιστημονικά μοντέλα συνέ να έχει ο χρόνος αντίδρασης στις μη συμβατές συνθήκες στο έργο εναλλαγής «Χρώμα ή λέξη» ($p < .01$).

Πίνακας 18: Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση για την ερμηνεία της τελικής γνώσης των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα*, βάσει των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης χωρίς και υπό την παρουσία ης νοητικής ικανότητας.

Ανεξάρτητες Μεταβλητές	R ²	R ² adjusted	F	p	B	Beta	SE	p	Part correlatio n
Μοντέλο 1	.305	.203	2.982	.024					
Σταθερός όρος					9.236				
Anti-ssacade					.088	.229	.063	.169	.201
Χρώμα λέξης_MRT					.012	.305	.007	.110	.235
Χρώμα- σχήμα _BAMP					3.537	.051	10.82 5	.746	.047
Χρώμα ή λέξη_ MRT					-.004	-.536	.001	.008	-.403
2-πίσω γράμματα_Acc					.074	.028	.395	.852	.027
Μοντέλο 2	.568	.323	2.625	.034					
Σταθερός όρος					6.600				
Anti-ssacade					.054	.142	.072	.455	.108
Χρώμα λέξης_MRT					.011	.284	.008	.139	.217
Χρώμα- σχήμα _BAMP					1.467	.021	11.06 3	.895	.019
Χρώμα ή λέξη_ MRT					-.004	- .559	.001	.006	-.417
2-πίσω γράμματα_Acc					.093	.036	.396	.815	.034
Raven					.162	.156	.172	.352	.135

Σημείωση* ερωτήσεις ανοιχτού τύπου

Σημείωση* SE= Standard error of estimate

Κεφάλαιο Τέταρτο: Συμπεράσματα- Συζήτηση

Η παρούσα μεταπτυχιακή έρευνα διεξήχθη με σκοπό τη μελέτη της ικανότητας των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, της εναλλαγής και της ανανέωσης της μνήμης εργασίας να προβλέπουν την αρχική και τελική γνώση των μαθητών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET αφού έχει πραγματοποιηθεί σειρά διδακτικών παρεμβάσεων. Επιπρόσθετα, η παρούσα έρευνα επιδίωκε να διερευνήσει αν οι Ε.Λ αποτελούν καλύτερο προβλεπτικό παράγοντα της αρχικής και τελικής κατανόησης, από τη νοητική ικανότητα. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε πειραματικός ερευνητικός σχεδιασμός με μια πειραματική ομάδα 62 μαθητών της ΣΤ΄ τάξης του Δημοτικού. Αφού μετρήθηκαν οι επιδόσεις των Ε.Λ. και οι αρχικές γνώσεις των μαθητών με τη χρήση διαγνωστικού δοκιμίου, πραγματοποιήθηκε σειρά διδακτικών παρεμβάσεων σε σχέση με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET και στη συνέχεια μετρήθηκαν οι τελικές ιδέες των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET με τη χρήση διαγνωστικού δοκιμίου.

4.1 Συμπεράσματα αναφορικά με τη διδακτική παρέμβαση

4.1.1 Κατανόηση του περιεχόμενο της N-ET

Αναφορικά με τις ιδέες των μαθητών για το μέγεθος και το όργανο, φάνηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μαθητών διέκρινε ότι υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από τα παρατηρήσιμα με γυμνό μάτι σε αντίθεση με τα ευρήματα της έρευνας του Waldron (2006). Επιπλέον, η πλειονότητα των μαθητών γνώριζε ότι μπορούμε να τα προσεγγίσουμε με τα μικροσκόπια. Μετά τη διδακτική παρέμβαση μεγαλύτερος αριθμός μαθητών ανέφερε ότι υπάρχουν μικρότερα από τα ορατά με γυμνό μάτι αντικείμενα και ότι μπορούμε να τα προσεγγίσουμε με το ηλεκτρονικό και το οπτικό

μικροσκόπιο. Η βελτίωση της κατανόησης για τα όργανα παρατήρησης είναι σημαντική, καθώς αποτελούν κριτήριο για τον διαχωρισμό των μεγεθών στο μακρόκοσμο, μικρόκοσμο και νανόκοσμο (Stevens et al., 2009).

Αναφορικά με την ικανότητα των μαθητών να αντιστοιχούν τους «κόσμους» με τα όργανα παρατήρησης και τα αντικείμενα αναφοράς, παρατηρήθηκε ότι ένα μεγάλο ποσοστό των μαθητών μπορούσε να πραγματοποιήσει σωστά την αντιστοίχιση. Ταυτόχρονα, μετά τη διδακτική παρέμβαση η συντριπτική πλειονότητα (74%) μπορούσε να αντιστοιχίσει σωστά «κόσμους», με τα όργανα παρατήρησης και τα αντικείμενα αναφοράς. Η ικανότητα αυτή των μαθητών να αντιστοιχίζουν τους «κόσμους», με τα όργανα παρατήρησης και τα αντικείμενα αναφοράς, συνδέεται και με την κατανόηση, αρχική και τελική, των μαθητών για τα όργανα παρατήρησης (Stevens et al., 2009).

Όσον αφορά τη «Λειτουργία των επιφανειών των τριών φύλλων», πριν τη διδακτική παρέμβαση η συντριπτική πλειονότητα των μαθητών έδινε 0 με 2 σωστές απαντήσεις αναφορικά με το σχήμα και την κίνηση της σταγόνας πάνω στα τρία φύλλα. Αντίθετα, μετά τη διδακτική παρέμβαση, οι περισσότεροι μαθητές μπορούσαν να περιγράψουν σωστά την πλειονότητα των σχημάτων και της κίνησης της σταγόνας στα 3 φύλλα. Η αρχική περιορισμένη ικανότητα περιγραφής της κίνησης και του σχήματος της σταγόνας θεωρείται λογική, καθώς οι μαθητές δεν είχαν κάποια παρόμοια προηγούμενη διδακτική εμπειρία, όπως επιβεβαιώθηκε μετά από επικοινωνία με τον εκπαιδευτικό της κάθε τάξης. Ενώ ταυτόχρονα, φαίνεται ότι οι διδακτικές παρεμβάσεις βοήθησαν τους μαθητές να μπορούν να περιγράψουν σωστά την λειτουργία κάθε επιφάνειας. Η ικανοποιητική περιγραφή της κίνησης και του σχήματος της σταγόνας είναι σημαντική καθώς συνδέεται με τις γνώσεις σχετικά με τις ιδιότητες που εξαρτώνται από το μέγεθος αναφορικά με τη μικρο- και νάνο-δομή των φύλλων.

Σε σχέση με την ικανότητα των μαθητών να αιτιολογούν την συμπεριφορά της σταγόνας με έννοιες νανογραμματισμού που σχετίζονταν με τη δομή των φύλλων στην μικρο- και νάνο- κλίμακα [μεγάλη ιδέα «ιδιότητες εξαρτώμενες από το μέγεθος»], η πλειονότητα των μαθητών πριν τη διδακτική παρέμβαση ανήκε στα κατώτερα επίπεδα, πίστευε δηλαδή ότι η συμπεριφορά της σταγόνας οφείλεται στα χαρακτηριστικά του φύλλου σε επίπεδο μακροκλίμακας ή χαρακτηριστικά της σταγόνας (π.χ. μέγεθος) και του περιβάλλοντος (π.χ. αέρας) [για περισσότερες λεπτομέρειες βλέπε κεφάλαιο 2.7.2]. Οι περισσότεροι μαθητές αιτιολογούσαν την συμπεριφορά της σταγόνας με βάση τα χαρακτηριστικά το φύλλου στη μακροκλίμακα, αλλά και με χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος ή της σταγόνας. Μετά τη διδακτική παρέμβαση, περισσότεροι από τους μισούς μαθητές μπορούσαν να αιτιολογήσουν τη συμπεριφορά της σταγόνας με έννοιες του νανογραμματισμού [μικροεξογκώματα, νανοπροεξοχές]. Η διδακτική παρέμβαση επομένως, φαίνεται να βοήθησε τους μαθητές να συνδέσουν τις ιδιότητες του νανόκοσμου με την επίδραση στη λειτουργία των επιφανειών, όπως φαίνεται στο μακρόκοσμο. Η κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των κόσμων αποτελεί σημαντικό στόχο της διδασκαλίας της N-ET (Healy, 2009 ·Stevens et al., 2009).

4.1.2 Κατανόηση για τη φύση και ρόλο των μοντέλων

Σχετικά με τη νοηματοδότηση της έννοιας των επιστημονικών μοντέλων, η πλειονότητα των μαθητών πριν τη διδακτική παρέμβαση είχε πεποιθήσεις που σχετίζονταν με τα μοντέλα ως αντίγραφα-μινιατούρες ή ως επιστημονικά αντικείμενα ή δήλωνε άγνοια, γεγονός που συμφωνεί με τα ευρήματα κι άλλων ερευνών (Grosslight et al., 1991· Saari & Viiri, 2003· Schwarz et al.,2009·Treagust et al., 2002) Μετά τη διδακτική παρέμβαση η πλειονότητα (66,1%) των μαθητών μπορούσε να διακρίνει τον επεξηγηματικό αλλά και τον προβλεπτικό σκοπό των μοντέλων.

Όσον αφορά την πολλαπλότητα των επιστημονικών μοντέλων, πριν τη διδακτική

παρέμβαση η πλειονότητα των μαθητών υποστήριζε την ύπαρξη πολλαπλών μοντέλων, εστιαζόμενη όμως στην αναπαράσταση με μεγαλύτερη ακρίβεια [αντίγραφο] ή στους διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με αυτά των Grosslight et al. (1991). Μετά τη διδακτική παρέμβαση, 41.9% των μαθητών κατάφερε να αντιληφθεί ότι τα διαφορετικά μοντέλα αντικατοπτρίζουν το διαφορετικό τρόπο αντίληψης του φαινομένου.

Σχετικά με την αναγκαιότητα αναπαραστατικής ακρίβειας, πριν τη διδακτική παρέμβαση, πάνω από τους μισούς μαθητές θεωρούσαν ότι ο ήλιος και η γη θα έπρεπε να μοιάζουν περισσότερο με το πώς είναι πραγματικά, όπως το αληθινό. Αυτή η πεποίθηση των μαθητών αντικατοπτρίζει την αντίληψη των μοντέλων ως αντίγραφα/μινιατούρες ενός αντικειμένου ή φαινομένου και είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα άλλων ερευνών, όπως των Grosslight et al., (1991), Saari και Viiri, (2003) και Treagust et al., 2002. Μετά τη διδακτική παρέμβαση, το 1/3 των μαθητών κατάφερε να αντιληφθεί ότι δε χρειάζεται μεγαλύτερο βαθμός ακρίβειας, καθώς ο στόχος είναι το μοντέλο να διαθέτει έναν ικανοποιητικό επεξηγηματικό μηχανισμό.

Όσον αφορά τη μεταβλητότητα των μοντέλων, οι μαθητές πριν τη διδακτική παρέμβαση διατηρούσαν απόψεις που αντικατόπτριζαν όλα τα επίπεδα κατανόησης. Η πλειονότητα των μαθητών ανέφερε ότι τα μοντέλα τροποποιήθηκαν για να γίνουν πιο κατανοητά. Τα ευρήματα αυτά συμφωνούν με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, που αναφέρει ότι οι μαθητές διαθέτουν προϋπάρχουσες ιδέες, στις οποίες διακρίνουν ένα σκοπό στα μοντέλα (Vosniadou· 2010· Treagust et al., 2002). Μετά τη διδακτική παρέμβαση, υπήρξε μία μετατόπιση προς το ανώτερο επίπεδο κατανόησης, δηλαδή ότι τα μοντέλα μεταβάλλονται για να βελτιώσουν την επεξηγηματική και προβλεπτική τους ικανότητα. Η μεταβολή αυτή δεν κρίθηκε, όμως στατιστικά σημαντική.

Υποστηρίζεται ότι αυτό συνέβη καθώς οι μαθητές ήταν εξ αρχής διαμοιρασμένοι σε όλα τα επίπεδα κατανόησης.

Αναφορικά με τη χρησιμότητα των μοντέλων πριν τη διδακτική παρέμβαση, οι περισσότεροι μαθητές μπορούσαν να διακρίνουν ένα σκοπό στα μοντέλα, αποτέλεσμα που είναι σύμφωνο με την έρευνα των Treagust et al. (2002). Παρόλα αυτά, κανείς μαθητής πριν τη διδακτική παρέμβαση δεν αναγνώρισε τον τριπλό σκοπό των μοντέλων, την αναπαράσταση, επεξήγηση και πρόβλεψη ενός φαινομένου. Μετά τη διδακτική παρέμβαση, η πλειονότητα των μαθητών μπορούσε να διακρίνει δύο από τους τρεις σκοπούς ή και τους τρεις σκοπούς των επιστημονικών μοντέλων.

Σε σχέση με την αξιολόγηση της αναπαραστατικής πληρότητας και της επεξηγηματικής ικανότητας των μοντέλων, ο μεγαλύτερος αριθμός των μαθητών πριν τη διδακτική παρέμβαση έκρινε ότι η δοθείσα αναπαράσταση περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Οι απαντήσεις αυτές αντικατοπτρίζουν ιδέες σύμφωνα με τις οποίες οι μαθητές προσκολλώνται στον αναπαραστατικό ρόλο των μοντέλων και δε διακρίνουν την ανάγκη για την ύπαρξη επεξηγηματικού μηχανισμού. Αντίθετα, μετά τη διδακτική παρέμβαση πάνω από το 1/3 των μαθητών, μπορούσε να διακρίνει την έλλειψη του επεξηγηματικού μηχανισμού.

