



Πανεπιστήμιο
Κύπρου

ΤΜΗΜΑ ΨΥΧΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ,

ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

ΚΑΙ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ ΑΝΔΡΕΟΥ

Διατριβή η οποία υποβλήθηκε προς απόκτηση διδακτορικού τίτλου σπουδών στο
Πανεπιστήμιο Κύπρου

2018

ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ ΑΝΔΡΕΟΥ

Χριστιάνα Ανδρέου, 2018

ΣΕΛΙΔΑ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ

Υποψήφιος Διδάκτορας: Χριστιάνα Ανδρέου

Τίτλος: Επιστημονικά μοντέλα, Νοητικά μοντέλα και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για απόκτηση Διδακτορικού Διπλώματος στο **Τμήμα Ψυχολογίας** και εγκρίθηκε στις από τα μέλη της **Εξεταστικής Επιτροπής**.

Εξεταστική Επιτροπή:

Πρόεδρος: Γεώργιος Σπανούδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Ψυχολογίας

.....

Συνεπόμενοι: Αθανάσιος Ραφτόπουλος, Καθηγητής, Τμήμα Ψυχολογίας

.....

Δημήτριος Πορτίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα ΚΦΙ

.....

Εσωτερικό Μέλος: Παναγιώτης Σταυρινίδης, Επίκουρος Καθηγητής,

Τμήμα Ψυχολογίας

.....

Εξωτερικό Μέλος: Φίλιππος Καργόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής,

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο

.....

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΥΠΟΨΗΦΙΟΥ ΔΙΔΑΚΤΟΡΑ

Η παρούσα διατριβή υποβάλλεται προς συμπλήρωση των απαιτήσεων για απονομή Διδακτορικού Τίτλου του Πανεπιστημίου Κύπρου. Είναι προϊόν πρωτότυπης εργασίας, αποκλειστικά δικής μου, εκτός των περιπτώσεων που ρητά αναφέρονται μέσω βιβλιογραφικών αναφορών, σημειώσεων ή άλλων δηλώσεων.

Χριστιάνα Ανδρέου

.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι αναλύσεις της επιστημονικής πρακτικής και της οργάνωσης της επιστημονικής γνώσης από τη φιλοσοφία σε συνδυασμό με την έννοια του νοητικού μοντέλου από τη γνωστική ψυχολογία, διαμορφώνουν ένα κοινό πεδίο για τους δύο αυτούς τομείς έρευνας. Οι ισχυρισμοί της ψυχολογίας για την κατασκευή και την επεξεργασία των νοητικών μοντέλων προφέρουν μια εξήγηση για την επιτυχία της μεθοδολογίας μοντελοποίησης στην επιστήμη. Αυτό το διαμορφούμενο κοινό πεδίο έχει σημαντική επίδραση στη διδακτική των φυσικών επιστημών αφού προσφέρει πιθανές απαντήσεις στο ερώτημα της διδακτικής για μια επιτυχημένη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

Η διδακτική των φυσικών επιστημών στον Ευρωπαϊκό και Αμερικανικό χώρο αναγνωρίζει τη σημασία των μοντελοκεντρικών διαδικασιών μάθησης στη διδασκαλία και στη μάθηση των φυσικών επιστημών. Με δεδομένο ότι οι αντιλήψεις των μαθητών για τα μοντέλα είναι, τουλάχιστον, ανεπαρκείς, η εργασία αυτή ερευνά το ερώτημα των ωφελημάτων της ένταξης της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου και του ρόλου του στην επιστήμη στα αναλυτικά προγράμματα των φυσικών επιστημών και της φυσικής ειδικότερα. Τα επιχειρήματα που υποστηρίζουν την πρόταση αντλούνται από τη φιλοσοφία της επιστήμης, την ψυχολογία και τη διδακτική. Εξετάζονται δύο πτυχές αυτού του ερωτήματος, η συμβολή του εμπλουτισμού των αναλυτικών προγραμμάτων με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου στη μάθηση για τη φύση της επιστήμης και της επιστημονικής γνώσης και στην κατανόηση του περιεχόμενου. Αναφορικά με την πρώτη, η παρούσα εργασία εμπλουτίζει το θεωρητικό πλαίσιο της διδακτικής για τη φύση επιστήμης δείχνοντας πώς σε μια διδασκαλία για την έννοια του μοντέλου μπορούν να ενσωματωθούν αν όχι όλα, τουλάχιστον τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά της επιστήμης που συνιστούν αυτό που στη βιβλιογραφία της διδακτικής ονομάζεται «φύση της επιστήμης». Τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να εισαχθούν ενσωματωμένα με το περιεχόμενο της διδασκαλίας και να εγείρονται ρητά όταν το περιεχόμενο το επιτρέπει ώστε να είναι ενταγμένα στο κατάλληλο πλαίσιο για να συνεισφέρουν στην κατανόηση του περιεχομένου αλλά και διαμόρφωση ορθών αντιλήψεων για τις διαδικασίες παραγωγής της επιστημονικής γνώσης και τη φύση αυτής της γνώσης.

Με βάση συγκεκριμένα κριτήρια που τίθενται, υποστηρίζεται ότι καταλληλότερη για τη διδασκαλία είναι η φιλοσοφική ανάλυση των μοντέλων ως διαμεσολαβητών. Επειδή η ανάλυση αυτή είναι πραγματιστική, ταιριάζει σε μια διδασκαλία που δίνει έμφαση στην επιστημονική μεθοδολογία και προσφέρει στους μαθητές τη δυνατότητα εμπλοκής σε διαδικασίες μάθησης οι οποίες προσομοιάζουν αυτές της πραγματικής επιστήμης, στόχος

που είναι σύμφωνος και με τις τρέχουσες εισηγήσεις της διδακτικής των επιστημών για την εισαγωγή στη διδασκαλία αυθεντικών επιστημονικών διαδικασιών.

Η εργασία ολοκληρώνεται με μια διδακτική πρόταση που αφορά στον απλό αρμονικό ταλαντωτή και στο απλό εκκρεμές ειδικότερα. Η επιλογή αιτιολογείται και στοχεύει στο να καταδείξει ότι είναι δυνατόν πολλά από τα σχετικά με τα μοντέλα στοιχεία από τη φιλοσοφία να ενσωματωθούν σε μια αναστοχαστική μοντελοκεντρική διδασκαλία στην οποία οι μαθητές έχουν ενεργό εμπλοκή. Η εργασία ολοκληρώνεται με κάποιες επιστημολογικές και μεθοδολογικές επιστημάνσεις για τη διδακτική πρόταση.

ABSTRACT

Analyses of scientific practice and of the organisation of scientific knowledge in terms of models in the philosophy of science, and the elaboration of the construct of the mental model in psychology the last few decades shape a common field of research for philosophy of science and psychology. The claims of psychology about human reasoning through processes of construction and manipulation of mental models provide an explanation for the central role of modelling in the scientific practise. These developments had a considerable impact on the research in science education.

In science education, in the American and the European tradition, it is acknowledged that modelling should be considered as a key process in teaching and learning science. The argument is supported by the developments in philosophy of science, psychology, and science education. In view of the fact that students' ideas about scientific models are, to say the least, inadequate, it is argued in this Thesis that introducing the concept of scientific model and of the methodology of scientific modelling in the science curriculum could lead to a more effective and successful science teaching because it could aid students form a better understanding of the content of science, of the nature of science, and of scientific knowledge. It is also argued that, with respect to the nature of science, all the elements that characterise scientific methodology and scientific knowledge are incorporated in the concept of scientific model and the modelling processes. These, or some of these elements, should be introduced in school physics curriculum by being intergraded into the content of science because only then could they contribute to a better understanding of the content of science and of the nature of the scientific knowledge and the processes that produce it.

To choose the appropriate philosophical analysis for science teaching several criteria are put in place and according to these criteria it is argued that between the two current philosophical analyses about models and theories, the analysis of models as mediators between scientific theories and the world is appropriate for the science classroom. The analysis emphasizes the processes in real science and the various techniques scientists use in constructing and manipulating scientific models and in the various roles these models play in the scientific practise. Owing to its pragmatic and naturalistic character, this analysis is more suitable for science teaching because the emphasis of teaching should be on scientific methodology.

Finally, for reasons analysed in the Thesis, a teaching sequence is proposed in the context of simple harmonic motion and for the simple pendulum specifically. The sequence involves not only the construction of a mathematical-theoretical model for the simple pendulum and models of real pendulums but is also philosophically oriented and reflects issues related to aspects of scientific methodology and the nature of science. At the end of the chapter some epistemological and methodological remarks on the sequence are discussed.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τους επόπτες μου,

Καθηγητή κ. Αθανάσιο Ραφτόπουλο και Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Δημήτρη Πορτίδη,

για την αδιάληπτη εποπτεία τους και τη συνεχή υποστήριξή τους

κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής.

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στον πολυαγαπημένο μου αδελφό,

Αλέξη

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Επιδίωξη της εργασίας.....	2
1.3 Δομή της διατριβής.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.	8
ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ	8
2.1 Εισαγωγή	8
2.2 Θεωρίες και μοντέλα τον 19 ^ο αιώνα	10
2.3 Τα επιστημονικά μοντέλα στη φιλοσοφία της επιστήμης του 20 ^{ου} αιώνα	13
2.3.1 Η εποχή της “περιφρόνησης”	13
2.3.1.1 Η συντακτική ανάλυση των θεωριών.....	15
2.3.1.2 Η δομή των θεωριών στη συντακτική ανάλυση.....	17
2.3.1.3 Η έννοια του μοντέλου στη συντακτική ανάλυση.....	18
2.3.1.4 Κριτική στη συντακτική ανάλυση των θεωριών	19
2.3.2 Η εποχή της «εύνοιας»	20
2.3.3 Τα μοντέλα στο κέντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος.....	20
2.3.3.1 Η σημασιολογική ανάλυση των θεωριών.....	23
2.3.3.1.1 Η δομή της θεωρίας και τα μοντέλα	23
2.3.3.1.2 Τα μοντέλα ως αναπαραστατικά μέσα στις σημασιολογικές αναλύσεις	25
2.3.3.1.2.1 Σχέση μεταξύ μοντέλων και φυσικού κόσμου στις σημασιολογικές αναλύσεις.....	26
2.3.3.2 Κριτική στη σημασιολογική ανάλυση των θεωριών.....	28
2.3.3.2.1 Θεωρίες και μοντέλα.....	29
2.3.3.2.2 Τα μοντέλα και οι λειτουργίες τους.....	31
2.3.3.2.3 Μοντέλα και επιστημονική αναπαράσταση.....	32
2.3.3.2.3.1 Τι αναπαριστούν τα μοντέλα	32
2.3.3.2.3.2 Πώς αναπαριστούν τα μοντέλα	33