Τέλος, αναφορικά με το αν αποτελεί η δοθείσα αναπαράσταση επιστημονικό μοντέλο, πριν τη διδακτική παρέμβαση, οι περισσότεροι μαθητές, αιτιολόγησαν την απάντησή τους στη βάση της αναπαραστατικής ακρίβειας. Οι μαθητές αυτοί θεωρούσαν ότι σκοπός των μοντέλων ήταν να δείξουν το φαινόμενο, αποτελώντας ένα αντίγραφο. Με το εύρημα αυτό συμφωνούν και τα αποτελέσματα των Grosslight et al. (1991), σχετικά με τις πεποιθήσεις των μαθητών για το σκοπό των μοντέλων. Αντίθετα, μετά τη διδακτική παρέμβαση, η πλειοψηφία των μαθητών αιτιολόγησε την απάντησή της με βάση τον τριπλό σκοπό των μοντέλων.

4.2 Συμπεράσματα αναφορικά με τη συσχέτιση της επιστημολογικής κατανόησης και της κατανόησης του περιεχομένου

Πολλές έρευνες όπως αυτές των Schwarz και White (2005), Schwarz, (2002), Wiser και Smith, (2008) Zoupidis et al. (2010) υποστηρίζουν ότι η κατανόηση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων μπορεί να συμβάλει στην κατανόηση του περιεχομένου της Φυσικής. Επιπλέον, σύμφωνα με την Vosniadou (2010), η γνώση της φύσης και του ρόλου των μοντέλων μπορεί να συμβάλλει στην κατανόηση εννοιών που δεν είναι αισθητηριακά προσεγγίσιμες, όπως είναι οι έννοιες και τα φαινόμενα της N-ET (Tretter, Jones, Andre, Negishi, & Minogue, 2006). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν τον παραπάνω ισχυρισμό, καθώς υπάρχει μέτρια θετική, στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της τελικής επιστημολογικής γνώσης και της τελικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET, όπως μετρήθηκε από τις ερωτήσεις ανοιχτού τύπου $r = 0,353$ $p < 0,01$ και μέτρια θετική, στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της τελικής επιστημολογικής γνώσης για τα μοντέλα και της τελικής γνώσης για το περιεχόμενο της N-ET, όπως μετρήθηκε από τις ερωτήσεις σωστού λάθους $r = 0,435$, $p < 0.01$. Επιπλέον, η τελική γνώση για τα μοντέλα μπορεί να εξηγήσει το 21.6% της διακύμανσης της τελικής γνώσης για τη N-ET.

4.3 Συμπεράσματα αναφορικά με την προβλεπτική ικανότητα των εκτελεστικών λειτουργιών στις αρχικές ιδέες

Όσον αφορά το πρώτο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας, αν δηλαδή οι εκτελεστικές λειτουργίες, της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης αποτελούν προβλεπτικό παράγοντα της αρχικής γνώσης των μαθητών, η υπόθεσή μας επιβεβαιώθηκε για τις αρχικές γνώσεις τους αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με εκείνα των Vosniadou et al., (2015),

που ανέφεραν ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες της αναστολής και της εναλλαγής αποτελούν προβλεπτικούς παράγοντες στα έργα εννοιολογικής κατανόησης και αλλαγής καθώς και των Zaitchik et al., (2013) που ανέφεραν ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας αποτελούν καλούς προβλεπτικούς παράγοντες των ιδεών των μαθητών για το περιεχόμενο της βιολογίας.

Η εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών στην αρχική γνώση των μαθητών μπορεί να αιτιολογηθεί από το γεγονός ότι οι μαθητές αν και δεν έχουν εμπλακεί σε ρητή διδασκαλία αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των μοντέλων, στα πλαίσια της συστηματικής διδασκαλίας των φυσικών επιστημών χρησιμοποιούν μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά τους βοηθούν να καταλάβουν το περιεχόμενο των φυσικών επιστημών και δεν αποτελούν απλώς αντίγραφα ή μινιατούρες. Είναι πιθανόν, επομένως, οι μαθητές μέσω της διδασκαλίας με τη χρήση μοντέλων, στο πέρας των σχολικών τους χρόνων, να έχουν διαμορφώσει την ιδέα ότι τα μοντέλα έχουν ένα συγκεκριμένο σκοπό. Παράλληλα όμως, και όπως υποστηρίζεται από τη βιβλιογραφία (Shtulman & Valcarcel, 2012) διατηρούν και τις αρχικές τους ιδέες για τα μοντέλα ως αντίγραφα ή μινιατούρες. Η διαχείριση των δύο αυτών ιδεών οδηγεί σε αύξηση στο χρόνο αντίδρασης της εναλλαγής ανάμεσα στη μία ιδέα και την άλλη και απαιτεί την ικανότητα αναστολής της αρχικής ιδέας.

Αντίθετα, οι εκτελεστικές λειτουργίες δεν αποτελούν προβλεπτικό παράγοντα της αρχικής γνώσης των μαθητών για το περιεχόμενο της N-ET. Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται στο γεγονός ότι οι μαθητές δεν είχαν δεχθεί συστηματική διδασκαλία αναφορικά με το περιεχόμενο της N-ET και επομένως διατηρούν τις αρχικές διαισθητικές τους ιδέες. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν απαιτείται αναστολή ή εναλλαγή ανάμεσα σε αρχικές και επιστημονικές ιδέες, καθώς οι δεύτερες δεν υπήρχαν.

4.4 Συμπεράσματα αναφορικά με την προβλεπτική ικανότητα των εκτελεστικών λειτουργιών στις τελικές ιδέες

Σχετικά με το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα της παρούσας έρευνας, αν δηλαδή οι επιδόσεις στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας, αποτελούν προβλεπτικό παράγοντα της διακύμανσης της τελικής γνώσης των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και το περιεχόμενο της N-ET, μετά τη διδακτική παρέμβαση, πραγματοποιήθηκε και πάλι ανάλυση παλινδρόμησης. Η υπόθεση της παρούσας εργασίας επιβεβαιώθηκε, καθώς οι εκτελεστικές λειτουργίες αποτέλεσαν προβλεπτικό παράγοντα της τελικής επιστημολογικής κατανόησης των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων και της τελικής κατανόησης του περιεχομένου της N-ET. Δηλαδή, όσο καλύτερες ήταν οι επιδόσεις στο έργο αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης, τόσο καλύτερες ήταν και οι επιδόσεις μετά τη διδακτική παρέμβαση. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαφοροποιούνται από αυτά των Rhodes et al. (2016), που είναι η μόνη έρευνα που γνωρίζουμε στην οποία μελετήθηκε η επίδραση των Ε.Λ μετά από διδακτική παρέμβαση. Οι Rhodes et al.(2016) βρήκαν μέτρια στατιστικά σημαντική συσχέτιση με την εκτελεστική λειτουργία της ανανέωσης της μνήμης εργασίας και καμία συσχέτιση με τις άλλες δύο Ε.Λ.

4.5 Συμπεράσματα αναφορικά με τη σύγκριση των εκτελεστικών λειτουργιών και της νοητική ικανότητας ως προβλεπτικούς παράγοντες

Αναφορικά με το τελευταίο ερευνητικό ερώτημα της παρούσας μελέτης, αν δηλαδή οι Ε.Λ ή η νοητική ικανότητα αποτελούν καλύτερο προβλεπτικό παράγοντα της αρχικής αλλά και τελικής κατανόησης των μαθητών, τα ευρήματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν την αρχική μας υπόθεση και συμφωνούν με την υπάρχουσα

βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, οι εκτελεστικές λειτουργίες της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας αποτέλεσαν καλύτερο προβλεπτικό παράγοντα, απ' ότι η νοητική ικανότητα, της αρχικής γνώσης για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων αλλά και της τελικής γνώσης τόσο για τη φύση και τον ρόλο των μοντέλων, όσο και για το περιεχόμενο της N-ET. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σε συμφωνία με τη βιβλιογραφία που υποστηρίζει ότι οι εκτελεστικές λειτουργίες αποτελούν καλύτερο προβλεπτικό παράγοντα της εννοιολογικής κατανόησης και αλλαγής από τη νοητική ικανότητα (Vosniadou et al 2014 · Zaitchik et al., 2013).

Ανακεφαλαιωτικά, τα αποτελέσματα φαίνεται να υποστηρίζουν την συνύπαρξη των αρχικών διαισθητικών ιδεών με τις αποκληθείσες επιστημονικές (Shtulman & Valcarcel, 2012). Οι διαισθητικές αυτές ιδέες παρεμβαίνουν κατά την λήψη αποφάσεων (Babai et al., 2006), π.χ. στην απάντηση αναφορικά με την φύση των μοντέλων. Οι μαθητές για να διαχειριστούν αυτή την παρέμβαση χρειάστηκε να ενεργοποιήσουν τη λειτουργία της αναστολής [inhibition] (Stavy, Goel, Critchley, & Dolan, 2006), με σκοπό την αναστολή των διαισθητικών ιδεών (όπως αναφέρουν και στη δική τους έρευνα οι Babai et al., 2006· Babai, Shalev, & Stavy, 2015). Η διακύμανση, επομένως, στις απαντήσεις των μαθητών σχετικά με τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων και σε σχέση με το περιεχόμενο της N-ET, μπορεί να εξηγηθεί εν μέρει από την επιτυχή ή μη αναστολή των αρχικών διαισθητικών ιδεών. Ταυτόχρονα, ο χρόνος μέσα στον οποίο οι μαθητές μπορούν να εναλλάσσονται ανάμεσα στην παρεμβολή των διαισθητικών αρχικών ιδεών και των νεοαποκτηθέντων επιστημονικών, μπορεί να εξηγήσει τη διακύμανση στις απαντήσεις των μαθητών αναφορικά με τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων και αναφορικά με το περιεχόμενο της N-ET. Τέλος, η ικανότητα των μαθητών να διατηρούν στην μνήμη εργασίας τους τόσο τις αρχικές-διαισθητικές αντιλήψεις τους, όσο και τις νεοαποκτηθείσες-επιστημονικές μπορεί να εξηγήσει τη διακύμανση στις απαντήσεις

των μαθητών σχετικά με τη φύση και το ρόλο των επιστημονικών μοντέλων και σχετικά με το περιεχόμενο της N-ET.

Τα παραπάνω ευρήματα έχουν εκπαιδευτικές προεκτάσεις και επιπτώσεις στον τρόπο προσέγγισης της διδακτικής πράξης. Οι εκπαιδευτικοί που επιθυμούν να διώξουν ή να τροποποιήσουν τις αρχικές διαισθητικές ιδέες των μαθητών δεν ακολουθούν την ίδια μέθοδο διδασκαλίας με αυτούς που επιθυμούν να βοηθήσουν τους μαθητές να αποκτήσουν την επιστημονική άποψη, διδάσκοντας τους πώς να ελέγχουν ή να αναστέλλουν την παρόρμησή τους να χρησιμοποιούν τις διαισθητικές τους ιδέες (Foisy, Potvin, Riopel, & Masson, 2015). Τέλος, η παραπάνω θέση συνάδει και με τη βιβλιογραφία που υποστηρίζει την εξάσκηση των εκτελεστικών λειτουργιών για τη βελτίωση των ακαδημαϊκών επιδόσεων (Titz & Karbach, 2014).

4.6 Περιορισμοί της έρευνας

Η παρούσα έρευνα είχε ορισμένους περιορισμούς, οι οποίοι αποτελούν κατευθυντήριες γραμμές μελλοντικής έρευνας. Αρχικά, η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε με 62 μαθητές ΣΤ΄ Δημοτικού. Η δυσκολία απόκτησης κατάλληλης άδειας αλλά και εύρεσης δείγματος για την πραγματοποίηση έρευνας στα ελληνικά δημόσια δημοτικά σχολεία, δεν επέτρεψε την πρόσβαση σε μεγαλύτερο αριθμό δείγματος, εντός του χρονικού πλαισίου της διπλωματικής διατριβής. Το δείγμα της παρούσας έρευνας αποτελεί περιορισμό στις αναλύσεις που χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν. Προτείνεται μελλοντική έρευνα με μεγαλύτερο δείγμα μαθητών, για διευκόλυνση των αναλύσεων και γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, η επιλογή των σχολείων πραγματοποιήθηκε με βολική δειγματοληψία. Προτείνεται σε μελλοντική έρευνα η χρήση στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας πολλών σταδίων, η οποία θα οδηγήσει σε γενικευσιμότητα των αποτελεσμάτων

Ακόμη, μέσα στους περιορισμούς της έρευνας εντάχθηκαν οι συνθήκες

πραγματοποίησης των έργων εκτελεστικών λειτουργιών. Οι εξωγενείς, μη ελεγχόμενοι παράγοντες του σχολικού περιβάλλοντος (για παράδειγμα, θόρυβοι από το προαύλιο του σχολείου) επηρέασαν τις επιδόσεις των μαθητών στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών.

Επίσης, ένας επιπλέον περιορισμός της έρευνας είναι ότι τα διαγνωστικά δοκίμια που δημιουργήθηκαν, ειδικά για την έρευνα αυτή, είναι πρωτότυπα και δοκιμάζονται πρώτη φορά. Τροποποιήσεις και επαναξιολόγηση της αξιοπιστίας και της εγκυρότητάς τους θα οδηγούσαν σε αύξηση της δυναμικής τους για περαιτέρω χρήση σε μελλοντικές έρευνες.