2.3.3.2.3.3	Οι απαντήσεις της σημασιολογικής ανάλυσης.....	36
2.3.4	Άλλες αναλύσεις για την επιστημονική αναπαράσταση	37
2.3.4.1	Λειτουργικές αναλύσεις της επιστημονικής αναπαράστασης.....	38
2.3.4.2	Μοντέλα και εξιδανίκευση-αφαίρεση-προσέγγιση.....	43
2.3.5	Μοντέλα και αλήθεια.....	46
2.3.6	Μοντέλα και αφηγηματικές επινοήσεις.....	48
2.4	Επιστημονικά μοντέλα και ανθρώπινη νόηση.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....		59
ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ		59
3.1	Νους και νοητικές αναπαραστάσεις	59
3.2	Η ιστορία των νοητικών μοντέλων.....	62
3.3	Το επεξηγηματικό πλαίσιο των νοητικών μοντέλων.....	63
3.3.1	Νοητικά μοντέλα και λογικοί συλλογισμοί.....	64
3.3.2	Νοητικά μοντέλα και απαγωγικοί συλλογισμοί	67
3.3.3	Νοητικά μοντέλα στην κατανόηση συνομιλίας και κειμένου	69
3.3.4	Νοητικά μοντέλα και καθημερινή ζωή.....	70
3.3.5	Νοητικά μοντέλα φυσικών συστημάτων	72
3.3.6	Οι διαδικασίες επεξεργασίας νοητικών μοντέλων και η φύση των συμβόλων.....	74
3.3.6.1	Διαδικασίες προσομοίωσης.....	75
3.3.6.2	Η φύση των συμβόλων.....	77
3.3.7	Η φύση των νοητικών μοντέλων	79
3.4	Νοητικά μοντέλα και διδασκαλία των φυσικών επιστημών.....	82
3.4.1	Η έρευνα της διδακτικής των φυσικών επιστημών για τα νοητικά μοντέλα των μαθητών.....	83
3.4.2	Μαθησιακές διαδικασίες και νοητικά μοντέλα	89
3.5	Νοητικές αναπαραστάσεις και επιστήμη.....	89
3.5.1	Σύγκριση νοητικών και επιστημονικών μοντέλων.....	94
3.5.2	Νοητικά μοντέλα, επιστημονικά μοντέλα και συλλογισμοί.....	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	101
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ	101
4.1 Η ένταξη επιστημολογικών ζητημάτων στη διδακτική των φυσικών επιστημών	10
1	
4.2 Η επίδραση της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδακτική των φυσικών επιστημών	11
0	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	119
ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΩΝ, ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	119
5.1 Ιδέες των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα	119
5.1.1 Οι αντιλήψεις κυρίων μαθητών για τα μοντέλα	124
5.1.2 Επίπεδα κατανόησης.....	127
5.1.3 Μια άλλη ανάγνωση των αποτελεσμάτων των ερευνών	130
5.2 Αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τα επιστημονικά μοντέλα.....	131
5.3 Τι λένε οι επιστήμονες.....	133
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	138
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	138
6.1 Επιχειρήματα από τη φιλοσοφία.....	138
6.2 Επιχειρήματα από την επιστημολογία	139
6.2.1 Η αφαίρεση και η εξιδανίκευση ως βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής σκέψης.....	143
6.3 Επιχειρήματα από τη γνωστική ψυχολογία	147
6.4 Επιχειρήματα από τη διδακτική.....	150
6.4.1 Μοντελοκεντρική διδασκαλία και μάθηση του περιεχομένου των φυσικών επιστημών	150
6.4.2 Μοντελοκεντρική διδασκαλία και επιστημολογική ενημερότητα.....	156
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	160
ΠΟΙΑ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ;.....	160

7.1	Τα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης θεωρητικής προσέγγισης στην έννοια του μοντέλου στη διδακτική	160
7.2	Αξιολόγηση της εκπαιδευτικής καταλληλότητας των φιλοσοφικών αναλύσεων	162
7.2.1	Η συντακτική ανάλυση των θεωριών	162
7.2.2	Η σημασιολογική ανάλυση των θεωριών	163
7.2.3	Τα μοντέλα ως διαμεσολαβητές	171
7.3	Πιθανές αδυναμίες της προσέγγισης σε σχέση με τη διδασκαλία	175
7.4	Κριτική στην εισήγηση για τα μοντέλα á la ΣΗΑ στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.....	180
7.4.1	Η σημασιολογική εκδοχή των Σχολικών Επιστημονικών Μοντέλων	181
7.4.2	Η σημασιολογική εκδοχή στη Σχολική Μοντελοποίηση	183
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.		184
ΜΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ		184
8.1	Μια νέα οπτική στο παλιό	184
8.2	Η ένταξη της μελέτης του απλού αρμονικού ταλαντωτή στο μοντελοκεντρικό πλαίσιο.....	185
8.2.1	Πορεία και δραστηριότητες της διδασκαλίας.....	188
8.2.2	Μερικές επισημάνσεις για την πρόταση.....	203
8.2.2.1	Επιστημολογικές.....	203
8.2.2.2	Μεθοδολογικές.....	204
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....		207

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 1: Κινηματικά μοντέλα για την κίνηση υλικού σημείου	190
Διάγραμμα 2: Οι δύο διαδικασίες με τις οποίες κατασκευάζουμε ένα πραγματικό σύστημα και ένα ρεαλιστικό μοντέλο του συστήματος αυτού	203
Διάγραμμα 3: Τα τρία επίπεδα μάθησης στην επιστήμη	205

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Συσκευή επίδειξης ομαλής κυκλικής κίνησης	190
Σχήμα 2: Συσκευή επίδειξης ομαλής κυκλικής κίνησης με σύστημα αξόνων για τη μελέτη της κίνησης της προβολής του σφαιριδίου στους άξονες	191
Σχήμα 3: Διάγραμμα για την εξαγωγή της σχέσης της θέσης της προβολής του σφαιριδίου στον κατακόρυφο άξονα	193

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Επίπεδα κατανόησης των μαθητών για τα μοντέλα σε διάφορες έρευνες ...	129
Πίνακας 2: Μέρος του εγχειριδίου του διδακτικού προγράμματος του Halloun για τη φυσική επιπέδου Λυκείου και Πανεπιστημίου	155
Πίνακας 3: Ορισμοί για την έννοια του επιστημονικού μοντέλου	178
Πίνακας 4: Πορεία και δραστηριότητες της διδασκαλίας του απλού αρμονικού ταλαντωτή	189

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.

1.1 Εισαγωγή

Από τα μέσα του περασμένου αιώνα οι συζητήσεις για την επιστήμη, είτε αυτές αφορούν στη δομή των θεωριών είτε στην επιστημονική μέθοδο, επικεντρώνονται στην έννοια του μοντέλου και το τοποθετούν στον πυρήνα της επιστημονικής διαδικασίας. Αναγνωρίζεται πια ρητά ότι μεγάλο μέρος της επιστημονικής προσπάθειας στηρίζεται στην κατασκευή και την επεξεργασία μοντέλων. Αυτό σημαίνει ότι η επιστήμη άλλαξε τόσο δραματικά μέσα στον 20^ο αιώνα; Μάλλον όχι. Αυτό που άλλαξε δεν είναι ο τρόπος που εργάζονται οι επιστήμονες αλλά ο τρόπος με τον οποίο οι φιλόσοφοι εξορθολογικεύουν τα χαρακτηριστικά της επιστήμης. Η πραγματική επιστήμη ήταν πάντοτε μοντελοαναπαραστατική. Οι επιστήμονες πάντοτε προσέφεραν εξηγήσεις για συγκεκριμένα φαινόμενα βασισμένοι στις υποθέσεις ενός συγκεκριμένου εννοιολογικού πλαισίου. Βασικές όμως πρακτικές της κατασκευής μοντέλων που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη επιστήμη, όπως η εξιδανίκευση, η αφαίρεση και η μαθηματικοποίηση, διατυπώνονται για πρώτη φορά ξεκάθαρα από τον Γαλιλαίο ενώ αρκετά από τα μοντέλα της μεταεπαναστατικής επιστήμης όχι μόνο αξιοποιούνται και σε σύγχρονα μοντέλα αλλά χρησιμοποιούνται και ως υποδείγματα σε σύγχρονες φιλοσοφικές αναλύσεις.

Οι φιλοσοφικές αυτές αναλύσεις, όπως και οι επιστημονικές περιγραφές των φυσικών φαινομένων, στηρίζονται σε κάποιες έννοιες που διαμορφώνονται ειδικά για την περιγραφή αυτή εντός ενός συγκεκριμένου ιστορικού και γνωσιολογικού πλαισίου. Στην περίπτωση της επιστήμης, η έννοια που περιέγραφε το πλαίσιο διατύπωσης της έγκυρης επιστημονικής γνώσης στις αρχές του αιώνα ήταν η έννοια της θεωρίας, δηλαδή ενός μεγάλου και ενοποιητικού σώματος γνώσης που περιλαμβάνει τις αρχές και τους νόμους που διέπουν τα φαινόμενα εντός ενός συγκεκριμένου επιστημονικού πεδίου. Η έννοια του μοντέλου ήταν μάλλον ταυτισμένη με φυσικές ή δυνητικά φυσικές κατασκευές που εποπτικοποιούσαν και έκαναν περισσότερο κατανοητές κάποιες αφηρημένες έννοιες με τη χρήση μηχανισμών που δεν απεικόνιζαν απαραίτητα και τη φύση των πραγμάτων.

Με τη διαμόρφωση της έννοιας του μοντέλου στα μαθηματικά και τη λογική, η έννοια του μοντέλου εντάχθηκε στην ορολογία της επιστήμης ως το μέσο με το οποίο εκφράζονται ή εφαρμόζονται οι γενικές θεωρίες σε συγκεκριμένες κατηγορίες φαινομένων ή σε συγκεκριμένα φαινόμενα ή καταστάσεις και αυτό μετέβαλε σταδιακά και την αντίληψη για τη δομή των θεωριών. Σε αυτή τη νέα, πιο λειτουργική, προσέγγιση της γνώσης σε όλα τα επιστημονικά πεδία, τα φυσικά συστήματα που εμπίπτουν στο πεδίο κάθε επιστήμης

αναπαρίστανται με μοντέλα. Σήμερα, είναι γενική η παραδοχή ανάμεσα στους επιστήμονες και στους φιλοσόφους ότι τα μοντέλα βρίσκονται στο κέντρο της επιστημονικής έρευνας και είναι όχι μόνο οι φορείς της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης αλλά και το μέσο απόκτησης της καινούργιας.

Το πιο πρόσφατο βήμα σε αυτή την πορεία της αξιοποίησης της έννοιας του μοντέλου ως αναπαράσταση της γνώσης που έχουμε για τον κόσμο και ως μέσου διαχείρισής της έγινε στη γνωστική επιστήμη με την έννοια του νοητικού μοντέλου. Ένα νοητικό μοντέλο είναι η νοητική εκείνη αναπαράσταση που διαμορφώνεται στον ανθρώπινο νου όταν βρίσκεται αντιμέτωπος με άγνωστες καταστάσεις. Τα νοητικά μοντέλα δεν είναι όμως μόνο ένας τρόπος οργάνωσης της γνώσης αλλά και αναπόφευκτα, όπως και στην επιστήμη, είναι η βάση που χρησιμοποιεί ο νους για να κάνει συλλογισμούς και είναι, συνεπώς, καθοριστικά για την εξαγωγή των συμπερασμάτων αλλά και για την ποιότητα των συμπερασμάτων αυτών.

1.2 Επιδίωξη της εργασίας

Η έννοια του επιστημονικού μοντέλου βρίσκεται το κέντρο του ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας όχι τόσο ως αντικείμενο φιλοσοφικού στοχασμού αλλά ως το χαρακτηριστικό στοιχείο της επιστημονικής δραστηριότητας. Αν τα μοντέλα βρίσκονται στο πυρήνα της επιστήμης θα πρέπει να εκφράζουν και να ενσωματώνουν όλα εκείνα τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν την επιστήμη και μια κατανόηση του ρόλου και των λειτουργιών τους είναι σημαντική για την κατανόηση της επιστήμης και της επιστημονικής γνώσης. Ο 'θεσμός' στον οποίο κάθε άνθρωπος έχει την πρώτη του οργανωμένη και συστηματική επαφή με την επιστήμη αλλά και διαμορφώνει τις αντιλήψεις του για αυτή είναι η εκπαίδευση. Τις τέσσερις τελευταίες δεκαετίες μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον έχουν συγκεντρώσει ευρήματα που δείχνουν ότι οι μαθητές δεν αποκτούν σωστή εννοιολογική κατανόηση ακόμη και των θεμελιωδών εννοιών και νόμων. Ακόμη και στις περιπτώσεις που μπορούν να διατυπώσουν βασικούς νόμους και να εφαρμόσουν μαθηματικές σχέσεις στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων, στη μεγάλη πλειοψηφία τους, δεν φαίνεται να έχουν λειτουργική κατανόηση του εννοιολογικού περιεχομένου της φυσικής με αποτέλεσμα να αποτυγχάνουν να εξηγήσουν τη συμπεριφορά ακόμη και πολύ απλών αλλά άγνωστων φυσικών συστημάτων. Πιο πρόσφατα, και ως συνέπεια αυτών των αρχικών παρατηρήσεων για την εννοιολογική κατανόηση, το ενδιαφέρον της σχετικής έρευνας στράφηκε και στην επιστημολογική επάρκεια των αντιλήψεων των μαθητών τόσο για τη φύση των εννοιών και των οντοτήτων της φυσικής όσο και για τη φύση της ίδιας της επιστήμης. Φαίνεται ότι οι

μαθητές αντιλαμβάνονται την επιστημονική γνώση ως ένα σύνολο προτάσεων που αποτελούν απόλυτες αλήθειες, τους νόμους και τις θεωρίες, οι οποίες εκφράζονται από ποσοτικές σχέσεις και την επιστήμη ως την εφαρμογή αλγορίθμων στην επίλυση ποσοτικών προβλημάτων. Αυτή η αντίληψη στερεί από την επιστήμη, μεταξύ άλλων, το χαρακτηριστικό της δημιουργικότητας και το ρόλο της ανθρώπινης επινόησης που εκφράζεται κυρίως στην κατασκευή και στη διαχείριση των μοντέλων ως αναπαραστάσεων του κόσμου καθώς και στην αλληλεπίδρασή τους με το πείραμα.

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης από τους μαθητές της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου για τη διαμόρφωση επαρκών επιστημολογικών αντιλήψεων μέσα από τη γνώση για τις δραστηριότητες της πραγματικής επιστήμης. Οι έγκυρες αυτές αντιλήψεις έχουν τη σημασία τους όχι μόνο ως αυτόνομη συνιστώσα του επιστημονικού γραμματισμού αλλά βοηθούν στη διαμόρφωση του κατάλληλου πλαισίου για την κατανόηση του περιεχομένου της επιστήμης. Ταυτόχρονα, επειδή η κατασκευή μοντέλων βρίσκεται στον πυρήνα της επιστημονικής μεθοδολογίας και τα μοντέλα αποτελούν τη βάση στην οποία στηρίζονται οι επιστημονικοί συλλογισμοί, η γνώση για τα μοντέλα είναι ένα παράθυρο στον επιστημονικό τρόπο σκέψης και προσφέρεται ως ένα πρότυπο που μπορεί να βελτιώσει την ικανότητα των μαθητών να σκέφτονται επιστημονικά. Αυτό, υποστηρίζεται, μπορεί να επιτευχθεί όχι μόνο μέσω συγκεκριμένου είδους δραστηριοτήτων αλλά κυρίως μέσα από αναστοχασμό στο περιεχόμενο και στη φύση των δραστηριοτήτων αυτών.

1.3 Δομή της διατριβής

Στη συνέχεια περιγράφεται περιληπτικά η δομή της εργασίας και το περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** αποτελεί μια ιστορική ανασκόπηση στην έννοια του επιστημονικού μοντέλου, όπως αυτή εξελίχθηκε στη φιλοσοφία της επιστήμης τον 20^ο αιώνα. Συνοπτικά, η ιστορία της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου ξεκινά από τα μηχανικά μοντέλα που κυριαρχούσαν στην επιστημονική πρακτική της φυσικής τον 19^ο αιώνα ως μέσου επικοινωνίας, επεξεργασίας και κατανόησης των ιδεών για τα νέα πεδία έρευνας, όπως αυτά της θερμοδυναμικής και του ηλεκτρομαγνητισμού. Οι αρχές του εικοστού αιώνα σηματοδοτούνται στη φιλοσοφία από την άνοδο του λογικού θετικισμού, ενός φιλοσοφικού κινήματος που φιλοδοξούσε να θεμελιώσει, με όρους τυπικής λογικής, την εγκυρότητα των επιστημονικών θεωριών και μέσα από αυτό να εξηγήσει την επιτυχία της επιστήμης. Στις αναλύσεις των λογικών θετικιστών όλη η επιστημονική γνώση είναι ενθυλακωμένη στις

θεωρίες. Τα μοντέλα δεν είναι τίποτε άλλο παρά δομές γνώσης δευτερευούσης σημασίας που, στην καλύτερη περίπτωση, βοηθούν στη διαμόρφωση των θεωριών και οι οποίες καθίστανται περιττές όταν αυτός ο στόχος έχει επιτευχθεί. Οι αδυναμίες αυτής της προσέγγισης της επιστήμης και οι ανησυχίες κάποιων φιλοσόφων για την απόσταση μεταξύ των ισχυρισμών της φιλοσοφίας και της επιστημονικής πρακτικής οδήγησαν στην άνοδο στη μοντελοκεντρική θεώρησης της επιστήμης. Σύμφωνα με αυτή, η κατασκευή και η διαχείριση μοντέλων βρίσκεται στο κέντρο της επιστημονικής πρακτικής, οι θεωρίες ταυτίζονται με το σύνολο των μοντέλων τους και σε αυτά περιέχεται το σύνολο της επιστημονικής γνώσης. Σύμφωνα όμως με κάποιους φιλοσόφους η νέα μοντελοκεντρική προσέγγιση διατήρησε τον τυπικό και κανονιστικό χαρακτήρα στην περιγραφή της επιστήμης που είχε η λογικοθετικιστική ανάλυση την οποία αντικατέστησε. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα και η νέα αντίληψη να αδυνατεί να αποτυπώσει όλες τις πτυχές της επιστημονικής δραστηριότητας και ειδικότερα τις διαδικασίες ανακάλυψης και τον πλουραλισμό στα είδη των μοντέλων και στις διαδικασίες κατασκευής τους. Σε μια πιο πραγματιστική προσέγγιση, οι φιλόσοφοι αυτοί βλέπουν το ρόλο των μοντέλων ως διαμεσολαβητών μεταξύ της θεωρίας και του κόσμου και μετατοπίζουν την έμφαση από τη θεωρία στην κατασκευή των μοντέλων και στο ρόλο τους ως όργανα της επιστημονικής έρευνας. Αυτός ο ρόλος των μοντέλων εξασφαλίζεται από μια σχετική αυτονομία που έχουν τα μοντέλα τόσο από τη θεωρία όσο και από τον κόσμο. Σε αυτή την αυτονομία οφείλεται και η δυνατότητα να χρησιμοποιούνται ως όργανα για την εξερεύνηση και στους δύο τομείς. Αυτή η γενικότερη στροφή προς τα μοντέλα και το ρόλο τους στην επιστήμη άνοιξε και νέες συζητήσεις που αφορούν στο ρόλο των μοντέλων ως αναπαραστάσεις, τη σχέση τους με την αλήθεια, την οντολογία των μοντέλων κ.ά. Αυτή η πραγματιστική θεώρηση οδήγησε σε μια νατουραλιστική στροφή στις φιλοσοφικές αναλύσεις η οποία, αξιοποιώντας τις εξελίξεις στη γνωστική ψυχολογία, ανέδειξε τη γνωστική πτυχή της επιστημονικής πρακτικής μέσα από γνωστικές αναλύσεις της επιστήμης.

Μια από αυτές τις εξελίξεις στην ψυχολογία αφορούσε στη διαμόρφωση της έννοιας του νοητικού μοντέλου, ενός είδους νοητικής αναπαράστασης που κατασκευάζει ο νους, σε κάποιο επίπεδο λειτουργίας του, με βάση την οποία ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον κόσμο, σκέφτεται και μαθαίνει για αυτόν.

Το **τρίτο κεφάλαιο** αναφέρεται σε αυτές τις νοητικές δομές, τα νοητικά μοντέλα και τα περιγράφει ως νοητικούς μηχανισμούς για τη νοητική αναπαράσταση γνωστών ή άγνωστων καταστάσεων που υποστηρίζει τους συλλογισμούς για τις καταστάσεις αυτές. Το κεφάλαιο χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο αφορά στην έννοια του νοητικού μοντέλου η οποία

προτάθηκε ως εναλλακτική της άποψης ότι οι άνθρωποι όταν συλλογίζονται χρησιμοποιούν προτάσεις και κανόνες συναγωγής ανάλογους με αυτούς της τυπικής λογικής. Γι' αυτό το λόγο η πρώτη κατεύθυνση της έρευνας που αναπτύχθηκε στον τομέα αφορά στα νοητικά μοντέλα που υποστηρίζουν τους λογικούς συλλογισμούς και τα οποία είναι προσωρινές κατασκευές της μνήμης εργασίας. Στη συνέχεια, η έννοια επεκτάθηκε και στην κατανόηση συνομιλίας και κειμένου, στις καταστάσεις της καθημερινής ζωής και στην κατανόηση της λειτουργίας των φυσικών συστημάτων. Αυτή η τελευταία ερευνητική κατεύθυνση αφορά σε αναπαραστάσεις της μακροπρόθεσμης μνήμης και προσπαθεί να περιγράψει τις διαδικασίες που υποστηρίζουν την κατανόηση και τους συλλογισμούς σε γνωσιολογικά πλούσια πεδία, όπως αυτά της επιστήμης. Τέλος, περιλαμβάνει μια επισκόπηση των ερευνητικών ευρημάτων αναφορικά με τη φύση των συμβόλων στα νοητικά μοντέλα και τις γνωστικές διαδικασίες που υποστηρίζουν την επεξεργασία τους.

Το δεύτερο μέρος αφορά στην επίδραση της θεωρίας των νοητικών μοντέλων στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Η θεωρία των νοητικών μοντέλων φαίνεται να προσφέρει στη διδακτική ένα θεωρητικό πλαίσιο που μπορεί να εξηγήσει διάφορα εκπαιδευτικά φαινόμενα που σχετίζονται με τις δυσκολίες που έχουν οι μαθητές στη μάθηση στις φυσικές επιστήμες και να εμπλουτίσει τόσο τις εκπαιδευτικές πρακτικές όσο και τις μαθησιακές διαδικασίες.