Υποστηρίζεται ότι, καθώς η διερεύνηση της εμπλοκής των εκτελεστικών λειτουργιών στην εννοιολογική αλλαγή και κατανόηση πραγματοποιείται για πρώτη φορά μετά από σειρά διδακτικών παρεμβάσεων, μία παρόμοια έρευνα θα ήταν καλό να επαναληφθεί για να επιβεβαιώσει και να διευρύνει τα αποτελέσματα της παρούσας.

4.7 Προτάσεις

4.7.1 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Καθώς στο δείγμα υπήρχαν μαθητές που είχαν υψηλές επιδόσεις στα έργα Ε.Λ. αλλά χαμηλές επιδόσεις στα μεταδιαγνωστικά δοκίμια, θα προτείναμε να μελετηθούν οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν προς αυτή την κατεύθυνση. Ένας τέτοιος παράγοντας μπορεί να είναι τα κίνητρα και το ενδιαφέρον προς το διδαχθέν αντικείμενο. Όπως αναφέρουν και οι Sinatra & Mason (2013), το ενδιαφέρον κινητοποιεί την επιλεκτική προσοχή και συγκέντρωση και συμβάλει στην εννοιολογική αλλαγή. Προτείνεται επομένως, η ταυτόχρονη διερεύνηση και του ενδιαφέροντος των μαθητών πάνω στο διδαχθέν αντικείμενο, κατά τη μέτρηση της εμπλοκής των εκτελεστικών λειτουργιών στην εννοιολογική αλλαγή.

Επιπλέον, θα ήταν σημαντικό να μελετηθεί η επίδραση των εκτελεστικών λειτουργιών στην εννοιολογική αλλαγή και κατανόηση, μετά από σειρά διδακτικών παρεμβάσεων και σε διαφορετικές ηλικιακές ομάδες. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξετασθεί σε ποια αναπτυξιακή περίοδο οι εκτελεστικές λειτουργίες εμπλέκονται περισσότερο στις διαδικασίες εννοιολογικής κατανόησης και αλλαγής.

Στην παρούσα έρευνα βρέθηκε εμπλοκή των εκτελεστικών λειτουργιών της αναστολής, εναλλαγής και ανανέωσης της μνήμης εργασίας στη μάθηση της επιστήμης. Χρειάζεται επίσης διερεύνηση για το αν υπάρχουν διαφοροποιήσεις της εμπλοκής των Ε.Λ. στην μάθηση ανάλογα με το γνωστικό τομέα.

Τέλος, στην παρούσα έρευνα εξετάστηκε ο ρόλος των Ε.Λ. στην εννοιολογική αλλαγή. Θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί το αντίστροφο ερώτημα, δηλαδή αν η μάθηση των επιστημών μέσα από εμπλοκή σε διαδικασίες εννοιολογικής κατανόησης και αλλαγής συμβάλει στην ανάπτυξη των εκτελεστικών λειτουργιών. Δηλαδή, η διερεύνηση της βελτίωσης των επιδόσεων στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών μετά από διδακτικές παρεμβάσεις που στοχεύουν στην εννοιολογική αλλαγή.

4.7.2 Προτάσεις προς τους εκπαιδευτικούς

Καθώς οι εκτελεστικές λειτουργίες φαίνεται να εμπλέκονται στην εννοιολογική κατανόηση και αλλαγή, δημιουργούνται προεκτάσεις που αφορούν τη διδακτική πράξη. Κρίνεται σημαντικό οι εκπαιδευτικοί να γνωρίζουν τις επιδόσεις των μαθητών τους στα έργα εκτελεστικών λειτουργιών, ώστε να μπορούν να αιτιολογήσουν την πιθανή χαμηλή σχολική επίδοση αυτών των μαθητών, αλλά και για να μπορούν να υποβοηθήσουν αυτούς τους μαθητές μέσω εξάσκησης των εκτελεστικών τους λειτουργιών. Η δημιουργία προγραμμάτων εκπαίδευσης εκτελεστικών λειτουργιών στο σχολείο αποτελεί έναν αποτελεσματική μέθοδο (Diamond et al., 2007).

Επομένως, υποστηρίζεται ότι η επιμόρφωση των εκπαιδευτικών αναφορικά με τις εκτελεστικές λειτουργίες, τη συμβολή τους στη διαδικασία απόκτησης της γνώσης, τον τρόπο μέτρησης και εξάσκησης τους, κρίνεται απαραίτητη. Όπως αναφέρουν και οι Foisy et al., (2015), η γνώση εκ μέρους των εκπαιδευτικών, ότι οι αρχικές ιδέες συνεχίζουν να υπάρχουν και απαιτούνται γνωστικές διεργασίες, όπως η αναστολή, για την προσέγγιση της επιστημονικής γνώσης, μπορεί να αλλάξει ριζικά τον τρόπο προσέγγισης της διδασκαλίας.

Κεφάλαιο Πέμπτο: Βιβλιογραφία

- AAAS. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: NY: Oxford University Press.
- Allport, A., & Wylie, G. (2000). Task switching, stimulus-response bindings, and negative priming. *Control of Cognitive Processes: Attention and Performance XVIII*, 35–70.
- Babai, R., & Amsterdamer, A. (2008). The Persistence of Solid and Liquid Naive Conceptions: A Reaction Time Study. *Journal of Science Education and Technology*, 17(6), 553–559. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9122-6>
- Babai, R., Levyadun, T., Stavy, R., & Tirosh, D. (2006). Intuitive rules in science and mathematics: a reaction time study. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 37(8), 913–924. <https://doi.org/10.1080/00207390600794958>
- Babai, R., Sekal, R., & Stavy, R. (2010). Persistence of the Intuitive Conception of Living Things in Adolescence. *Journal of Science Education and Technology*, 19(1), 20–26. <https://doi.org/10.1007/s10956-009-9174-2>
- Babai, R., Shalev, E., & Stavy, R. (2015). A warning intervention improves students' ability to overcome intuitive interference. *ZDM*, 47(5), 735–745. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0670-y>
- Baddeley, A. (1996). Exploring the Central Executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 5–28. <https://doi.org/10.1080/713755608>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Ben-Zvi, R., Eylon, B.-S., & Silberstein, J. (1986). Revision of course materials on the basis of research on conceptual difficulties. *Studies in Educational Evaluation*, 12(2), 213–223. [https://doi.org/10.1016/0191-491X\(86\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0191-491X(86)90011-8)
- Best, J. R., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample.

- Learning and Individual Differences*, 21(4), 327–336.
<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.007>
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability in Kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647–663. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
- Blonder, R., & Sakhnini, S. (2012). Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13(4), 500–516. <https://doi.org/10.1039/C2RP20026K>
- Braut Fois, L.-M., Potvin, P., Riopel, M., & Masson, S. (2015). Is inhibition involved in overcoming a common physics misconception in mechanics? *Trends in Neuroscience and Education*, 4(1-2), 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.03.001>
- Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2004). Executive Functions in Children Aged 6 to 13: A Dimensional and Developmental Study. *Developmental Neuropsychology*, 26(2), 571–593. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2602_3
- Bryan, L. A., Magana, A. J., & Sederberg, D. (2015). Published research on pre-college students' and teachers' nanoscale science, engineering, and technology learning. *Nanotechnology Reviews*, 4(1). <https://doi.org/10.1515/ntrev-2014-0029>
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive Functioning as a Predictor of Children's Mathematics Ability: Inhibition, Switching, and Working Memory. *Developmental Neuropsychology*, 19(3), 273–293. https://doi.org/10.1207/S15326942DN1903_3
- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 13–19.
- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235–251.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep2803_4
- Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54(1-3), 241–257. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(00\)00058-2](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(00)00058-2)

- Casey, B., Trainor, R. J., Orendi, J. L., Schubert, A. B., Nystrom, L. E., Giedd, J. N., ... Cohen, J. D. (1997). A developmental functional MRI study of prefrontal activation during performance of a go-no-go task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(6), 835–847.
- Castellini, O. M., Walejko, G. K., Holladay, C. E., Theim, T. J., Zenner, G. M., & Crone, W. C. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, *9*(2), 183–189. <https://doi.org/10.1007/s11051-006-9160-z>
- Clement, J. J. (2008). Student/Teacher Co-construction of Visualizable Models in Large Group Discussion. In J. J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model Based Learning and Instruction in Science* (pp. 11–22). Dordrecht: Springer Netherlands. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-1-4020-6494-4_1
- Cohen, J. (1968). Weighted kappa: Nominal scale agreement provision for scaled disagreement or partial credit. *Psychological Bulletin*, *70*(4), 213–220. <https://doi.org/10.1037/h0026256>
- Collette, F., Van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., & Salmon, E. (2005). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping*, *25*(4), 409–423. <https://doi.org/10.1002/hbm.20118>
- Constantinou, C. (1999). The Cocoa Microworld as an environment for developing modelling skills in physical science. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning*, *9*(3-4), 201–209.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, *26*(11), 1379–1401. <https://doi.org/10.1080/09500690410001673775>
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2037–2078. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>

- Davis, S. S. (1997). Biomédical applications of nanotechnology — implications for drug targeting and gene therapy. *Trends in Biotechnology*, *15*(6), 217–224.
[https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(97\)01036-6](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(97)01036-6)
- De Jong, O., Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2005). Preservice teachers' pedagogical content knowledge of using particle models in teaching chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*(8), 947.
- Delgado, C. (2009). DEVELOPMENT OF A RESEARCH-BASED LEARNING PROGRESSION FOR MIDDLE SCHOOL THROUGH UNDERGRADUATE STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING OF SIZE AND SCALE.
- Dempster, F. N. (1992). The rise and fall of the inhibitory mechanism: Toward a unified theory of cognitive development and aging. *Developmental Review*, *12*(1), 45–75.
[https://doi.org/10.1016/0273-2297\(92\)90003-K](https://doi.org/10.1016/0273-2297(92)90003-K)
- Diamond, A., Barnett, W. S., Thomas, J., & Munro, S. (2007). THE EARLY YEARS: Preschool Program Improves Cognitive Control. *Science*, *318*(5855), 1387–1388.
<https://doi.org/10.1126/science.1151148>
- Dibbets, P., & Jolles, J. (2006). The Switch Task for Children: Measuring mental flexibility in young children. *Cognitive Development*, *21*(1), 60–71.
<https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2005.09.004>
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham, : UK: Open University Press.
- Espy, K. A. (2004). Using Developmental, Cognitive, and Neuroscience Approaches to Understand Executive Control in Young Children. *Developmental Neuropsychology*, *26*(1), 379–384. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_1
- Filipponi, L., Sutherland, D., & Center, I. N. (2010). NANOYOU teachers training kit in nanotechnologies. *European Commision Document, Denmark*.
- Flores, F., Tovar, M. E., & Gallegos, L. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: An integrated view. *International Journal of Science Education*, *25*(2), 269–286. <https://doi.org/10.1080/09500690210126793>

- Foley, E. T., & Hersam, M. C. (2006). Assessing the need for nanotechnology education reform in the United States. *Nanotech. L. & Bus.*, 3, 467.
- Franco, C., Lins de Barros, H., Colinvaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F. (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education*, 21(3), 277–291.
<https://doi.org/10.1080/095006999290705>
- Fretz, E. B., Wu, H.-K., Zhang, B., Davis, E. A., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2002). An investigation of software scaffolds supporting modeling practices. *Research in Science Education*, 32(4), 567–589. <https://doi.org/10.1023/A:1022400817926>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The Relations Among Inhibition and Interference Control Functions: A Latent-Variable Analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(1), 101–135. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.133.1.101>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not All Executive Functions Are Related to Intelligence. *Psychological Science*, 17(2), 172–179. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x>
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201–225.
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.137.2.201>
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18(1), 1–16.
<https://doi.org/10.1002/acp.934>
- Genzer, J., & Marmur, A. (2008). Biological and Synthetic Self-Cleaning Surfaces. *MRS Bulletin*, 33(08), 742–746. <https://doi.org/10.1557/mrs2008.159>
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In *Developing models in science education* (pp. 3–17). Springer.

- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83–97.
<https://doi.org/10.1080/0950069980200106>
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73–79. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280107>
- Godefroy, O., Cabaret, M., Petit-Chenal, V., Pruvo, J.-P., & Rousseaux, M. (1999). Control Functions of the Frontal Lobes. Modularity of the Central-Supervisory System? *Cortex*, 35(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70782-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70782-2)
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2001). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86(1), 106–121.
<https://doi.org/10.1002/sce.10013>
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611–628. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290609>
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822.
- Hallett, P. E. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research*, 18(10), 1279–1296. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(78\)90218-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(78)90218-3)
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019–1041.
- Halloun, I. A. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education*, 16(7-8), 653–697. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9004-3>
- Harmer, A. J., & Columba, L. (2010). Engaging Middle School Students in Nanoscale Science, Nanotechnology, and Electron Microscopy. *Journal of Nano Education*, 2(1), 91–101. <https://doi.org/10.1166/jne.2010.1001>
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026.
<https://doi.org/10.1080/095006900416884>

- Healy, N. (2009). Why nano education? *Journal of Nano Education*.
- Hestenes, D. (1997). Modeling methodology for physics teachers (pp. 935–958). Presented at the AIP Conference Proceedings, IOP INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING LTD.
- 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*(5), 541–562. <https://doi.org/10.1080/0950069920140506>
- Huang, C. Y., Hsu, L. R., & Chen, H. C. (2011). A study on the core concepts of nanotechnology for the elementary school.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2017–2036.
- Hutton, S. B., & Ettinger, U. (2006). The antisaccade task as a research tool in psychopathology: A critical review. *Psychophysiology*, *43*(3), 302–313. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00403.x>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the *N*-back task as a working memory measure. *Memory*, *18*(4), 394–412. <https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
- Jaeggi, S. M., Seewer, R., Nirkko, A. C., Eckstein, D., Schroth, G., Groner, R., & Gutbrod, K. (2003). Does excessive memory load attenuate activation in the prefrontal cortex? Load-dependent processing in single and dual tasks: functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage*, *19*(2), 210–225. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00098-3](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00098-3)
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*.
- Johnstone, A., & El-Banna, H. (1986). Capacities, demands and processes—a predictive model for science education. *Education in Chemistry*, *23*(3), 80–84.
- Jones, M. G., Blonder, R., Gardner, G. E., Albe, V., Falvo, M., & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and Nanoscale Science: Educational challenges. *International*

- Journal of Science Education*, 35(9), 1490–1512.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2013.771828>
- Jones, M. G., Michael R. Falvo, Amy R. Taylor, & Bethany P. Broadwell (Eds.). (2007).
Nanoscale science: activities for grades 6-12. Arlington, VA: NSTA Press.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Koponen, I. T. (2006). Models and Modelling in Physics Education: A Critical Re-analysis of Philosophical Underpinnings and Suggestions for Revisions. *Science & Education*, 16(7), 751–773. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9000-7>
- Krippendorff, K. (2004). Reliability in Content Analysis.: Some Common Misconceptions and Recommendations. *Human Communication Research*, 30(3), 411–433.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2004.tb00738.x>
- Laherto, A. (2012). Nanoscience education for scientific literacy: Opportunities and challenges in secondary school and in out-of-school settings.
- Lappin, J. S., & Eriksen, C. W. (1966). Use of a delayed signal to stop a visual reaction-time response. *Journal of Experimental Psychology*, 72(6), 805–811.
<https://doi.org/10.1037/h0021266>
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D., & Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249–270.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660300304>
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59–80. <https://doi.org/10.1348/026151003321164627>
- Lezak, M. D. (1993). Newer contributions to the neuropsychological assessment of executive functions. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 8(1). Retrieved from http://journals.lww.com/headtraumarehab/Fulltext/1993/03000/Newer_contributions_to_the_neuropsychological.4.aspx

- Lin, S.-Y., Wu, M.-T., Cho, Y.-I., & Chen, H.-H. (2015). The effectiveness of a popular science promotion program on nanotechnology for elementary school students in I-Lan City. *Research in Science & Technological Education*, 33(1), 22–37.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2014.971733>
- Logan, G. D. (1994). On the ability to inhibit thought and action: a users' guide to the stop signal paradigm.
- Magana, A. J., Brophy, S. P., & Bryan, L. A. (2012). An Integrated Knowledge Framework to Characterize and Scaffold Size and Scale Cognition (FS2C). *International Journal of Science Education*, 34(14), 2181–2203.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.715316>
- Mansoori, G. A. (2005). *Principles of nanotechnology: molecular-based study of condensed matter in small systems*. World Scientific.
- Martirosyan, K. S., Litvinov, D., & Lyshevski, S. E. (2012). NanoScience Concentration Program for science, engineering and technology curricula (pp. 1–5). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/NANO.2012.6322132>
- McCrea, S. M., Mueller, J. H., & Parrila, R. K. (1999). Quantitative Analyses of Schooling Effects on Executive Function in Young Children. *Child Neuropsychology (Neuropsychology, Development and Cognition: Section C)*, 5(4), 242–250.
[https://doi.org/10.1076/0929-7049\(199912\)05:04;1-R;FT242](https://doi.org/10.1076/0929-7049(199912)05:04;1-R;FT242)
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81(2), 111–121.
<https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x>
- Morrison, F. J., Smith, L., & Dow-Ehrensberger, M. (1995). Education and cognitive development: A natural experiment. *Developmental Psychology*, 31(5), 789–799.
<https://doi.org/10.1037/0012-1649.31.5.789>

- National Research Council (NRC). (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: National Academies Press.
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, *13*, 52–73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, *126*(2), 220–246. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.220>
- Nohynek, G. J., Lademann, J., Ribaud, C., & Roberts, M. S. (2007). Grey Goo on the Skin? Nanotechnology, Cosmetic and Sunscreen Safety. *Critical Reviews in Toxicology*, *37*(3), 251–277. <https://doi.org/10.1080/10408440601177780>
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to Action. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation* (pp. 1–18). Boston, MA: Springer US. Retrieved from http://link.springer.com/10.1007/978-1-4757-0629-1_1
- Oliver-Hoyo, M., & Gerber, R. W. (2007). From the Research Bench to the Teaching Laboratory: Gold Nanoparticle Layering. *Journal of Chemical Education*, *84*(7), 1174. <https://doi.org/10.1021/ed084p1174>
- Opendacker, C., Fierens, H., Van Brabant, H., Sevenants, J., Spruyt, J., Sloopmaekers, P. J., & Johnstone, A. H. (1990). Academic performance in solving chemistry problems related to student working memory capacity. *International Journal of Science Education*, *12*(2), 177–185. <https://doi.org/10.1080/0950069900120206>
- Palmberg, C., Dernis, H., & Miguet, C. (2009). Nanotechnology: an overview based on indicators and statistics.

- Papaevripidou, M. N. (2012). *Teachers as learners and curriculum designers in the context of modeling-centered scientific inquiry*. University of Cyprus, Nicosia. Retrieved from 978-9963-700-56-1
- Papaevripidou, M., Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). On Defining and Assessing Learners' Modelling Competence in science Teaching and Learning. Presented at the Annual Meeting of American Educational Research Association (AERA), Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- Penrose, L. S., & Raven, J. C. (1936). A NEW SERIES OF PERCEPTUAL TESTS: PRELIMINARY COMMUNICATION. *British Journal of Medical Psychology*, 16(2), 97–104. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8341.1936.tb00690.x>
- Pnevmatikos, D., & Trikkaliotis, I. (2013). Intraindividual differences in executive functions during childhood: The role of emotions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(2), 245–261. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.01.010>
- Ratner, M. ., & Ratner, D. (2003). *Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea*. Prentice Hall Professional.
- Raven, J. (2000). The Raven's Progressive Matrices: Change and Stability over Culture and Time. *Cognitive Psychology*, 41(1), 1–48. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0735>
- Raven, J., & Raven, J. (2004). Court, JH (2003). *Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Scales*.
- Rhodes, S. M., Booth, J. N., Palmer, L. E., Blythe, R. A., Delibegovic, M., & Wheate, N. J. (2016). Executive functions predict conceptual learning of science. *British Journal of Developmental Psychology*, n/a–n/a. <https://doi.org/10.1111/bjdp.12129>
- Roco, M. C. (2001). From vision to the implementation of the US National Nanotechnology Initiative. *Journal of Nanoparticle Research*, 3(1), 5–11. <https://doi.org/10.1023/A:1011429917892>
- Roco, M. C. (2003). Broader Societal Issues of Nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, 5(3-4), 181–189. <https://doi.org/10.1023/A:1025548512438>
- Roduner, E. (2006). Size matters: why nanomaterials are different. *Chemical Society Reviews*, 35(7), 583. <https://doi.org/10.1039/b502142c>

- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, *124*(2), 207–231.
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.2.207>
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, *25*(11), 1333–1352. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052081>
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, *89*(4), 634–656.
<https://doi.org/10.1002/sce.20065>
- Schwarz, C. V. (2002). Is There a Connection? The Role of Meta-Modeling Knowledge in Learning with Models.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(6), 632–654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, *23*(2), 165–205.
https://doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1
- Senn, T. E., Espy, K. A., & Kaufmann, P. M. (2004). Using Path Analysis to Understand Executive Function Organization in Preschool Children. *Developmental Neuropsychology*, *26*(1), 445–464. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2601_5
- Shallice, T. (1982). Specific Impairments of Planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *298*(1089), 199–209.
<https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shallice, T. (2002). Fractionation of the supervisory system. *Principles of Frontal Lobe Function*, 261–277.
- Shi, J., Votruba, A. R., Farokhzad, O. C., & Langer, R. (2010). Nanotechnology in Drug Delivery and Tissue Engineering: From Discovery to Applications. *Nano Letters*, *10*(9), 3223–3230. <https://doi.org/10.1021/nl102184c>

- Shtulman, A., & Valcarcel, J. (2012). Scientific knowledge suppresses but does not supplant earlier intuitions. *Cognition*, *124*(2), 209–215.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2012.04.005>
- Simon, H. A. (1975). The functional equivalence of problem solving skills. *Cognitive Psychology*, *7*(2), 268–288. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(75\)90012-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90012-2)
- Smith, C., Snir, J., & Grosslight, L. (1992). Using Conceptual Models to Facilitate Conceptual Change: The Case of Weight-Density Differentiation. *Cognition and Instruction*, *9*(3), 221–283. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0903_3
- Smit, J. J. A., & Finegold, M. (1995). Models in physics: perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at South African universities. *International Journal of Science Education*, *17*(5), 621–634.
<https://doi.org/10.1080/0950069950170506>
- Snir, J., Smith, C. L., & Raz, G. (2003). Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate model of matter. *Science Education*, *87*(6), 794–830. <https://doi.org/10.1002/sci.10069>
- Soulios, I., & Psillos, D. (2016). Enhancing student teachers' epistemological beliefs about models and conceptual understanding through a model-based inquiry process. *International Journal of Science Education*, *38*(7), 1212–1233.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1186304>
- Stathopoulou, C., & Vosniadou, S. (2007a). Conceptual change in physics and physics-related epistemological beliefs: A relationship under scrutiny. In *Reframing the conceptual change approach in learning and instruction* (pp. 145–163).
- Stathopoulou, C., & Vosniadou, S. (2007b). Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding. *Contemporary Educational Psychology*, *32*(3), 255–281.
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2005.12.002>
- Stavy, R., Goel, V., Critchley, H., & Dolan, R. (2006). Intuitive interference in quantitative reasoning. *Brain Research*, *1073-1074*, 383–388.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.12.011>

- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*(4), 745–759.
<https://doi.org/10.1080/17470210500162854>
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. S. (2009). *The big ideas of nanoscale science & engineering: a guidebook for secondary teachers*. Arlington, Va: NSTA Press.
- Stevens, S., Sutherland, L., Schank, P., & Krajcik, J. (2007). The big ideas of nanoscience. *Unpublished Manuscript*.
- Stratford, S. J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1998). Secondary Students' Dynamic Modeling Processes: Analyzing, Reasoning About, Synthesizing, and Testing Models of Stream Ecosystems. *Journal of Science Education and Technology*, *7*(3), 215–234.
<https://doi.org/10.1023/A:1021840407112>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Taylor, A., Jones, G., & Pearl, T. P. (2008). Bumpy, Sticky, and Shaky: Nanoscale Science and the Curriculum. *Science Scope*, *31*(7), 28–35.
- Titz, C., & Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychological Research*, *78*(6), 852–868.
<https://doi.org/10.1007/s00426-013-0537-1>
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, *24*(4), 357–368.
- Tretter, T. R., Jones, M. G., Andre, T., Negishi, A., & Minogue, J. (2006). Conceptual boundaries and distances: Students' and experts' concepts of the scale of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*(3), 282–319.
<https://doi.org/10.1002/tea.20123>
- Tretter, T. R., Jones, M. G., & Minogue, J. (2006). Accuracy of scale conceptions in science: Mental maneuverings across many orders of spatial magnitude. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*(10), 1061–1085. <https://doi.org/10.1002/tea.20155>

- van der Sluis, S., de Jong, P. F., & van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence, 35*(5), 427–449. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2006.09.001>
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999a). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education, 21*(11), 1141–1153.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999b). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education, 21*(11), 1141–1153. <https://doi.org/10.1080/095006999290110>
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education, 24*(12), 1255–1272. <https://doi.org/10.1080/09500690210126711>
- Vosniadou, S. (2002). On the nature of naïve physics. In *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp. 61–76). Springer.
- Vosniadou, S. (2008). *International handbook of research on conceptual change* (1st edition). New York: Routledge. Retrieved from <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=425603>
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual change in learning and instruction: The framework theory approach. In S. Vosniadou (Ed), *The International handbook of research on conceptual change* (2nd edition, Vol. 2, pp. 11–30). New York: Routledge.
- Vosniadou, S. (Ed.). (2013). *International handbook of research on conceptual change* (Second edition). New York: Routledge/Taylor & Francis Group.
- Vosniadou, S. (2014). Examining cognitive development from a conceptual change point of view: The framework theory approach. *European Journal of Developmental Psychology, 11*(6), 645–661. <https://doi.org/10.1080/17405629.2014.921153>
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology, 24*(4), 535–585. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1801_4
- Vosniadou, S., Pnevmanitikos, D., Makris, N., Ikospentaki, K., Lepenioti, D., Chountala, A., & Kyrianakis, G. (2015). Executive Functions and Conceptual Change in Science and

- Mathematics Learning. In *37th Annual Meeting of the Cognitive Science Society*.
Pasadena, California.
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2005). Developmental shifts in children's categorizations of the earth (pp. 2325–2330). Presented at the Proceedings of the XXVII Annual Conference of the Cognitive Science Society, Stresa, Italy.
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2014). Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence. *Science & Education*, *23*(7), 1427–1445.
<https://doi.org/10.1007/s11191-013-9640-3>
- Waldron, A. M., Spencer, D., & Batt, C. A. (2006). The current state of public understanding of nanotechnology. *Journal of Nanoparticle Research*, *8*(5), 569–575.
<https://doi.org/10.1007/s11051-006-9112-7>
- Wang, J., Duan, H. L., Huang, Z. P., & Karihaloo, B. L. (2006). A scaling law for properties of nano-structured materials. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *462*(2069), 1355–1363.
<https://doi.org/10.1098/rspa.2005.1637>
- Wiser, M., & Smith, C. L. (2008). Learning and teaching about matter in grades K-8: When should the atomic-molecular theory be introduced? In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (First edition, pp. 205–239). New York: Routledge.
- Zaitchik, D., Iqbal, Y., & Carey, S. (2013). The Effect of Executive Function on Biological Reasoning in Young Children: An Individual Differences Study. *Child Development*, *85*(1), 160–175. <https://doi.org/10.1111/cdev.12145>
- Zelazo, P. D., Craik, F. I. ., & Booth, L. (2004). Executive function across the life span. *Acta Psychologica*, *115*(2-3), 167–183. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.005>
- Zhang, Y., & Wang, T.-H. (2012). Quantum Dot Enabled Molecular Sensing and Diagnostics. *Theranostics*, *2*(7), 631–654. <https://doi.org/10.7150/thno.4308>
- Zoupidis, A., Pnevmatikos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2010). The Gradual Approach of the Nature and Role of Models as Means to Enhance 5th Grade Students'

Epistemological Awareness. In *Contemporary Science Education Research: Learning and Assessment* (p. 415).