Το τρίτο μέρος αφορά στην επίδραση των νέων αντιλήψεων της ψυχολογίας στη φιλοσοφία της επιστήμης και ξεκινά με μια καταγραφή των αναφορών διάφορων επιστημόνων για τις νοητικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούν στις διαδικασίες σκέψης τους. Στη συνέχεια, ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στο πώς οι επιστημονικές πρακτικές και η επιτυχία τους, μπορούν να εξηγηθούν μέσα από γνωστικές διαδικασίες που βρίσκονται στο απώτερο άκρο του συνεχούς των ανθρώπινων νοητικών ικανοτήτων και που προβλέπονται από τη θεωρία των νοητικών μοντέλων. Το κεφάλαιο τελειώνει με μια κριτική ανάλυση των ιδεών φιλοσόφων που, στο πλαίσιο μιας νατουραλιστικής ανάλυσης των διαδικασιών που υποστηρίζουν τους επιστημονικούς συλλογισμούς, προτείνουν ένα επεξηγηματικό πλαίσιο για την εξήγησή τους που βασίζεται στη θεωρία των νοητικών μοντέλων. Η συζήτηση ολοκληρώνεται με μια προσπάθεια συγκερασμού των ιδεών αυτών σε ένα ενιαίο πλαίσιο.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** αφορά στην επίδραση της επιστημολογίας και της φιλοσοφίας στη διδακτική των φυσικών επιστημών. Περιλαμβάνει, πρώτον, μια επισκόπηση του ερευνητικού προγράμματος για την ένταξη της φύσης της επιστήμης στα αναλυτικά προγράμματα των φυσικών επιστημών και, δεύτερον, μια επισκόπηση των εισηγήσεων για διδακτικές προσεγγίσεις που προκύπτουν από φιλοσοφικές αναλύσεις για την επιστήμη.

Το **πέμπτο κεφάλαιο** είναι μια καταγραφή των ιδεών των μαθητών, των εκπαιδευτικών και των επιστημόνων για τα επιστημονικά μοντέλα. Στην περίπτωση των μαθητών, συζητιέται η αλληλεπίδραση αυτών των ιδεών με τη μάθηση της επιστήμης όσο και με τη μάθηση για την επιστήμη. Περιλαμβάνει επίσης τα αποτελέσματα μιας μικρής κλίμακας έρευνας για τις αντιλήψεις κυρίων μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα, που διεξάχθηκε στο πλαίσιο αυτής εργασίας.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα επιχειρήματα που στηρίζουν τη θέση που υποστηρίζεται σε αυτή την εργασία, συγκεκριμένα, την ένταξη της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Τα επιχειρήματα αυτά αντλούνται από τη φιλοσοφία και την επιστημολογία, τη γνωστική ψυχολογία και τη διδακτική, όπως αυτή εκφράζεται στην αγγλοσαξονική βιβλιογραφία.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** διατυπώνονται αρχικά οι στόχοι που αναμένεται να επιτευχθούν με την εισαγωγή της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου στη διδασκαλία. Κατόπιν, προτείνονται κάποια κριτήρια που θα πρέπει να πληροί μια φιλοσοφική ανάλυση για την επιστήμη και για τα μοντέλα ειδικότερα, για να είναι κατάλληλη για τη διδασκαλία. Στη συνέχεια, και με βάση την περιγραφή των φιλοσοφικών αναλύσεων που προηγήθηκε, αυτές οι αναλύσεις αξιολογούνται ως προς την καταλληλότητά τους για ένταξη στη διδασκαλία.

Τέλος, στο **όγδοο κεφάλαιο**, παρουσιάζεται μια διδακτική πρόταση ως παράδειγμα ενσωμάτωσης των στοιχείων από τη φιλοσοφία που σχετίζονται με τα μοντέλα και τους ρόλους τους στην επιστήμη χωρίς δραματικές αλλαγές στο περιεχόμενο και στον αναγκαίο διδακτικό χρόνο. Η διδακτική πρόταση αφορά στο μοντέλο του απλού αρμονικού ταλαντωτή η επιλογή του οποίου αιτιολογείται με βάση τα πλεονεκτήματα που έχει το συγκεκριμένο μοντέλο σε σχέση με τους στόχους της διδασκαλίας που τέθηκαν νωρίτερα και τα χαρακτηριστικά του ίδιου του μοντέλου. Κατόπιν, περιγράφεται μια πορεία διδασκαλίας με οκτώ βήματα στην οποία οι μαθητές καλούνται να ανακαλέσουν και να οργανώσουν τα μοντέλα που ήδη γνωρίζουν από τη μηχανική, να επεξεργαστούν νοερά μια κατάσταση και να εντοπίσουν σε αυτή κρυμμένες κανονικότητες, να εξαγάγουν τη μαθηματική περιγραφή της κατάστασης, δηλαδή να κατασκευάσουν ένα θεωρητικό μοντέλο μιας υποθετικής κατάστασης, να αναστοχαστούν πάνω στην ανάγκη της ύπαρξης μαθηματικής περιγραφής των μοντέλων και στην ανάγκη της ακριβούς περιγραφής των όρων και των εννοιών του μοντέλου τους μέσα από διαδικασίες *ερμηνείας*. Στη συνέχεια καλούνται να εφαρμόσουν το μοντέλο τους σε ένα υποθετικό σύστημα το οποίο θα πρέπει να περιγράψουν έτσι ώστε να ικανοποιεί τις προϋποθέσεις της θεωρίας στην οποία ανήκει

μέσω της διαδικασίας ταυτοποίησης των όρων, να συζητήσουν για τη σημασία των αφαιρέσεων και των εξιδανικεύσεων στην επιστήμη καθώς και την επίδραση του έχουν αυτές στα πειραματικά αποτελέσματα και, τέλος, να εφαρμόσουν το θεωρητικό μοντέλο σε ένα πραγματικό σύστημα του εργαστηρίου τους και να προσαρμόσουν την περιγραφή έτσι ώστε να αναπαριστά με μεγαλύτερη ακρίβεια το συγκεκριμένο σύστημα με μια σειρά απεξιδανικεύσεων. Το χαρακτηριστικό στοιχείο της πρότασης είναι ο αναστοχασμός και η σύνδεση των διαδικασιών με τα χαρακτηριστικά της επιστημονικής πρακτικής και της επιστημονικής γνώσης.

Τέλος, η πρόταση ολοκληρώνεται με κάποιες επιστημολογικές και μεθοδολογικές επισημάνσεις. Οι επιστημολογικές αφορούν στα τρία επίπεδα μάθησης που διακρίνουμε στη διαδικασία και που είναι η μάθηση για τη θεωρία, για το μοντέλο και για τον κόσμο. Οι μεθοδολογικές αφορούν στα κοινά στοιχεία που έχει η πρόταση με τη μεθοδολογία που υπάρχει στη βιβλιογραφία της διδακτικής τόσο αναφορικά με τα στάδια του κύκλου μάθησης όσο και με τα στάδια του κύκλου μοντελοποίησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Όταν μη επιστήμονες σκέφτονται για την επιστήμη ή αναφέρονται σε αυτή, έχουν στο μυαλό τους γνωστές επιστημονικές θεωρίες, όπως, τη θεωρία της μηχανικής του Νεύτωνα, τη θεωρία της σχετικότητας του Einstein, τη θεωρία της μεγάλης έκρηξης, τη θεωρία της εξέλιξης, τις διάφορες οικονομικές θεωρίες κ.ά. Έχουν δηλαδή στο μυαλό τους το τελικό προϊόν της επιστημονικής προσπάθειας, όπως αυτό εκφράζεται μέσα από τέτοια σώματα γνώσης που σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν και αντιλήψεις για τον κόσμο. Στο κέντρο όμως της σύγχρονης επιστημονικής πρακτικής δεν βρίσκονται οι θεωρίες αλλά τα επιστημονικά μοντέλα. Η καθημερινή επιστημονική πρακτική περιλαμβάνει την κατασκευή, τον έλεγχο, τη σύγκριση και την αναθεώρηση μοντέλων, κάτι που γίνεται φανερό και από το περιεχόμενο των σχετικών δημοσιεύσεων στα επιστημονικά περιοδικά. Τα μοντέλα είναι λοιπόν ένα βασικό εργαλείο της σύγχρονης επιστήμης και το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζεται και στη φιλοσοφία. Η σχετική βιβλιογραφία στη φιλοσοφία της επιστήμης διερευνά τους ποικίλους τρόπους κατασκευής και τους ρόλους τους και αναγνωρίζει έναν μεγάλο αριθμό ειδών μοντέλων: φυσικά μοντέλα σε κλίμακα, μαθηματικά μοντέλα (θεωρητικά και φαινομενολογικά), αναλογικά μοντέλα, ευρετικά μοντέλα, διδακτικά κ.ά.

Ασφαλώς, τα μαθηματικά μοντέλα, βρίσκονται στο κέντρο του ενδιαφέροντος. Κάποια από αυτά, τα θεωρητικά, κατασκευάζονται με έναν συστηματικό τρόπο και με κατωφερείς διαδικασίες από μια συγκεκριμένη θεωρία. Σε αυτές τις περιπτώσεις το φαινόμενο ή το υπό μελέτη σύστημα εντάσσεται σε μια συγκεκριμένη θεωρία που προσφέρει το θεωρητικό φορμαλισμό και ο οποίος συμπληρώνεται με κάποιες υποθέσεις “τοπικού” χαρακτήρα (Πορτίδης, 2008). Αν είναι έτσι, ποια είναι η σχέση μεταξύ μοντέλου και θεωρίας; [1] Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα σχετίζεται με το ερώτημα τι είναι θεωρία και καθορίζεται αλλά και καθορίζει την αντίληψη για τη δομή των θεωριών.

Υπάρχουν όμως και μαθηματικά μοντέλα που κατασκευάζονται με ανωφερείς διαδικασίες, δηλαδή με σημείο εκκίνησης το ίδιο το υπό μελέτη φαινόμενο, τα φαινομενολογικά. Σε αυτά οι επιστήμονες χρησιμοποιούν κάποια σχετικά εμπειρικά δεδομένα και θεωρητικό υπόβαθρο που δεν σχετίζεται άμεσα με κάποια ή με μία μόνο θεωρία. Η μέθοδος και ο σκοπός κατασκευής τέτοιων μοντέλων τα καθιστά κατά κάποιον τρόπο ανεξάρτητα από μια συγκεκριμένη θεωρία και αυτή τη ανεξαρτησία τους προσφέρει μια αυτονομία που επιτρέπει

στο μοντέλο να μεσολαβεί μεταξύ θεωρίας και φαινομένου. Ασφαλώς, και πολλά θεωρητικά μοντέλα μπορούν να έχουν αυτό το ρόλο.

Αφού τα μοντέλα κατασκευάζονται για τη μελέτη του κόσμου, ποια είναι η σχέση του μοντέλου με το αντίστοιχο τμήμα του φυσικού κόσμου; [2] Μπορούμε να περιγράψουμε ένα μοντέλο το οποίο αναφέρεται στο φυσικό κόσμο αλλά αυτή η περιγραφή έχει δύο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά. Πρώτον, μπορεί να μοιάζει ή να μη μοιάζει με το τμήμα του φυσικού κόσμου στο οποίο αναφέρεται και δεύτερον, είναι μια ερμηνευτική περιγραφή. Είναι μια αναπαράσταση του φυσικού κόσμου που επιτυγχάνεται μέσα από διαδικασίες όπως η αφαίρεση και η εξιδανίκευση. Τι είναι όμως αυτό που καθιστά το μοντέλο μια αναπαράσταση του φυσικού κόσμου; [3]

Η κατασκευή ενός μοντέλου προϋποθέτει κάποια γνώση. Η επιστημονική γνώση που σήμερα έχουμε περικλείεται στα μοντέλα και κατά την κατασκευή ενός μοντέλου υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης όλης της υπάρχουσας σχετικής γνώσης. Αφού το κατασκευάσουμε μπορούμε να το διαχειριστούμε και να μάθουμε για αυτό¹. Η κατασκευή ενός μοντέλου όμως έχει ως σκοπό την απόκτηση νέας γνώσης, όχι μόνο για το μοντέλο αλλά κυρίως για τον κόσμο. Το ερώτημα που εγείρεται είναι: Πώς μαθαίνουμε από τα μοντέλα για τον κόσμο; [4]. Σε αυτό το σημείο είναι που ο αναπαραστατικός ρόλος των μοντέλων γίνεται σημαντικός.

Προκύπτει όμως και το οντολογικό ερώτημα: Ποια είναι η φύση των μοντέλων; Ή αλλιώς: ανήκουν όλα τα μοντέλα στην ίδια οντολογική κατηγορία; [5] Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα, θα πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα είδη μοντέλων αλλά και να απαντά και στα ερωτήματα που αφορούν στον αναπαραστατικό ρόλο των μοντέλων αλλά και στο πώς μαθαίνουμε από αυτά.

Τα πιο πάνω ερωτήματα και πολλά άλλα που σχετίζονται με αυτά απασχόλησαν και απασχολούν τη φιλοσοφία της επιστήμης από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα με χρονική σειρά περίπου ίδια με αυτή που παρουσιάζονται πιο πάνω.

Οι απαντήσεις που έδωσε η φιλοσοφία της επιστήμης στα πιο πάνω ερωτήματα δεν είναι ασφαλώς μοναδικές και διατυπώνονται με διάφορες εκδοχές. Παρ' όλα αυτά υπάρχει μια σαφής χρονική εξέλιξη των ιδεών που αφορούν στα μοντέλα. Στο κέντρο του ενδιαφέροντος της φιλοσοφίας της επιστήμης στις αρχές του 20^{ου} αιώνα βρίσκονται οι θεωρίες οι οποίες

¹ Αυτό ακούγεται απλό αλλά δεν είναι. Κάθε είδος μοντέλου δίνει τη δυνατότητα για διαφορετική διαχείριση και συνεπώς διαφορετικούς τρόπους μάθησης από αυτό.

θεωρούνται ως το κύριο όχημα συγκέντρωσης και οργάνωσης της γνώσης, με τα μοντέλα να είναι πρακτικά απόντα από τις φιλοσοφικές αναλύσεις. Σταδιακά, και κάτω από το βάρος των επιτυχιών στη φυσική που απέρρεαν από τη συστηματική χρήση των μοντέλων, τα μοντέλα μετακινήθηκαν προς το κέντρο του ενδιαφέροντος. Η μετακίνηση αυτή οδήγησε, από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, σε μια αντιστροφή της προϋπάρχουσας εικόνας. Σε αυτή τα μοντέλα θεωρούνται, όχι μόνο το βασικό εργαλείο της επιστημονικής έρευνας αλλά και ο κύριος φορέας της επιστημονικής γνώσης, με τις θεωρίες να αποτελούν ένα υπόβαθρο για την οργάνωση ομάδων μοντέλων, όπου αυτό είναι δυνατόν.

Η πορεία αυτή σχετίζεται βέβαια με τις τάσεις στη φιλοσοφία της επιστήμης οι οποίες, από κανονιστικές στο πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα, γίνονται περισσότερο περιγραφικές στο δεύτερο με έμφαση στη χρήση και τις καθημερινές πρακτικές. Τέλος, τις τρεις τελευταίες δεκαετίες η γνωστική επιστήμη χρησιμοποιώντας την έννοια του μοντέλου ως νοητική αναπαράσταση έδωσε απαντήσεις σε κάποια προβλήματα που αφορούσαν στην ανθρώπινη νόηση. Σε αυτό το μεταβαλλόμενο πλαίσιο των τάσεων η Bailer-Jones (1999 σ. 24) αναγνωρίζει τρεις μετατοπίσεις ενδιαφέροντος όσον αφορά στα μοντέλα *“(1) από την περιφρόνηση στην έννοια, (2) από την κανονιστική περιγραφή στο λειτουργικό χαρακτηρισμό των μοντέλων και (3) από το ρόλο των μοντέλων στην επιστήμη στο ρόλο τους στην ανθρώπινη νόηση.”*

Πριν δούμε αυτή την πορεία των μοντέλων είναι απαραίτητη μια σύντομη αναφορά στο επιστημονικό περιβάλλον του 19^{ου} αιώνα από το οποίο απορρέουν και οι φιλοσοφικές αναλύσεις που ακολούθησαν.

2.2 Θεωρίες και μοντέλα τον 19^ο αιώνα

Η φυσική στις αρχές του 19^{ου} αιώνα κυριαρχείται από το πρότυπο της Νευτώνειας Μηχανικής και τη μαθηματοποίηση που αυτή συνεπάγεται. Η επιτυχία της Νευτώνειας Μηχανικής είχε και επίδραση στον τρόπο που οι επιστήμονες επικοινωνούσαν τις υποθέσεις τους για τις άγνωστες “οντότητες” του ηλεκτρισμού, του μαγνητισμού, της θερμότητας και του φωτός, ποιοτικές μελέτες για τις οποίες είχαν ξεκινήσει ήδη από τον 18^ο αιώνα. Για να περιγράψουν τις ιδιότητες αυτών των οντοτήτων οι επιστήμονες χρησιμοποιούσαν κάποια μηχανικά ισοδύναμα, μηχανικές αναλογίες που περιλάμβαναν στερεά, ελαστικά ή ρευστά σώματα σε επαφή και τις δυνάμεις μεταξύ τους. Τα μηχανικά αυτά μοντέλα δεν περιγράφονταν μόνο για να αναπαρασταθούν νοητικά αλλά μπορούσαν να είναι και φυσικές κατασκευές, στατικές ή κινούμενες. Τα μηχανικά μοντέλα χρησιμοποιούνταν ως

«προεκτάσεις της σκέψης» για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων (Boltzmann, 1911[1902]).

Την κυρίαρχη αυτή τάση της εποχής εξέφρασε ο W. Thomson (Lord Kelvin) σε μια από τις διαλέξεις του στη Βαλτιμόρη (όπως αναφέρεται στο Skyrme, 1994 σ. 119) λέγοντας πώς για τον ίδιο “καταλαβαίνω ένα κομμάτι της φυσικής” ισοδυναμεί με το “μπορώ να φτιάξω ένα μηχανικό μοντέλο για αυτό”. Με ένα παρόμοιο σκεπτικό, ο Maxwell στη μελέτη του για το μαγνητισμό, χρησιμοποίησε μηχανικές αναλογίες ως έναν τρόπο αναπαραγωγής των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων χωρίς να πιστεύει στην ύπαρξη τέτοιων διαδικασιών. Όπως λέει ίδιος, (1861, σ. 162) χρησιμοποιεί μηχανικές απεικονίσεις στην εξαγωγή των μαθηματικών σχέσεων μεταξύ του μαγνητισμού, των ηλεκτρικών ρευμάτων και της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης για να «βοηθήσει τη φαντασία και όχι για να εξηγήσει τα φαινόμενα». Ο Maxwell όμως προχώρησε και ένα βήμα παρακάτω. Μέσα από τη μηχανική απεικόνιση του μαγνητικού πεδίου ως ρευστού που περιέχει δύνες, εξετάζει τα μαγνητικά φαινόμενα μέσα από τη μηχανική τους εκδοχή, όχι ως εποπτικό βοήθημα αλλά για να τον βοηθήσει

να καθορί[σει] ποιες τάσεις ή κινήσεις στο μέσο είναι ικανές να παραγάγουν τα μηχανικά φαινόμενα που παρατηρούνται. Αν με την ίδια [μηχανική] υπόθεση μπορούμε να συνδέσουμε τα φαινόμενα της μαγνητικής έλξης με αυτά της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και των επαγόμενων ρευμάτων θα βρούμε μια θεωρία η οποία αν δεν είναι αληθής μπορεί να αποδειχθεί λάθος μόνο από πειράματα τα οποία θα αυξήσουν πολύ τη γνώση μας για αυτό το κομμάτι της φυσικής.

Στο μηχανικό μοντέλο του Maxwell για το μαγνητικό πεδίο η ταχύτητα περιστροφής των δυνών αναπαριστά την ένταση του μαγνητικού πεδίου και η διάταξή τους στο χώρο αποδίδει τις δυναμικές μαγνητικές γραμμές. Σφαιρίδια μεταξύ των δυνών εμπόδιζαν την πέδηση μεταξύ των δυνών και αντιστοιχούν στο ηλεκτρικό ρεύμα. Με αυτό τον τρόπο ο Maxwell κατάφερε να αναπαραστήσει ένα νέο εννοιολογικό σύστημα, αυτό του “ηλεκτρομαγνητικού πεδίου” και μέσα από συλλογισμούς κατά την κατασκευή και το χειρισμό του μοντέλου μπόρεσε να μαθηματικοποιήσει το φαινόμενο, να διατυπώσει υποθέσεις και να κάνει πειραματικές προβλέψεις (Nersessian, 2008b σ. 12), όπως ο ίδιος ανέμενε από τη χρήση της μεθόδου.

Η θεωρητική αυτή κατασκευή την οποία σήμερα θα ονομάζαμε μοντέλο, χαρακτηρίζεται από τον Maxwell ως «φυσική αναλογία» την οποία αντιλαμβάνεται «ως εκείνη τη μερική ομοιότητα μεταξύ των νόμων μιας επιστήμης και αυτών μιας άλλης η οποία κάνει κάθε μία

από αυτές να απεικονίζει την άλλη», όπως η αναπαράσταση του φωτός ως διαταραχή σε ένα ελαστικό μέσο και οι οποίες βοηθούν την παρουσίαση των μαθηματικών ιδεών σε «βολική και διαχειρίσιμη μορφή» (Maxwell, 1861). Η χρήση τέτοιων αναλογιών σε αυτό το πλαίσιο είχε κυρίως ευρετικό αλλά και ψυχολογικό ρόλο.