Zoupidis, A., Pnevmatikos, D., Spyrtou, A., & Kariotoglou, P. (2016). The impact of procedural and epistemological knowledge on conceptual understanding: the case of density and floating–sinking phenomena. *Instructional Science*.
<https://doi.org/10.1007/s11251-016-9375-z>

Ζαχαροπούλου, Χ. (1994). *Παλινδρόμηση- Συσχέτιση, Θεωρία και Πράξη*. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.

Καρνάου, Π. (2015). *Ανάπτυξη και αξιολόγηση της επιδεξιότητας της μοντελοποίησης με μαθητές Δημοτικού Σχολείου*. Πανεπιστήμιο Κύπρου, Κύπρου.

Μάνου, Λ., & Σπύρτου, Α. (2013). Η εισαγωγή της Νανοεπιστήμης – Νανοτεχνολογίας στην υποχρεωτική εκπαίδευση: βιβλιογραφική επισκόπηση του περιεχομένου και σύνδεση του με το Νέο Πρόγραμμα Σπουδών για τις Φυσικές Επιστήμες. Presented at the Πρακτικά 8ου Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση.

Μπόρα- Σέντα, Ε., & Μυωσιάδης, Χ. (1990). *Εφαρμοσμένη Στατιστική Πολλαπλή παλινδρόμηση Ανάλυση διασποράς Χρονοσειρές*. Θεσσαλονίκη, Ελλάδα: Ζήτη.

Νικολάου, Χ. (2010). *Συνεργασία και μοντελοποίηση σε σχολικά περιβάλλοντα*. Πανεπιστήμιο Κύπρου, Κύπρος.

Παπαναστασίου, Ε., & Παπαναστασίου, Κ. (2016). *ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ* (τρίτη). Κύπρος: ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΕΛΕΝΑ, ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ.

Πέικος, Γ. (2016). «*ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗΣ – ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΣΧΟΛΕΙΟ*» (Μεταπτυχιακή διατριβή). Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Φλώρινα.

Πέικος, Γ., Μάνου, Λ., & Σπύρτου, Α. (2014). Σχεδιασμός και ανάπτυξη εκπαιδευτικού υλικού για τη διδασκαλία της νανοτεχνολογίας στο δημοτικό σχολείο: πιλοτική

εφαρμογή. Presented at the 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο με Διεθνή Συμμετοχή για το
Εκπαιδευτικό Υλικό στα Μαθηματικά και τις Φυσικές Επιστήμες, Ρόδος, Ελλάδα.

Χουντάλα, Α. (2014). *Εννοιολογική Αλλαγή και Εκτελεστικές Λειτουργίες* (Μεταπτυχιακή
διατριβή). Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Σημειωματάριο των μικρών επιστημόνων



Αριθμός ομάδας:

Τμήμα:

Σχολείο:

Πρώτη συνάντηση: «Διερευνητικό στάδιο»

Δραστηριότητα πρώτη

Ώρα για πείραμα!



Φύλλο μαρουλιού
Φύλλο λάχανου
Φύλλο σπανάκι
Μία πιπέτα
Ένα ποτήρι νερό

Μπροστά σας έχετε μία λεκάνη με υλικά!

Γεμίστε την πιπέτα με μία ποσότητα νερού.



Τώρα, ρίξτε 3-4 σταγόνες νερού στο φύλλο λάχανου.
Παρατηρήστε τι σχήμα παίρνουν και πώς κινούνται οι σταγόνες
νερού στο φύλλο του λάχανου.



Παρακολούθησε το βίντεο με το φύλλο του λωτού και παρατήρησε
τι σχήμα παίρνει και πώς κινείται η σταγόνα στο φύλλο.



- Πηγαίνετε στη σελίδα 4 και συμπληρώστε τα ευρήματά σας στον πίνακα



Ρίξτε πρώτα 3-4 σταγόνες νερού στο φύλλο μαρουλιού. Παρατηρήστε τι σχήμα παίρνουν και πώς κινούνται οι σταγόνες νερού στο φύλλο του μαρουλιού.



Τώρα, ρίξτε 3-4 σταγόνες νερού στο φύλλο σπανάκι. Παρατηρήστε τι σχήμα παίρνουν και πώς κινούνται οι σταγόνες νερού στο φύλλο σπανάκι.



- Στον παρακάτω πίνακα βάλτε ✓ στην αντίστοιχη κατηγορία, ανάλογα με το σχήμα που παίρνει η σταγόνα νερού στα φύλλα.

Πίνακας 1: Σύγκριση συμπεριφοράς σταγόνας στα φύλλα φυτών

Φύλλο	Παίρνει σφαιρικό σχήμα και γλιστρά γρήγορα από το φύλλο	Απλώνεται στο φύλλο και κινείται αργά
Λάχανο		
Λωτός		
Μαρούλι		
Σπανάκι		

Δώστε μία εξήγηση

Γιατί νομίζετε ότι οι σταγόνες νερού έχουν το ίδιο σχήμα και κίνηση στο **σπανάκι και το μαρούλι**;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Γιατί νομίζετε ότι οι σταγόνες νερού έχουν το ίδιο σχήμα και κίνηση στο **λάχανο και το λωτό**;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Εισαγωγή στην κλίμακα



Πολλές φορές δίνουμε
διαφορετικές εξηγήσεις για το
ίδιο φαινόμενο, για τις οποίες
δεν είμαστε σίγουροι!

Γιατί άραγε συμβαίνει αυτό;;

Ποιο είναι το μικρότερο
αντικείμενο που μπορείτε να
δείτε με γυμνό μάτι;

Υπάρχει κάτι μικρότερο από
αυτό;



Δραστηριότητα Δεύτερη

Τι βλέπετε στην εικόνα που έχετε μπροστά σας;



Εικόνα 4

Ποια είναι η μικρότερη λεπτομέρεια στην επιφάνεια του μυρμηγκιού που μπορείτε να παρατηρήσετε με τα μάτια σας;

.....
.....
.....
.....
.....
.....

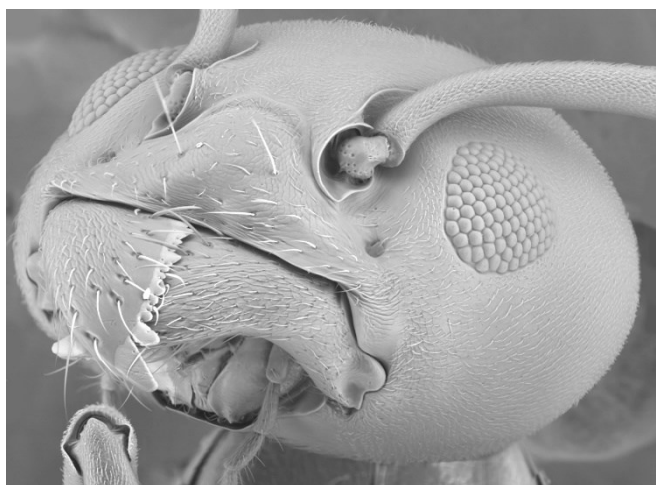
Υπάρχουν λεπτομέρειες στην **επιφάνεια** του μυρμηγκιού που ίσως δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε με γυμνό μάτι; Δώστε μερικά παραδείγματα από αυτές που μπορείτε να φανταστείτε.

.....
.....
.....
.....
.....

Στις δύο παρακάτω εικόνες βλέπετε το κεφάλι του μυρμηγκιού.



Εικόνα 5: κεφάλι του μυρμηγκιού από πάνω



Εικόνα 3: Κεφάλι του μυρμηγκιού

Στην εικόνα 2 και 3 μπορείτε να παρατηρήσετε περισσότερες λεπτομέρειες από την εικόνα 1;

Ναι/ όχι

Η εικόνα που μου δείχνει το κεφάλι του μυρμηγκιού με μεγαλύτερη λεπτομέρεια είναι η εικόνα



Με ποιο μέσο καταφέραμε να δούμε αυτές τις λεπτομέρειες;;
Με βάση το φυλλάδιο που θα σας δοθεί, μαζέψτε πληροφορίες και συμπληρώστε τις ερωτήσεις που ακολουθούν.

Αντιστοιχίσε τα μικροσκόπια με τα κενά στις παρακάτω προτάσεις.



Η εικόνα δύο είναι από τομικροσκόπιο

Η εικόνα τρία είναι από τομικροσκόπιο



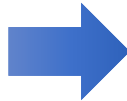
Συμπλήρωσε τις στήλες όπως στο παράδειγμα.

Μέσο παρατήρησης

Μέγεθος Αντικειμένων



Μάτια



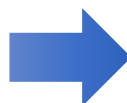
Μακρόκοσμος



.....μικροσκόπιο



..... μικροσκόπιο





Τελικά υπάρχουν αντικείμενα και λεπτομέρειες αντικειμένων που δεν μπορούμε να τα παρατηρήσουμε με γυμνό μάτι;

Αυτά που δε μπορούμε να τα παρατηρήσουμε με γυμνό μάτι, με ποιο τρόπο μπορούμε να τα παρατηρήσουμε;



Τα όργανα παρατήρησης έχουν περιορισμούς στο πόσο μικρά αντικείμενα μπορούν να παρατηρήσουν;



Δραστηριότητα Τρίτη



Μπροστά σας έχετε δύο εικόνες για κάθε φύλλο, από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, στις οποίες φαίνεται:

- Η δομή του φύλλου στο μικρόκοσμο [Μικροδομή].
- Η δομή του φύλλου στο νανόκοσμο [Νανοδομή].

➤ Συμπληρώστε τον παρακάτω πίνακα με βάση τις παρατηρήσεις σας.

Πίνακας 2: Συνολικές πληροφορίες για κάθε φύλλο

Φύλλο	Σχήμα και κίνηση της σταγόνας	Δομή του φύλλου στο μικρόκοσμο	Δομή του φύλλου στο νανόκοσμο
1.Λωτός (παρόμοια το λάχανο)		Ύπαρξη εξογκωμάτων: Ναι/ όχι	Ύπαρξη προεξοχών πάνω στα εξογκώματα: Ναι/ όχι
2.Μαρούλι (παρόμοια το σπανάκι)		Ύπαρξη εξογκωμάτων: Ναι/ όχι	Ύπαρξη προεξοχών πάνω στα εξογκώματα: Ναι/ όχι

Ωρα για κανόνα!

Γράψτε ένα **κανόνα** που να αφορά την συμπεριφορά της σταγόνας στο μακρόκοσμο σε σχέση με την αντίστοιχη δομή του φύλλου στο μικρόκοσμο και το νανόκοσμο.

Όταν ένα φύλλο στο μικρόκοσμο έχει.....και στο νανόκοσμο έχει τότε η σταγόνα στο φύλλο παίρνει σχήμα.....και κινείται.....

Αντίθετα, όταν ένα φύλλο στο μικρόκοσμο και στο νανόκοσμο.....
...τότε η σταγόνα

.....πάνω στο φύλλο.



Πολύ ωραία! Τώρα κατάλαβα, γιατί η σταγόνα συμπεριφέρεται διαφορετικά, στα διαφορετικά φύλλα!

Μπορείτε να σκεφτείτε πώς θα δείξω και πώς θα εξηγήσω στους φίλους μου το φαινόμενο;

Δεύτερη συνάντηση: «Κατασκευή
μοντέλου»

Δραστηριότητα τέταρτη

Ωρα να φτιάξετε το δικό σας μοντέλο

- ✓ Πριν από την κατασκευή του μοντέλου μας, ας σκεφτούμε!

Ποιος είναι ο σκοπός του επιστημονικού μοντέλου;

1. Είναι να μας δείχνει το φαινόμενο που μοντελοποιείται ή ένα μέρος του

2. Ταυτόχρονα, μας βοηθά να δώσουμε μία εξήγηση για το πώς λειτουργεί το φαινόμενο

3. Τέλος, χρησιμοποιούνται για να κάνουμε προβλέψεις, δηλαδή να δούμε τι θα συμβεί αν αλλάξουν κάποια από τα στοιχεία του φαινομένου





Επομένως, αν λείπει κάποιος από τους 3 αυτούς σκοπούς, τότε δεν είναι επιστημονικό μοντέλο;

Ναι, ακριβώς!



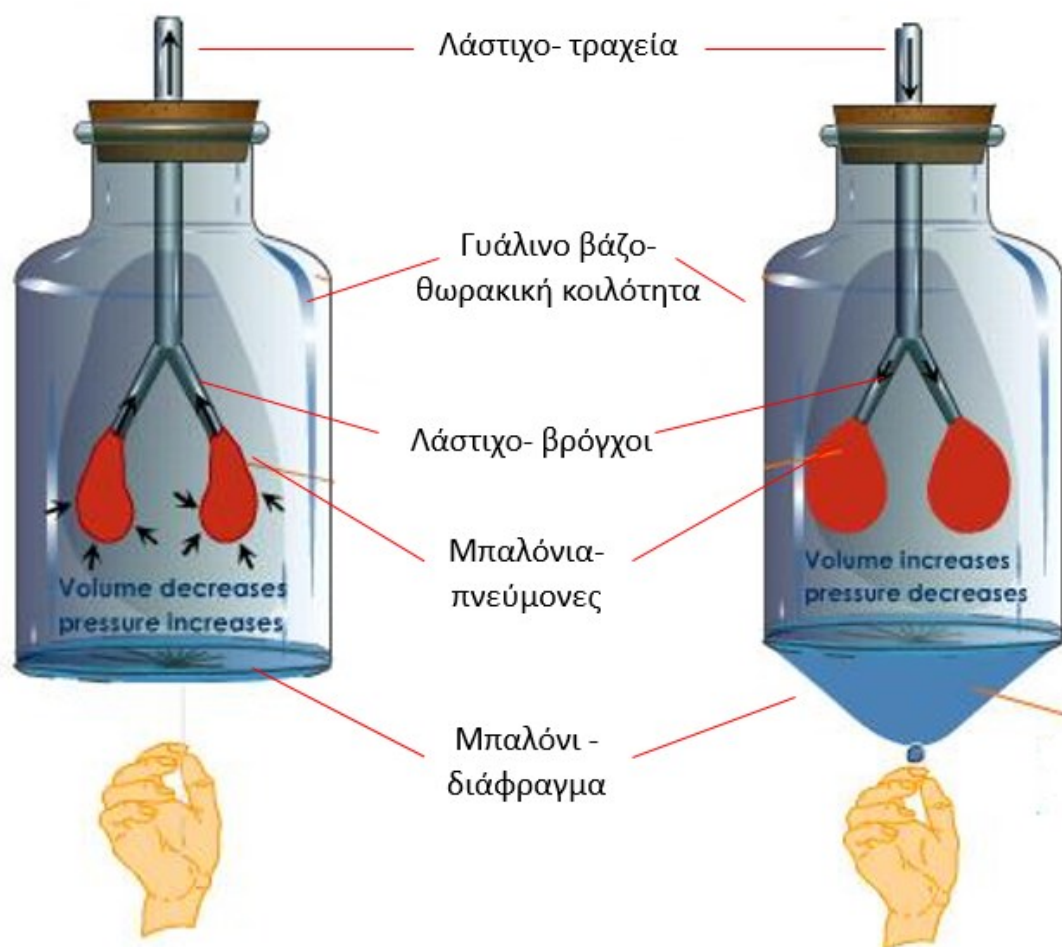
Κάτι ακόμη: Η εμφάνιση ενός μοντέλου δε χρειάζεται να είναι ολόιδια με το φαινόμενο που μοντελοποιείται!



Μάλιστα! Αλλά, ποια στοιχεία πρέπει να υπάρχουν σε ένα μοντέλο, ώστε να πετυχαίνει το σκοπό του;



Παρατηρήστε ένα μοντέλο του αναπνευστικού συστήματος



1. Όταν εισπνέουμε αέρα, ο αέρας μεταβαίνει στην **τραχεία**. Η τραχεία καταλήγει στους δύο **βρόγχους** στο εσωτερικό των **πνευμόνων**, μεταφέροντας εκεί τον αέρα.

Το **διάφραγμα** είναι ένας μυς, που βρίσκεται κάτω από τους πνεύμονες και βοηθάει στην μεταφορά του αέρα μέσα και έξω από τα πνευμόνια.

2. Κατά την διαδικασία της εισπνοής πραγματοποιούνται κάποιες μεταβολές στο σώμα μας. Α) Το διάφραγμα τεντώνεται προς τα κάτω. Έτσι, Β) δίνεται χώρος στους πνεύμονες να γεμίσουν αέρα και να διασταλούν.
3. Επίσης, κατά την διαδικασία της εκπνοής πραγματοποιούνται κάποιες μεταβολές στο σώμα μας. Α) Το διάφραγμα, χαλαρώνει, επιστρέφει στην αρχική του θέση [πάνω]. Έτσι, Β) βοηθά τον αέρα να βγει από τα πνευμόνια, με αποτέλεσμα τα Γ) πνευμόνια να συσταλούν.



Ας συζητήσουμε όλοι μαζί για το μοντέλο του αναπνευστικού συστήματος και ας συμπληρώσουμε, πιο κάτω, ποια στοιχεία του φαινομένου της αναπνοής περιλαμβάνει.

Τα αντικείμενα:

1.Τραχεία,.....
.....
.....
.....
.....
.....

Τις μεταβλητές:

1.Η ποσότητα του αέρα στα πνευμόνια,
.....
.....
.....
.....

Τις διαδικασίες:

1.Εισπνοή,
.....
.....
.....

Τις αλληλεπιδράσεις:

1.Η θέση του διαφράγματος [πάνω ή κάτω] επηρεάζει τη ποσότητα του αέρα στα πνευμόνια,
.....
.....
.....
.....

Συζητήστε στην ολομέλεια της τάξης



Έρθε η ώρα της κατασκευής του μοντέλου σας για τα φύλλα των φυτών, με βάση τον **κανόνα** που βγάλατε!



Ο σκοπός είναι το μοντέλο σας να δείχνει τη δομή του κάθε φύλλου στο μικρόκοσμο και το νανόκοσμο και να εξηγεί πώς αυτή επηρεάζει τη συμπεριφορά της σταγόνας (σχήμα και κίνηση) πάνω στο φύλλο!

- **Πρώτα όμως σκεφτείτε:** ποια στοιχεία πιστεύετε ότι είναι σημαντικά να τοποθετήσετε στο μοντέλο που θα κατασκευάσετε;

Σε αυτό θα σας βοηθήσει ο κανόνας που βγάλατε και οι εικόνες από το μικρόκοσμο και νανόκοσμο!!!

- ✓ Παρακάτω καταγράψτε τα στοιχεία που θέλετε να τοποθετήσετε στο μοντέλο σας για τα φύλλα των φυτών που μελετήσαμε προηγουμένως, όπως στο παράδειγμα:

Τα αντικείμενα:

1. Μικροεξογκώματα,.....
.....
.....
.....

Τις μεταβλητές:

1. Ύπαρξη ή απουσία μικροεξογκωμάτων,
.....
.....
.....

Τις διαδικασίες:

1. Άπλωμα σταγόνας στο φύλλο,
.....
.....
.....

Τις αλληλεπιδράσεις:

1. Η ύπαρξη μικροεξογκωμάτων και νανοπροεξοχών επηρεάζει το σχήμα που παίρνει η σταγόνα
.....
.....

Δραστηριότητα Πέμπτη

Αφού καταλήξετε στα στοιχεία που θα συμπεριλάβετε στο μοντέλο σας, ζητήστε από τη δασκάλα σας να σας δώσει υλικά για να κατασκευάσετε το μοντέλο σας με την ομάδα σας.

Υλικά:

Φύλλα χαρτί

Πλαστελίνη

Οδοντογλυφίδες

Φελιζόλ

Ξυλάκια

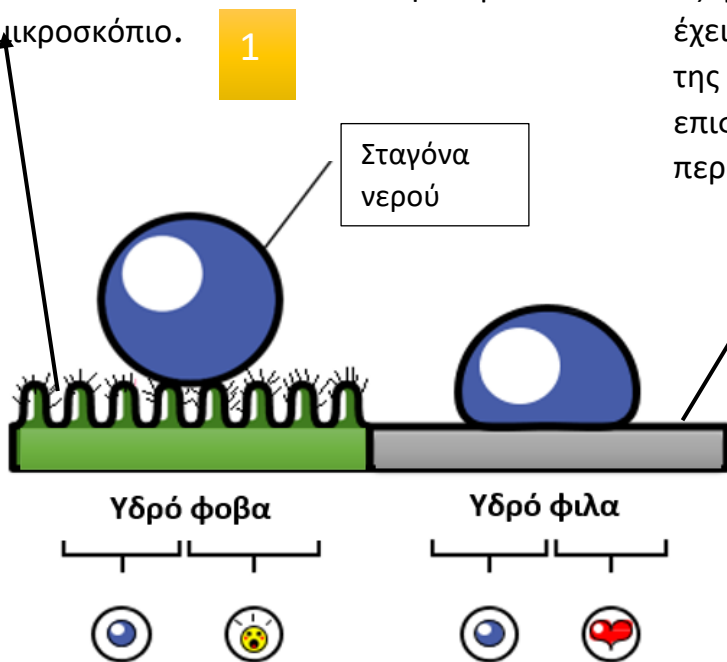
Μπαλόνι

Τρίτη συνάντηση: «Αναθεώρηση του μοντέλου»

Δραστηριότητα έκτη

Αφού ολοκληρώσετε το μοντέλο σας παρατηρήστε το μοντέλο που σας δίνεται παρακάτω

Επιφάνειες όπως αυτές του φύλλου λωτού και του λάχανου, καλύπτονται με μικροσκοπικά εξογκώματα τα οποία δεν είναι ορατά με γυμνό μάτι, αλλά μόνο με το οπτικό και το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.



2

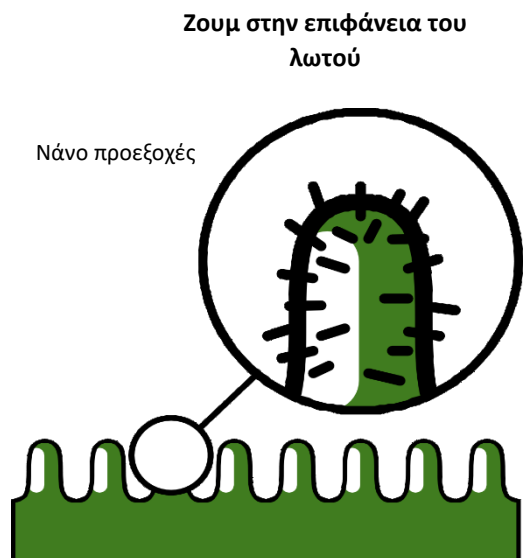
Πάνω σε αυτά τα εξογκώματα, που ονομάζονται μικρο-εξογκώματα, υπάρχουν και κάποιες προεξοχές, οι νάνο-προεξοχές, που είναι ορατές μόνο με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

3

Στον λωτό τα μικρο-εξογκώματα είναι κοντά μεταξύ τους και οι νάνο-προεξοχές είναι τόσο μικρές, ώστε οι σταγόνες νερού δεν μπορούν να χωρέσουν μεταξύ τους και κρατούνται στον αέρα. Με αποτέλεσμα οι σταγόνες να κυλούν γρήγορα πάνω στο φύλλο.

4

Αντίθετα, επιφάνειες όπως το μαρούλι και το σπανάκι, είναι λείες χωρίς μικρο-εξογκώματα και νάνο-προεξοχές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο μέρος της σταγόνας να έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του φύλλου και να απλώνεται περισσότερο πάνω σε αυτή.





Συζητήστε στην ολομέλεια της τάξης

- ✓ Στο μοντέλο που βλέπετε πιο πάνω, σε ποιο βαθμό μοιάζει η δομή των δύο φυτών με αυτήν που παρατηρήσατε από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο;
- ✓ Πιστεύετε ότι θα ήταν χρήσιμο να έμοιαζε περισσότερο;
- ✓ Το μοντέλο που βλέπετε περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία (αντικείμενα, μεταβλητές, αλληλεπιδράσεις, διαδικασίες), ώστε να αναπαριστούν και να εξηγούν το φαινόμενο;
- ✓ Δίνει την δυνατότητα να πραγματοποιηθούν προβλέψεις ; Π.χ. μπορώ να προβλέψω τι σχήμα θα πάρει η σταγόνα σε ένα άλλο φύλλο που έχει ίδια μικρο και νάνο δομή με αυτή του λωτού;

Δραστηριότητα έβδομη

Συγκρίνετε και αξιολογήστε το μοντέλο σας με το μοντέλο που σας δόθηκε πιο πάνω.