Είναι φανερό ότι οι επιστήμονες του 19^{ου} αιώνα δεν πίστευαν ότι τα μηχανικά μοντέλα που κατασκεύαζαν περιέγραφαν το πραγματικό φυσικό υπόβαθρο των φαινομένων. Αντίθετα, είχαν μια θετικιστική προσέγγιση στην επιστήμη. Η Hesse (1953) παραπέμπει στη ρητή αναφορά του Fourier στο *The Analytical Theory of Heat* (1878, σ. 464), όπου ο Fourier τονίζει ότι είτε κάποιος θεωρεί τη θερμότητα ως διάδοση της κίνησης είτε ως ρευστό θα πρέπει να καταλήγει στις ίδιες εξισώσεις. Άρα, αυτό που πραγματικά εξέφραζε τη θεωρία, για τον Fourier, ήταν ο μαθηματικός φορμαλισμός ο οποίος είναι δυνατόν να επαληθεύεται από περισσότερες από μια μηχανικές εκδοχές του φαινομένου αφού αυτές οι περιγραφές δεν προσθέτουν τίποτα στη μαθηματική περιγραφή του φαινομένου.

Αυτή η μηχανιστική “προτίμηση” δεν ήταν αποτέλεσμα λάθους μεταφυσικής. Οι μηχανικές αναλογίες δεν χρησιμοποιούνταν για να περιγράψουν την πραγματική φύση των πραγμάτων, αλλά μέσω αυτών οι επιστήμονες εξέφραζαν τις υποθέσεις τους στις μαθηματικές γλώσσες στις οποίες ήταν εξοικειωμένοι, δηλαδή αυτές της κλασικής μηχανικής και τις υδροδυναμικής (Hesse, 1953).

Από όσα προηγήθηκαν είναι δυνατόν να διακρίνουμε ότι το 19^ο αιώνα τα μηχανικά μοντέλα χρησιμοποιούνταν

1. για να καταστούν τα φαινόμενα πιο κατανοητά
2. για να αποφεύγονται οι εικασίες για την δράση από απόσταση και
3. για να αποφεύγονται οι εικασίες για τη φύση άγνωστων “οντοτήτων”.

Η εκτεταμένη χρήση των μηχανικών μοντέλων όμως έκανε ορατούς τους περιορισμούς της μεθόδου με την αποτυχία στην κατασκευή ενός μηχανικού μοντέλου για τον φωτοφόρο αιθέρα. Η αποτυχία αυτή κατέδειξε την ανάγκη εξεύρεσης άλλων τρόπων ερμηνείας του μαθηματικού φορμαλισμού μιας θεωρίας. Ταυτόχρονα, οι επιστήμονες άρχισαν να περιγράφουν τα φαινόμενα που σχετίζονταν με τις “οντότητες” του φωτός, του ηλεκτρισμού, του μαγνητισμού και της θερμότητας μέσω των εννοιών της ενέργειας, της ύλης, της δύναμης και της κίνησης. Έτσι, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα τα μηχανικά μοντέλα άρχισαν να εξαφανίζονται.

2.3 Τα επιστημονικά μοντέλα στη φιλοσοφία της επιστήμης του 20^{ου} αιώνα

2.3.1 Η εποχή της “περιφρόνησης”

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα η έννοια του μοντέλου στην επιστήμη είναι ακόμη ταυτισμένη με τα μηχανικά μοντέλα των οποίων όμως η χρησιμότητα και η επιστημολογική αξία έχει αρχίσει να δέχεται έντονη αμφισβήτηση. Κύριος εκφραστής αυτής της αμφισβήτησης, με την οποία κάθε έννοια του μοντέλου μπαίνει στο περιθώριο, είναι ο Duhem (1991[1914]).

Για τον θετικιστή Duhem μια φυσική θεωρία είναι «ένα σύστημα μαθηματικών προτάσεων... ο σκοπός των οποίων είναι να αναπαριστούν με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απλότητα, πληρότητα και ακρίβεια ένα σύνολο πειραματικών νόμων.» (ό.π. σ. 19). Οι προτάσεις αυτές προκύπτουν παραγωγικά από κάποιες αρχές, τις “υποθέσεις”, οι οποίες συνδέουν διάφορα μετρήσιμα μεγέθη και που σε καμία περίπτωση δεν διατυπώνονται για να εκφράσουν πραγματικές σχέσεις μεταξύ πραγματικών ιδιοτήτων των σωμάτων (ό.π. σ. 20). Η υποθετικοπαραγωγική αυτή μέθοδος υπηρετεί καλύτερα το σκοπό μιας θεωρίας που, κατά τον Duhem, είναι η ταξινόμηση των νόμων. Ο τελικός κριτής μιας φυσικής θεωρίας είναι ασφαλώς το πείραμα. Από το μεγάλο αριθμό πειραματικών νόμων που προκύπτουν από τις υποθέσεις μιας θεωρίας κάποιοι είναι ήδη γνωστοί και κάποιοι είναι πιθανοί. Οι δεύτεροι, αν αναφέρονται σε συνθήκες που μπορούν να πραγματοποιηθούν, υπόκεινται σε πειραματικό έλεγχο. Αν τα πειραματικά δεδομένα συμφωνούν με τις προβλέψεις της θεωρίας, έχουμε την ανακάλυψη ενός νέου νόμου και η πεποίθησή μας για την ορθότητα της ταξινόμησης που προκύπτει από τη θεωρία ενισχύεται και αυξάνει τις πιθανότητες η ομαδοποίηση των νόμων να είναι «φυσική», δηλαδή να αντανakλά την οντολογική τάξη (ό.π. σ. 26).

Ο Duhem ονομάζει το σύνολο των μαθηματικών προτάσεων *αναπαραστατικό* μέρος της θεωρίας διότι, λέει, είναι αυτό που αναπαριστά τα φαινόμενα. Αναγνωρίζει στις θεωρίες και ένα άλλο μέρος, το *επεξηγηματικό*. Με τον όρο *εξήγηση* εννοεί τις φυσικές υποθέσεις που στόχο έχουν να περιγράψουν την πραγματικότητα πίσω από τα φαινόμενα. Για τη διάκριση μεταξύ *αναπαράστασης* και *εξήγησης* ο Duhem χρησιμοποιεί ένα παράδειγμα από την οπτική θεωρία. Όταν στο αναπαραστατικό της μέρος η θεωρία μιλάει για ταλάντωση αναφέρεται στη μεταβολή ενός αφηρημένου μεγέθους, που είναι “μια καθαρά γεωμετρική κατασκευή”. Ο Duhem λέει ότι αυτό είναι που καθιστά “την ταλάντωση *αναπαράσταση* και όχι *εξήγηση*” (ό.π. σ. 26), δηλαδή ότι η ταλάντωση αφορά σε ένα φυσικό μέγεθος, μια αφηρημένη έννοια και όχι σε ένα αντικείμενο που φέρει αυτήν την ιδιότητα.

Τα μοντέλα ανήκουν στο επεξηγηματικό μέρος της θεωρίας αφού σκοπός της κατασκευής τους είναι, για τον Duhem, η *εξήγηση* των φαινομένων (ό.π. σ. 7). Η *εξήγηση*, υπό αυτή την έννοια, εκφράζει μια πεποίθηση για τη φύση των πραγμάτων στον κόσμο και γίνεται στο πλαίσιο κάποιας κοσμολογικής-μεταφυσικής αρχής. Τα μηχανικά μοντέλα, όπως αυτά που χρησιμοποιεί ο Kelvin, στον οποίο ο Duhem είναι ιδιαίτερα επικριτικός, δεν μπορούν να είναι ούτε *εξηγήσεις* καθώς τα συνιστώντα μέρη τους δεν προκύπτουν από αφηρημένες έννοιες επεξεργασμένες από τη μεταφυσική αλλά είναι αντικείμενα της καθημερινής ζωής, όπως τροχαλίες, νήματα και ρευστά. Τους συνδυασμούς των αντικειμένων αυτών ο αναγνώστης καλείται όχι να τους κατανοήσει με τη λογική του αλλά να τους δει με τη φαντασία του (ό.π. σ. 75). Επιπλέον, επειδή η κατασκευή τους δεν παράγεται από κάποιο φιλοσοφικό σύστημα ή τουλάχιστον δεν βρίσκεται σε συμφωνία με κάποιο, δεν περιορίζεται από καμία λογική αναγκαιότητα (ό.π. σ. 74). Αν και αναγνωρίζει ότι σε μερικές περιπτώσεις μηχανικά μοντέλα οδήγησαν σε κάποιες ανακαλύψεις, δεν δέχεται ότι αυτή μπορεί να είναι μια γενική παραδοχή που να αφορά στα μηχανικά μοντέλα για δύο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι θεωρεί τη συνεισφορά τους στον όγκο της γνώσης είναι πενιχρή σε σύγκριση με αυτόν που προέκυψε από τις αφηρημένες θεωρίες και ο δεύτερος, ότι οι διαδικασίες της ανακάλυψης δεν «υπόκεινται σε κάποια συγκεκριμένη μέθοδο» (ό.π. σ. 98) και συνεπώς δεν μπορούν να δεσμευθούν στη χρήση των μοντέλων.

Ο Duhem αμφισβητεί το κύρος των μοντέλων ακόμη και ως *εξηγήσεις* διότι αυτές αποτελούν το *επεξηγηματικό* μέρος μιας θεωρίας το οποίο δεν διαμορφώνεται από τη θεωρία αλλά προσκολλάται σε αυτή, πλήρως διαμορφωμένο, σαν «παράσιτο» (ό.π. σ. 32). Όταν ο επιστήμονας προτείνει μια *εξήγηση*, αναπόφευκτα, «φέρνει το λάθος στη θεωρία» διότι στην επιθυμία του να αδράξει την πραγματικότητα εισαγάγει στη θεωρία πράγματα για τα οποία δεν μπορεί να είναι βέβαιος. Οι φυσικές υποθέσεις στις οποίες στηρίζεται η *εξήγηση* στερούν από τη θεωρία την αυτονομία διότι την καθιστούν εξαρτώμενη από τη μεταφυσική. Ότι είναι σωστό σε μια θεωρία, λέει ο Duhem, βρίσκεται στο *αναπαραστατικό* μέρος το οποίο, εάν είναι επιτυχές, αυξάνεται και διευρύνεται με νέους νόμους ενώ το *επεξηγηματικό* απορρίπτεται και αντικαθίσταται, στο σύνολό του, από ένα νέο.

Από τα προηγούμενα προκύπτουν δύο συμπεράσματα. Το πρώτο είναι ότι ως *εξηγήσεις* ο Duhem φαίνεται να εννοεί εκείνες τις θεωρίες που εισαγάγουν στην επιστήμη υποθετικές υλικές οντότητες των οποίων η φύση και οι ιδιότητες δεν ορίζονται, ή δεν μπορούν να οριστούν με αφηρημένα φυσικά μεγέθη, τα οποία θα αποτελέσουν και τα συστατικά των προτάσεων της θεωρίας. Πιθανόν αυτή η στάση είναι αποτέλεσμα τόσο της πίστης του στις λογικές παραγωγές όσο και της διαφωνίας του με τις διάφορες εκδοχές της ατομικής θεωρίας

για τον κόσμο οι οποίες, κατά τη γνώμη του, καθιστούν τις θεωρίες δέσμιες της μεταφυσικής. Το δεύτερο είναι ότι ο Duhem δεν αρνείται ότι σε κάποιες περιπτώσεις οι εξηγήσεις, όπως και τα μηχανικά μοντέλα, μπορούν να έχουν έναν ευρετικό ρόλο, χωρίς όμως αυτό να τα καθιστά μέρος της θεωρίας.