Κριτήρια αξιολόγησης του μοντέλου μας	Βαθμός			Εξήγησε την απάντησή σου
	1= μη ικανοποιητικά	2= ικανοποιητικά	3= πολύ ικανοποιητικά	
Διαθέτει: Τα απαραίτητα αντικείμενα (π.χ. φύλλο, τα μικροεξογκώματα, τις νανοπροεξοχές, σταγόνα νερού)	1	2	3	
Τις απαραίτητες μεταβλητές (π.χ. σχήμα σταγόνας, η ύπαρξη ή απουσία μικροεξογκωμάτων και νανοπροεξοχών)				

Τις διαδικασίες (π.χ. κίνηση της σταγόνας, η κύλιση, η προσκόλληση της σταγόνας)				
Τις αλληλεπιδράσεις (π.χ. ανάμεσα στην ύπαρξη μικροεξογκωμάτων και νανοπροεξοχών και το σχήμα που παίρνει η σταγόνα, ανάμεσα στην ύπαρξη και απόσταση των μικροεξογκωμάτων και την κίνηση της σταγόνας)				
Αναπαριστά ικανοποιητικά το φαινόμενο;				
Επεξηγεί ικανοποιητικά πώς συμβαίνει το φαινόμενο;				
Χρησιμοποιώντας το μοντέλο σας μπορείτε να ορίσετε πώς θα είναι η δομή σε μικρο και νάνο κόσμος, σε ένα φύλλο που η σταγόνα απλώνεται σε αυτό;				
Χρησιμοποιώντας το μοντέλο σας μπορείτε να ορίσετε πώς θα είναι η δομή σε μικρο και νάνο κόσμος, σε ένα φύλλο που η σταγόνα παίρνει τη μορφή μπίλιας πάνω σε αυτό;				

Τι αλλαγές θα μπορούσατε να κάνετε, ώστε να βελτιώσετε το μοντέλο σας;

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Πιστεύετε ότι μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;

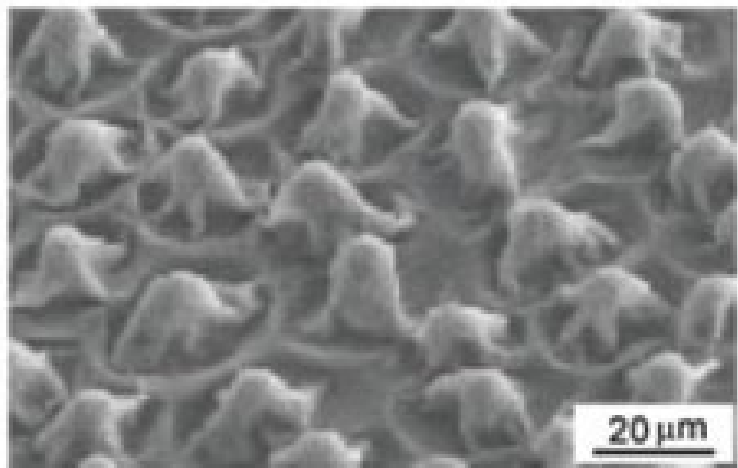


Ένα μοντέλο μπορεί να υποστεί αλλαγές/ να μεταβληθεί;

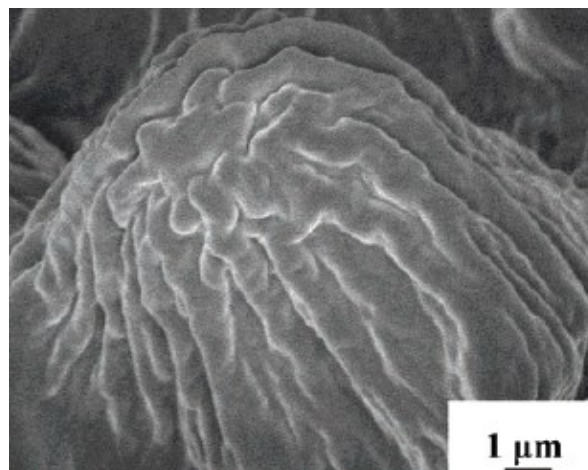
Τέταρτη συνάντηση: «Επικύρωση του μοντέλου»

Δραστηριότητα όγδοη

Η δασκάλα σας θα σας μοιράσει μία εικόνα της μικρο δομής και της νανοδομής των πετάλων του τριαντάφυλλου.



Μίκρο δομή



Νάνο δομή



Ώρα για πρόβλεψη!

➤ Χρησιμοποιώντας:

1. το **μοντέλο** που κατασκευάσατε για τη συμπεριφορά της σταγόνας στα φύλλα και
2. τις εικόνες της **μικροδομής και νανοδομής** του τριαντάφυλλου

Συμπληρώστε στα κενά, πώς πιστεύετε ότι θα συμπεριφερθεί η σταγόνα νερού στο πέταλο του τριαντάφυλλου.

A. Σχήμα σταγόνας:

B. Κίνηση σταγόνας:

Ωρα για πείραμα

Ζητήστε από την δασκάλα σας

- ✓ Τριαντάφυλλο
- ✓ Πιπέτα
- ✓ Ποτήρι
- ✓ Νερό



Γεμίστε την πιπέτα με μία ποσότητα νερού. Τώρα, ρίξτε 3-4 σταγόνες νερού στα πέταλα του τριαντάφυλλου.

➤ Παρατηρήστε τη σταγόνα και κυκλώστε το σωστό.

1.Τι σχήμα παίρνουν οι σταγόνες νερού στο πέταλο του τριαντάφυλλου;

Σφαιρικό/ απλώνονται στο πέταλο

2.Πώς κινούνται οι σταγόνες του νερού στο πέταλο του τριαντάφυλλου;

Κινούνται γρήγορα/ μένουν κολλημένες πάνω στο πέταλο

3.Το μοντέλο σας προέβλεψε το σχήμα της σταγόνας του νερού;

Ναι / όχι

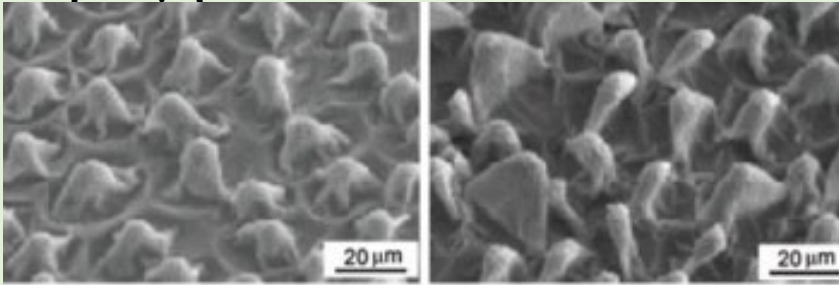
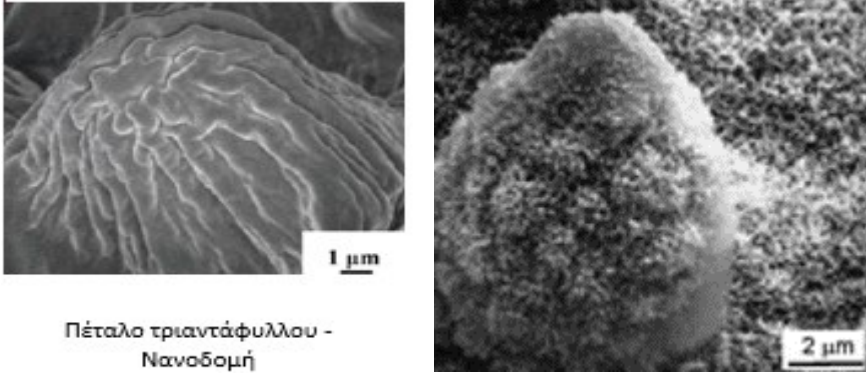
4.Το μοντέλο σας προέβλεψε την κίνηση της σταγόνας του νερού;

Ναι / όχι

Ας επιστρέψουμε στα δεδομένα μας

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι εικόνες της μικροδομής και της νανοδομής του φύλλου λωτού και του πέταλου τριαντάφυλλου.

➤ Παρατηρήστε προσεκτικά τις ομοιότητες και τις διαφορές. Στη συνέχεια συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί.

Δομή		Όμοια στα δύο φύλλα	Διαφορετικά στα δύο φύλλα
<p>Μικροδομή</p>  <p>Πέταλο τριαντάφυλλου - Μικροδομή Φύλλο Λωτού- Μικροδομή</p> <p style="text-align: center;">b)</p>	<p>Η επιφάνεια έχει μικροεξογκώματα</p> <p>Οι αποστάσεις ανάμεσα στα μικροεξογκώματα</p> <p>Το ύψος των μικροεξογκωμάτων</p>		
<p>Νανοδομή</p>  <p>Πέταλο τριαντάφυλλου - Νανοδομή</p>	<p>Πάνω στα μικροεξογκώματα υπάρχουν νανοπροεξοχές</p>		
<p>Σχήμα σταγόνας</p>			
<p>Κίνηση σταγόνας</p>			

Ωρα για κανόνα!

Γράψτε ένα κανόνα που να αφορά τη συμπεριφορά τη σταγόνας (**σχήμα και κίνηση**) στο πέταλο του τριαντάφυλλου σε σχέση με την αντίστοιχη δομή του φύλλου στο μικρόκοσμο και το νανόκοσμο.

Όταν ένα φύλλο στο μικρόκοσμο έχει....., των οποίων οι αποστάσεις είναικαι το ύψος είναι και ταυτόχρονα στο νανόκοσμο έχει τότε η σταγόνα στο φύλλο παίρνει σχήμα.....και πάνω στην επιφάνεια του φύλλου.

Τροποποιήστε το μοντέλο σας, ώστε να μπορεί να προβλέπει και την συμπεριφορά της σταγόνας νερού στο φύλλο του τριαντάφυλλου.



Αναστοχαστική συζήτηση



Ένα μοντέλο χρειάζεται να αποτελεί πιστό αντίγραφο του φαινομένου;

Ποιος είναι ο σκοπός ενός μοντέλου;/ Γιατί μας είναι χρήσιμο ένα μοντέλο;



Ένα μοντέλο μπορεί να υποστεί αλλαγές/ να μεταβληθεί; Πότε;

Πιστεύετε ότι μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα μοντέλα για το ίδιο φαινόμενο;



Είναι σημαντικό ένα μοντέλο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πραγματοποίηση προβλέψεων;;



Σήμερα πήγα στον οφθαλμίατρο και μου είπε ότι έχω όραση 10/10!!

Αυτό σημαίνει ότι μπορώ να δω τέλεια όλα τα αντικείμενα που υπάρχουν γύρω μου!!



Χαχα! Μην είσαι τόσο βιαστικός! Γύρω μας υπάρχουν αντικείμενα, τόσο μικρά, που δεν μπορούμε να τα δούμε ακόμη κι αν έχουμε τέλεια όραση!

Δες τις πληροφορίες που βρήκα!



Τα πρώτα μικροσκόπια που κατασκευάστηκαν ήταν τα οπτικά μικροσκόπια. Τα οπτικά μικροσκόπια αποτελούν σημαντικά εργαλεία καθώς δίνουν τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε αντικείμενα που δε θα μπορούσαμε να δούμε με γυμνό μάτι. Τα αντικείμενα που μπορούμε να παρατηρήσουμε με γυμνό μάτι λέμε ότι ανήκουν στο μακρόκοσμο.

Για παράδειγμα η φίλη μου η Μαρίνα έχει πυρετό και τρέμουλο όπως μπορούμε να δούμε στα συμπτώματά της.





Επίσης με γυμνό μάτι μπορούμε να δούμε και το αίμα που έδωσε όταν πήγε στο γιατρό για εξετάσεις.

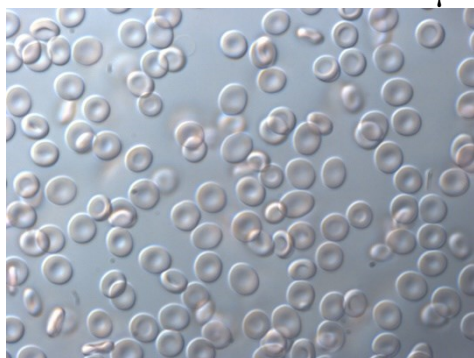
Εικόνα : δείγμα από το αίμα της Μαρίνας

Ο γιατρός είπε στην Μαρίνα ότι έχει ίωση, δηλαδή το αίμα της έχει μολυνθεί από έναν ιό. Αν και μπορούμε να δούμε το αίμα της Μαρίνας, δε μπορούμε να δούμε τον ιό σε αυτόν.

Για να παρατηρήσουμε αντικείμενα μικρότερα από αυτά που ανήκουν στο μακρόκοσμο χρησιμοποιούμε το **οπτικό μικροσκόπιο**.



Με το οπτικό μικροσκόπιο μπορούμε να παρατηρήσουμε αντικείμενα όπως τα ερυθρά αιμοσφαίρια, από τα οποία αποτελείται το αίμα. Τα αντικείμενα αυτά λέμε ότι ανήκουν στο μικρόκοσμο.

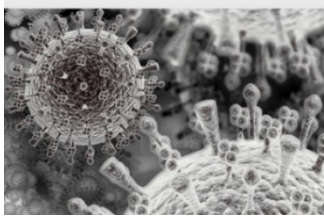


Όμως, ακόμη και τώρα δε μπορούμε να δούμε τον ιό στο αίμα της Μαρίνας!



Ααα, πολύ ενδιαφέρον! Το οπτικό
μικροσκόπιο όπως και τα μάτια μας δεν
μπορεί να δει τα πάντα. Αλλά τι γίνεται
με τα αντικείμενα που είναι ακόμη
μικρότερα;

Πολύ καλή ερώτηση!
Δες τις πληροφορίες που
βρήκα



Τα μικρότερα, όπως
ο ιός, λέμε ότι
ανήκουν στο
νανόκοσμο.

Τα αντικείμενα αυτά μπορούμε
να τα παρατηρήσουμε
χρησιμοποιώντας ένα άλλο, πιο
ισχυρό μικροσκόπιο, το
ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο
μπορούμε να παρατηρήσουμε με
μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο
μικρόκοσμο αλλά στο
νανόκοσμο.



Κωδικός Μαθητή:

Φύλο: Αγόρι Κορίτσι (βάλε X στο σωστό κουτάκι)

Ημερομηνία Γέννησης: /..... /.....

Ημερομηνία συμπλήρωσης ερωτηματολογίου: /..... /2017



Γεια σου! Χρειάζομαι την βοήθεια σου για να λύσω τις απορίες του καλύτερού μου φίλου!

Υπάρχουν μικρότερα αντικείμενα από αυτά που βλέπουμε με τα μάτια μας;
Αν ναι πως μπορούμε να τα δούμε;



Γράψε την απάντησή σου παρακάτω

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Αντιστοίχισε σωστά μεταξύ τους και τις τρεις στήλες

Μέγεθος

Μακρόκοσμος



Μικρόκοσμος



Νανόκοσμος

Μέσο παρατήρησης



Οπτικό μικροσκόπιο



Μάτια



Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

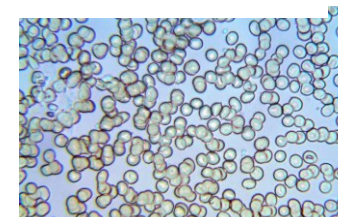
Εικόνες



Εικόνα 6: Δείγμα από αίμα



Εικόνα 8: Ιός



Εικόνα 7: Ερυθρά αιμοσφαίρια



Σήμερα έβρεξε και πρότεινα στον φίλο μου να κάνουμε μία βόλτα στο κήπο του σπιτιού του, ώστε να παρατηρήσουμε τις σταγόνες του νερού πάνω στα φύλλα.

Η φίλη μου με ρώτησε πώς πιστεύω ότι θα συμπεριφέρονται οι σταγόνες της βροχής στο φύλλο του μαρουλιού, του λάχανου και στα πέταλα του τριαντάφυλλου!

Μπορείς να με βοηθήσεις;



Γράψε την απάντησή σου σχετικά με τη συμπεριφορά της σταγόνας σε κάθε φύλλο, δηλαδή **A) τι σχήμα παίρνουν** και **B) πως κινούνται** οι σταγόνες νερού πάνω στο φύλλο.

Οι σταγόνες στο φύλλο μαρουλιού:

A).....

B).....

Οι σταγόνες νερού στο φύλλο λάχανου:

A).....

B).....

Οι σταγόνες νερού στο πέταλο του τριαντάφυλλου:

A).....

B).....



Οι σταγόνες νερού
συμπεριφέρονται [κίνηση και
σχήμα] διαφορετικά ή το ίδιο στα
φύλλα;

Γιατί πιστεύεις ότι συμβαίνει αυτό;

Γράψε την απάντησή σου

Οι σταγόνες στα φύλλα:

.....
.....
.....

Αυτό συμβαίνει γιατί :

.....
.....
.....
.....

Δίπλα σε κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις σημειώστε **X** ανάλογα αν τη θεωρείτε σωστή ή λάθος. Αν δεν γνωρίζετε ή δεν είστε σίγουροι για την απάντησή σας επιλέξτε «Δεν ξέρω/ Δεν απαντώ».

Προτάσεις	Σωστό	Λάθος	Δεν ξέρω/ Δεν απαντώ
1. Με τα μάτια μας μπορούμε να δούμε τα μικρότερα αντικείμενα που υπάρχουν.			
2. Κάτι που δεν μπορώ να το δω, δεν υπάρχει.			
3. Το οπτικό μικροσκόπιο έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.			
4. Όλα τα φύλλα των φυτών, αν και φαίνονται διαφορετικά με τα μάτια μας, όταν τα παρατηρήσουμε κάτω από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, φαίνονται το ίδιο.			
5. Τα υδρόφοβα φυτά είναι αυτά στα οποία η σταγόνα παίρνει σχήμα σφαιρικό.			
6. Τα υδρόφιλα φυτά είναι αυτά στα οποία η σταγόνα απλώνεται στο φύλλο.			
7. Στο μαρούλι η σταγόνα νερού απλώνεται.			
8. Στο λάχανο η σταγόνα νερού απλώνεται.			
9. Στο τριαντάφυλλο η σταγόνα νερού έχει σφαιρικό σχήμα.			
10. Η διαφορετική κίνηση της σταγόνας στο φύλλο του λάχανου σε σχέση με το πέταλο του τριαντάφυλλου, οφείλεται στην απόσταση των μικροεξογκωμάτων.			
11. Το διαφορετικό σχήμα και η διαφορετική κίνηση της σταγόνας στο φύλλο του λάχανου σε σχέση με το φύλλο του μαρουλιού, οφείλεται στην απόσταση των μικροεξογκωμάτων.			
12. Η ύπαρξη μικροεξογκωμάτων δεν μπορεί να επηρεάσει το σχήμα της σταγόνας.			
13. Η λεία επιφάνεια ενός φύλλου, όπως φαίνεται στο μικροσκόπιο οδηγεί τη σταγόνα να πάρει σφαιρικό σχήμα.			

6.3 Διαγνωστικό δοκίμιο για τα μοντέλα

Κωδικός Μαθητή:

Φύλο: Αγόρι Κορίτσι (βάλε X στο σωστό κουτάκι)

Ημερομηνία Γέννησης: /..... /.....

Ημερομηνία συμπλήρωσης ερωτηματολογίου: /..... /2017

Διαγνωστικό δοκίμιο 1: Επιστημολογική επάρκεια για τη φύση των μοντέλων

1. Περιέγραψε πώς καταλαβαίνεις την έννοια επιστημονικό μοντέλο.

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Μη γυρίσεις στην
επόμενη σελίδα αν
δε σου πει η
δασκάλα σου!!



Σε βλέπω!!

Στην παρακάτω εικόνα βλέπεις ένα μοντέλο του φαινομένου της μέρας-νύχτας.



Το φαινόμενο της μέρας και της νύχτας οφείλεται στην περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της.

Έτσι κάθε φορά που ένα τμήμα της Γης βρίσκεται απέναντι από τον ήλιο, φωτίζεται από τις ακτίνες του ήλιου και επομένως είναι το τμήμα της γης που έχει μέρα.

Αντίθετα, το τμήμα της Γης που δε φωτίζεται βρίσκεται στο σκοτάδι και άρα έχει νύχτα.

Καθώς η γη περιστρέφεται γύρω από τον νοητό άξονά της η μία πλευρά στην οποία χτυπούν οι ακτίνες του ήλιου διαδέχεται την άλλη.

Οι τόποι φωτίζονται ο ένας μετά τον άλλο και έτσι τη μέρα διαδέχεται η νύχτα.

Αν η γη σταματούσε την περιστροφική της κίνηση τότε η μία πλευρά της θα είχε πάντα μέρα και η άλλη πάντα νύχτα!!

- Σε ποió βαθμό η αναπαράσταση του φαινομένου [ο ήλιος – η γη] μοιάζει με το πώς είναι πραγματικά ;

Σημείωσε την απάντησή σου με X

Δε μοιάζει καθόλου	Μοιάζει αρκετά	Είναι ολόιδια
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Αιτιολόγησε την απάντησή σου:

.....

.....

.....

.....

.....

- Πιστεύεις ότι θα μπορούσαν να υπάρχουν περισσότερα από ένα επιστημονικά μοντέλα για να αναπαραστήσουν το φαινόμενο της μέρας και της νύχτας; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

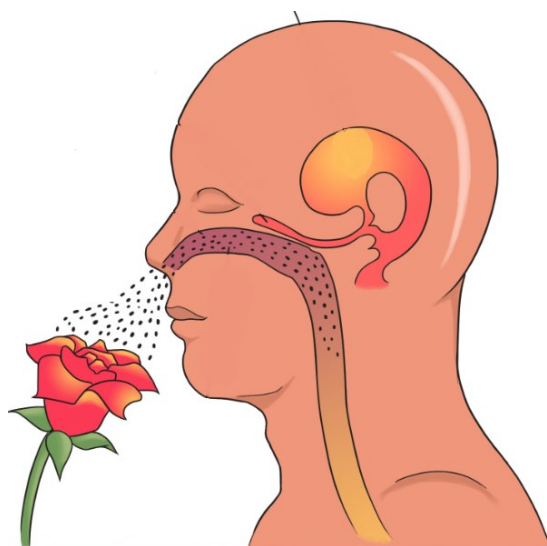
- Πιστεύεις ότι τα αντικείμενα της αναπαράστασης [ο ήλιος- η γη] θα έπρεπε να μοιάζουν περισσότερο με το πώς είναι στη πραγματικότητα ή όχι; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

.....
.....
.....
.....
.....

- Οι επιστήμονες στο παρελθόν τροποποίησαν μοντέλα που είχαν δημιουργηθεί για να εξηγήσουν το φαινόμενο της μέρας και της νύχτας. Για ποιο λόγο πιστεύεις ότι συνέβη αυτό; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Διαγνωστικό δοκίμιο 2: Επιστημολογική επάρκεια για το ρόλο των μοντέλων



Στην εικόνα βλέπεις μία αναπαράσταση, που δείχνει πώς λειτουργεί η αίσθηση της όσφρησης στον άνθρωπο.

Ερώτηση 1:

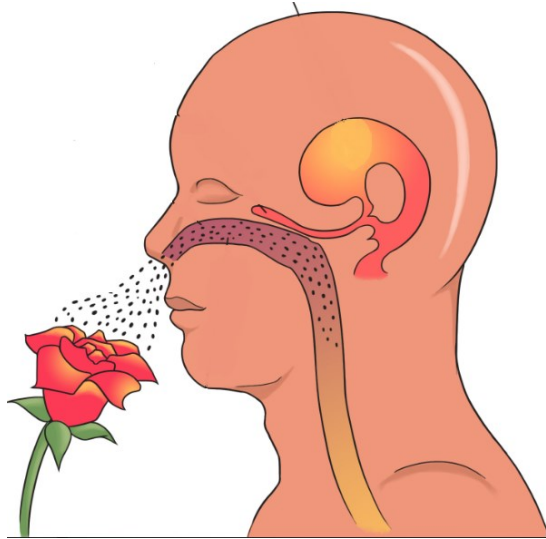
Να αναφέρεις **τρεις τουλάχιστον λόγους** για τους οποίους θεωρείς ότι είναι χρήσιμο να φτιάχνουμε τέτοιες αναπαραστάσεις. Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Ερώτηση 2:

A) Πιστεύεις ότι αυτή η αναπαράσταση περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για να καταλάβει κάποιος πώς λειτουργεί η αίσθηση της όσφρησης; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

.....
.....
.....
.....
.....



Β) Θα μπορούσε αυτή η αναπαράσταση να θεωρηθεί ότι αποτελεί **επιστημονικό μοντέλο** για την αίσθηση της όσφρησης; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Ερωτήσεις σωστού λάθους για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων

Σε κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις σημειώστε **X** στο κατάλληλο κουτάκι. Αν δεν είσαι σίγουρος για την απάντησή σου επιλέξτε «Δεν ξέρω/ Δεν απαντώ».

Προτάσεις	Σωστό	Λάθος	Δεν ξέρω/ Δεν απαντώ
1. Ένα επιστημονικό μοντέλο είναι ένα αντίγραφο της πραγματικότητας.			
2. Τα επιστημονικά μοντέλα τροποποιούνται με σκοπό να επεξηγούν καλύτερα το φαινόμενο.			
3. Ένα επιστημονικό μοντέλο πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στο πραγματικό φαινόμενο, ώστε κανείς να μη μπορεί να το αμφισβητήσει.			
4. Διαφορετικά επιστημονικά μοντέλα του ίδιου φαινομένου κατασκευάζονται για να δείξουν διαφορετικές οπτικές γωνίες/ πλευρές του φαινομένου [π.χ. μέσα – έξω, πάνω- κάτω].			
5. Διαφορετικά επιστημονικά μοντέλα του ίδιου φαινομένου κατασκευάζονται για να υποστηρίξουν τον διαφορετικό τρόπο αντίληψης του φαινομένου από διαφορετικά άτομα.			
6. Τα επιστημονικά μοντέλα αλλάζουν αν δεν αναπαριστούν ικανοποιητικά/ με ακρίβεια το φαινόμενο.			
7. Τα επιστημονικά μοντέλα αλλάζουν αν υπάρξουν νέα ευρήματα.			
8. Ένα επιστημονικό μοντέλο πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στο πραγματικό αντικείμενο/ φαινόμενο εκτός από το μέγεθος.			
9. Τα επιστημονικά μοντέλα τροποποιούνται με σκοπό να μπορούν να προβλέψουν καλύτερα τι θα συμβεί αν αλλάξουν κάποια από τα στοιχεία του φαινομένου.			
10. Ο κυριότερος σκοπός των επιστημονικών μοντέλων είναι να μας δίνουν τη δυνατότητα να δούμε πώς είναι ένα φαινόμενο που αλλιώς δε θα μπορούσαμε, γιατί είναι πολύ μικρό ή πολύ μεγάλο.			
11. Τα επιστημονικά μοντέλα υπάρχουν για να παίζουμε με αυτά.			
12. Χρησιμοποιούμε τα επιστημονικά μοντέλα για να ελέγξουμε και να αναπτύξουμε θεωρίες.			
13. Τα επιστημονικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να κάνουν ή να ελέγχουν προβλέψεις.			