Ο Duhem αναγνωρίζει όμως τη γονιμότητα της χρήσης των αναλογιών στην ανακάλυψη διαχωρίζοντάς τες όμως από τη χρήση των μοντέλων (ό.π. σ. 95). Και στις δύο περιπτώσεις γίνεται μία σύγκριση. Η διαφορά τους όμως έγκειται στο ότι στις αναλογίες η σύγκριση γίνεται ανάμεσα σε αφηρημένες θεωρίες ενώ στα μοντέλα γίνεται ανάμεσα στη θεωρία και ένα συγκεκριμένο αντικείμενο, το οποίο είναι δέσμιο της μεταφυσικής.

Συνοψίζοντας, για τον Duhem μια φυσική θεωρία είναι μια ταξινόμηση των πειραματικών νόμων, απελευθερωμένη από τη μεταφυσική, που διαμορφώνεται με την υποθετικο-παραγωγική μέθοδο, η οποία εξασφαλίζει τη λογική εγκυρότητα των συλλογισμών. Η αξιωματοποίηση της θεωρίας που συνεπάγεται η μέθοδος προϋποθέτει ότι η θεωρία είναι ολοκληρωμένη αφού τα αξιώματα της θεωρίας τίθενται εξ' αρχής. Σε μια τέτοια εικόνα τα μοντέλα μπορεί να είναι μέρος της εξέλιξης της θεωρίας αλλά όχι και της διατύπωσής της. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα μοντέλα, δηλαδή η επιστημονική γνώση, ενσωματώνονται στη θεωρία καθιστώντας την παρουσία τους στη θεωρία περιττή.

2.3.1.1 Η συντακτική ανάλυση των θεωριών

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα η φιλοσοφία της επιστήμης καλείται να εκφράσει τέσσερα στοιχεία που κυριαρχούν στο επιστημονικό πεδίο. Από την επιστημονική πρακτική το αδιαμφισβήτητο γεγονός της αποτελεσματικότητας και γονιμότητας της μαθηματοποίησης της φυσικής και από τη φιλοσοφία (α) την προσπάθεια εξοστρακισμού της μεταφυσικής από τις θεωρίες, (β) την πεποίθηση ότι όλη η γνώση βρίσκεται ενθυλακωμένη στις θεωρίες και (γ) την απαίτηση οι θεωρίες να διαμορφώνονται ως υποθετικοπαραγωγικά συστήματα. Η πορεία της φιλοσοφίας θα σηματοδευτεί όμως από τις εξελίξεις στο πεδίο των μαθηματικών. Η πρώτη είναι η αξιωματοποίηση της γεωμετρίας από τον Hilbert, το 1899, η οποία δημιούργησε ένα πρότυπο για τις μαθηματικές θεωρίες και η πρότασή του για μια προσπάθεια αξιωματοποίησης των φυσικών θεωριών στις οποίες τα μαθηματικά έχουν σημαντικό ρόλο (1900)². Η δεύτερη είναι η έκδοση (από το 1910 έως το 1913) του *Principia Mathematica* από τους Whitehead και Russell. Αυτό ήταν μια

² Η εισήγηση του Hilbert για την αξιωματοποίηση της φυσικής ήταν το έκτο από εικοσιτρία εξαιρετικά δύσκολα αλλά ως τότε άλματα, προβλήματα των μαθηματικών.

προσπάθεια διατύπωσης ενός συνόλου αξιωμάτων και συναγωγικών κανόνων στη συμβολική λογική από τους οποίους θα μπορούσαν να αποδειχθούν όλα τα μαθηματικά. Η απάντηση της φιλοσοφίας της επιστήμης στην πρόκληση του Hilbert εκφράστηκε με το κίνημα του Λογικού Θετικισμού/Εμπειρισμού που αποτέλεσε το κυρίαρχο φιλοσοφικό ρεύμα στο πρώτο μισό του 20^{ου} αιώνα. Το όνομα περιγράφει και τις βασικές θέσεις του κινήματος. Επιστημολογικά είναι θετικιστικό/εμπειριστικό διότι προσδιορίζει ως έγκυρη τη γνώση που προκύπτει από τη μαθηματική επεξεργασία των αναφορών της αισθητηριακής εμπειρίας και μεθοδολογικά είναι λογικό διότι οι μέθοδοί του είναι εμπνευσμένες από το *Principia Mathematica*³.

Το όλο εγχείρημα των λογικών θετικιστών δεν είχε περιγραφικό αλλά κανονιστικό χαρακτήρα και αποσκοπούσε στην ορθολογική ανασυγκρότηση της επιστήμης. «Σκοπός τους ήταν να προφέρουν στην επιστήμη «λογικά» και «επιστημολογικά» θεμέλια. Ο πρωταρχικός τους στόχος ήταν να δικαιώσουν ή να νομιμοποιήσουν την επιστήμη, όχι να περιγράψουν πώς δουλεύει» (Giere, 1990 σ. 23, η έμφαση στο πρωτότυπο). Οι λογικοί θετικιστές εστίαζαν στην ανάλυση της επιστημονικής γνώσης αλλά η επιστημολογία τους, όπως και αυτή του Duhem, ήταν έντονα “θεωριοκεντρική” καθώς στηριζόταν στην υπόθεση ότι όλη η επιστημονική γνώση είναι ενθυλακωμένη στις επιστημονικές θεωρίες (Giere, 1999 σ. 33). Το πρότυπο της ορθολογικής ανασυγκρότησης μιας εμπειρικής θεωρίας που διατύπωσαν είναι αυτό που σήμερα ονομάζουμε *αποδεκτή θεώρηση* (received view). Σύμφωνα με αυτή, οι θεωρίες έπρεπε να ανασυγκροτούνται ως αξιωματικά συστήματα διατυπωμένα όμως στη γλώσσα της κατηγορηματικής λογικής. Η έμφαση των λογικών θετικιστών στη μαθηματική λογική και στο συντακτικό της γλώσσας εξασφάλιζε ότι θέματα σχετικά με την ερμηνεία και την επικύρωση θα διαπραγματεύονταν ως προβλήματα εφαρμοσμένης λογικής (Losee, 1980, σ. 244). Στην έμφαση αυτή των λογικών θετικιστών στη γλώσσα οφείλεται και ο χαρακτηρισμός της θεωρίας ως *συντακτική ανάλυση* (στο εξής ΣΥΑ) των επιστημονικών θεωριών.

³ Ο Λογικός Θετικισμός και ο Λογικός Εμπειρισμός ήταν δύο εμπειριστικά φιλοσοφικά ρεύματα των αρχών του 20^{ου} αιώνα. Και τα δύο έδιναν έμφαση στη μοντέρνα λογική και στην απόρριψη της μεταφυσικής από τις φυσικές θεωρίες. Στην πορεία έγιναν εμφανείς κάποιες φιλοσοφικές τους διαφορές. Ο Λογικός Θετικισμός μέχρι τα μέσα του αιώνα είχε χάσει έδαφος και πολλοί εξέχοντες θετικιστές προσχώρησαν στο Λογικό Εμπειρισμό. Στη συνέχεια δεν θα τα διακρίνουμε διότι μια τέτοια διάκριση δεν είναι απαραίτητη για τη συζήτηση.

Σε αντίθεση με τις μαθηματικές θεωρίες, σε μια εμπειρική θεωρία υπάρχουν πολύ περισσότερα στοιχεία από αυτά που μπορούν να αποδοθούν με μαθηματικές δομές. Αυτό αποτελούσε ίσως και το βασικό πρόβλημα των Λογικών Θετικιστών, συγκεκριμένα, τη φιλοσοφική κατανόηση του πώς οι εμπειρικές επιστήμες καταφέρνουν να συνδυάζουν με επιτυχία δύο διαφορετικές συνιστώσες, τη θεωρητική και την εμπειρική (Mormann, 2008, σ. 142). Το πώς αυτό γινόταν δυνατό θα καθόριζε και τη δομή των επιστημονικών θεωριών. Από αυτή τη δομή θα εξαρτιόταν και η έννοια του επιστημονικού μοντέλου καθώς και η θέση του στο οικοδόμημα της γνώσης.

2.3.1.2 Η δομή των θεωριών στη συντακτική ανάλυση

Η δομή μιας εμπειρικής θεωρίας στη ΣΥΑ περιγράφεται από τη δομή της γλώσσας στην οποία είναι διατυπωμένη η θεωρία, που έπρεπε να είναι η κατηγορηματική λογική. Η γλώσσα αυτή, L , πέρα από τους λογικούς όρους, στους οποίους περιλαμβάνονται και οι μαθηματικοί όροι, έχει δύο συνιστώσες, δύο διακριτά λεξιλόγια. Ένα θεωρητικό λεξιλόγιο, L_T , στο οποίο είναι διατυπωμένα τα αξιώματα, τα θεωρήματα και οι νόμοι της θεωρίας και ένα παρατηρησιακό λεξιλόγιο, L_o , στο οποίο διατυπώνονται οι προτάσεις της εμπειρίας. Οι προτάσεις που εκφράζουν τα αξιώματα, τα θεωρήματα και τους νόμους είναι *θεωρητικές προτάσεις*, T_s , ενώ οι προτάσεις της εμπειρίας είναι οι *παρατηρησιακές προτάσεις*, O_s . Καθώς, σε αντίθεση με τις μαθηματικές θεωρίες, τα αξιωματικά συστήματα της φυσικής “δεν μπορεί να είναι εντελώς απομονωμένα από τον κόσμο” (Carnap, 1966 σ. 237) χρειάζεται μια σύνδεση των θεωρητικών προτάσεων με τα φαινόμενα. Η σύνδεση επιτυγχάνεται με τους *κανόνες αντιστοίχισης*, C_s , οι οποίοι είναι προτάσεις που περιλαμβάνουν θεωρητικούς και παρατηρησιακούς όρους. Οι κανόνες αυτοί παρέχουν στη θεωρητική σύνταξη μια ερμηνεία και μια εφαρμογή, δηλαδή αποδίδουν νόημα στους θεωρητικούς όρους της θεωρίας με στοιχεία της εμπειρίας, έτσι ώστε οι θεωρητικοί όροι να έχουν εμπειρική βάση. Επίσης, εξασφαλίζουν ότι οι θεωρητικοί όροι διακρίνονται από τους, κενούς νοήματος, μεταφυσικούς όρους. Η αρχική αντίληψη για την ερμηνεία ήταν ότι έπρεπε να είναι πλήρης. Αργότερα έγινε φανερό ότι οι θεωρητικοί όροι ήταν δυνατόν να έχουν περιεχόμενο που δεν αποτυπώνεται στην υπάρχουσα εμπειρία, ότι δηλαδή έχουν ένα *πλεόνασμα νοήματος* (surplus meaning) και θεωρήθηκε ότι η ερμηνεία ήταν μόνο μερική. Η φυσική θεωρία συνίσταται στη σύζευξη των T_s και C_s , TC .

2.3.1.3 Η έννοια του μοντέλου στη συντακτική ανάλυση

Όπως έγινε φανερό, η ορθολογική ανασυγκρότηση ήταν ένα κριτήριο για την επιστημολογική εγκυρότητα των θεωριών και αφορούσε σε ολοκληρωμένες θεωρίες. Η ΣΥΑ παρείχε τους κανόνες για τον έλεγχο μιας θεωρίας μέσα από τη μελέτη της λογικής της δομής. Αυτό ο Reichenbach (1938, σ. 5) το ονόμαζε το *πλαίσιο της δικαιολόγησης* και, κατά τη γνώμη του, ήταν αυτό που έπρεπε να απασχολεί τη Φιλοσοφία της Επιστήμης, αντιδιαστέλλοντάς το με αυτό που ονόμαζε *πλαίσιο της ανακάλυψης*. Το *πλαίσιο της ανακάλυψης* είναι η πορεία διαμόρφωσης της θεωρίας η οποία αφορούσε στις διαδικασίες σκέψης της επιστημονικής διάνοιας οι οποίες ανήκουν στο πεδίο έρευνας της ψυχολογίας καθώς δεν είναι δυνατόν να περιγραφούν με αυστηρούς λογικούς συλλογισμούς. Πιθανόν, ο Reichenbach να ενέτασσε τη χρήση των μοντέλων σε αυτό το πλαίσιο και συνεπώς εκτός του πεδίου της φιλοσοφικής ανάλυσης των θεωριών. Η έννοια του μοντέλου υπάρχει στη ΣΥΑ και είναι αυτή που προβλέπεται στη σημασιολογική ανάλυση των γλωσσών της κατηγορηματικής λογικής στην οποία θα μπορούσαν ανασυγκροτούνται οι φυσικές θεωρίες. Από ένα σύνολο αναφοράς ορίζουμε τις τιμές που παίρνουν οι μεταβλητές, τα κατηγορήματα και τις σταθερές της γλώσσας στην οποία είναι διατυπωμένη η θεωρία, έτσι ώστε να μπορούμε να αποτιμήσουμε τις προτάσεις, δηλαδή να τους δώσουμε αληθοτιμές. Με αυτό τον τρόπο έχουμε μια *ερμηνεία*, \mathfrak{I} , της γλώσσας και των προτάσεών της. Μοντέλο είναι η ερμηνεία εκείνη η οποία *ικανοποιεί* τις προτάσεις της γλώσσας, δηλαδή τις καθιστά αληθείς.

Μια τέτοια θεωρία μπορεί να έχει έναν πολύ μεγάλο αριθμό μοντέλων που αντιστοιχούν σε ένα σύνολο κόσμων που είναι συμβατοί με τη σημασιολογική ερμηνεία που δίνεται στη θεωρία. Μια φυσική θεωρία όμως πρέπει να είναι και εμπειρικά αληθής, δηλαδή ο πραγματικός κόσμος ή μέρος αυτού να ανήκει στην τάξη των μοντέλων της. Το τεχνικό πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι υπάρχει και ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων της θεωρίας που όχι μόνο δεν αφορούν στον κόσμο αλλά και που πιθανόν, κάποια από αυτά, να αποτελούν αντιπαραδείγματα σε αυτά που ενδιαφέρουν το πεδίο εφαρμογής της θεωρίας. Αυτό σύμφωνα με τον Suppe (2000 σ. S104) είναι μια ένδειξη ότι η συμβολική λογική δεν είναι ο κατάλληλος φορμαλισμός για τις επιστημονικές θεωρίες. Το πρόβλημα της επιλογής μόνο εκείνων των μοντέλων που αφορούν στο πεδίο εφαρμογής της θεωρίας έλυσε αργότερα η σημασιολογική ανάλυση των θεωριών.

Ποιες είναι οι απαντήσεις που έδωσε ο Λογικός Θετικισμός στις πέντε ερωτήσεις που διατυπώθηκαν στην αρχή;

Η έννοια του μοντέλου στη ΣΥΑ, όπως περιγράφηκε πιο πάνω, προκύπτει ως συνέπεια της μεθόδου της ανασυγκρότησης των θεωριών. Οι θεωρίες ανασυγκροτούνται ως οικογένειες προτάσεων ανάγοντας την επιστημονική σκέψη σε μια «γλωσσική δραστηριότητα που σκοπό έχει την περιγραφή αυτού που μελετούμε» (Frigg, 2003 σ. 8, η έμφαση δική μου). Σε αυτή τη γλωσσική δραστηριότητα μοντέλο είναι μια δομή που ικανοποιεί ένα υποσύνολο των προτάσεων του τυπικού φορμαλισμού της θεωρίας. Υπό αυτή την έννοια το μοντέλο είναι μια θεωρητική μελέτη, δευτερευούσης σημασίας, που βοηθάει στην κατανόηση αυτού του τυπικού φορμαλισμού. Είναι κατά κάποιον τρόπο «μια αναπαράσταση του τυπικού φορμαλισμού» και όχι του κόσμου (Portides, 2008 σ. 386). Οι Λογικοί Θετικιστές, σε τελική ανάλυση, αρνούνται από τα μοντέλα τον, ολοφάνερα, αναπαραστατικό τους ρόλο. Αλλά και παρά την τεχνική σχέση των μοντέλων με τη θεωρία ο Carnap (1938, σ. 210), θεωρεί ότι «η ανακάλυψη ενός μοντέλου δεν είναι βασική για την επιτυχή εφαρμογή της θεωρίας» και η αξία του «μπορεί να είναι μόνο αισθητική ή διδακτική ή στην καλύτερη περίπτωση ευρετική».

2.3.1.4 Κριτική στη συντακτική ανάλυση των θεωριών

Η ΣΥΑ δέχθηκε κριτική σε όλους σχεδόν τους ισχυρισμούς της με πρώτη την επιλογή της κατηγορηματικής λογικής για τη γλωσσική διατύπωση των θεωριών. Η συγκεκριμένη επιλογή είχε διάφορες ανεπιθύμητες συνέπειες. Κατ' αρχάς οι πρωτοβάθμιες γλώσσες είναι σχετικά περιορισμένες και ανελαστικές για το πολύπλοκο επεξηγηματικό και αναπαραστατικό έργο μιας φυσικής θεωρίας (Whither, 2015). Επίσης, όταν οι θεωρίες χαρακτηρίζονται συντακτικά δεν υπάρχει τρόπος διάκρισης των επιδιωκόμενων μοντέλων της θεωρίας, δηλαδή αυτών που περιγράφουν τον κόσμο από όλα τα δυνατά μοντέλα που ικανοποιούν τις προτάσεις του φορμαλισμού (Suppe, 2000). Τέλος, το κριτήριο της γλωσσικής διατύπωσης δεν διακρίνει σωστά τις θεωρίες μεταξύ τους καθώς αλλαγές στα γλωσσικά τους χαρακτηριστικά ή αλλαγές στο φορμαλισμό του συστήματος των αξιωμάτων τους δημιουργούν μια νέα γλωσσική οντότητα, δηλαδή μια νέα θεωρία. Το ίδιο πρόβλημα δημιουργούν και οι κανόνες αντιστοιχίσης. Επειδή οι κανόνες αυτοί θεωρούνται μέρος της θεωρίας η εισαγωγή ενός νέου κανόνα π.χ. μιας νέας πειραματικής μεθόδου για τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους, θα δημιουργούσε μια νέα θεωρία. Προϋποθέτουν όμως και τη διάκριση μεταξύ θεωρητικών και παρατηρησιακών όρων αφού είναι απαραίτητοι για την ερμηνεία των θεωρητικών όρων με παρατηρησιακά κριτήρια. Αυτή η διάκριση, δεν φαίνεται να είναι εφικτή ενώ κατά τον Whither (ό.π.) είναι λάθος διότι, με όρους γλώσσας, παρατηρήσιμες είναι οι οντότητες και όχι οι έννοιες. Η έννοια της παρατήρησης ήταν θεμελιώδης για το λογικό θετικισμό διότι εξασφάλιζε το εμπειρικό υπόβαθρο για τη θεωρία.

Αυτό προβληματίζει τους λογικούς θετικιστές καθώς προϋπέθετε ότι υπάρχει αντικειμενική παρατήρηση στην οποία στηριζόταν και η επικύρωση της θεωρίας. Η τελική αμφισβήτηση αυτής της προϋπόθεσης ήλθε από τη θέση του Hanson (1958) για τον *εμποτισμό της παρατήρησης από τη θεωρία* (theory ladenness of observation) η οποία αποτέλεσε ένα ακόμη πλήγμα για το λογικό θετικισμό.

2.3.2 Η εποχή της «εύνοιας»

Με την αποδυνάμωση του Λογικού Θετικισμού η προσπάθεια μετακίνησης της φιλοσοφίας πλησιέστερα στην επιστημονική πρακτική, στην οποία τα μοντέλα έχουν κυρίαρχο ρόλο, εκφράστηκε από δύο ρεύματα. Το ένα εκφράζει μια ακόμα προσπάθεια τυπικής περιγραφής της δομής των θεωριών η οποία στηρίζεται όχι στη συντακτική αλλά στη σημασιολογική ανάλυση των θεωριών (στο εξής ΣΗΑ) και παρουσιάστηκε ως απάντηση στο λογικό θετικισμό. Στη νέα αυτή προσέγγιση των θεωριών η προηγούμενη εικόνα της συντακτικής ανάλυσης αντιστρέφεται πλήρως. Ο τυπικός φορμαλισμός είναι τώρα περιττός και οι θεωρίες περιγράφονται από τις οικογένειες των μοντέλων τους. Το άλλο ρεύμα εκφράζει μια πραγματιστική στροφή με έμφαση στη χρήση και στο ρόλο των μοντέλων στην επιστημονική πρακτική αν και η λειτουργική αυτή προσέγγιση παρουσιάζει περισσότερες δυσκολίες στη συστηματοποίησή της.

2.3.3 Τα μοντέλα στο κέντρο του επιστημονικού ενδιαφέροντος

Οι πρώτες έμμεσες κριτικές στο λογικό θετικισμό για το ρόλο που απέδιδε στα μοντέλα εκφράστηκαν στα μέσα του 20^{ου} αιώνα από μια σειρά φιλοσοφικών δημοσιεύσεων που είχαν ως θέμα το ρόλο των μοντέλων στις διαδικασίες της επιστήμης. Σε μια από αυτές ο Hutten (1954) επισήμανε την απόσταση ανάμεσα στη μεθοδολογία που περιγράφουν οι φιλόσοφοι και αυτή που ακολουθούν οι επιστήμονες. Ακόμα και εντός της συντακτικής ανάλυσης ο Braithwaite (1954) βλέπει τη χρησιμότητα των μοντέλων ως προσωρινές ή υποθετικές ερμηνείες του φορμαλισμού που, επειδή διατηρούν τη δομή της θεωρίας, βοηθούν στην κατανόηση της δομής της θεωρίας. Τα μοντέλα είναι το στοιχείο που γεφυρώνει την αντίφαση ανάμεσα στις κατωφερείς λογικές διαδικασίες των παραγωγών και στις ανωφερείς διαδικασίες της συγκρότησης μιας φυσικής θεωρίας.

Οι περισσότεροι από αυτούς τους φιλοσόφους όμως προσεγγίζουν τα μοντέλα εκτός του πλαισίου της συντακτικής ανάλυσης και ασχολούνται με την κατασκευή και το ρόλο των μοντέλων στην κατασκευή μιας θεωρίας και στη σχέση της με το πείραμα (Hesse, 1953· Hutten, 1954· Achinstein, 1965). Κάποιες από τις ιδέες που διατυπώνονται εκείνη την περίοδο είναι: τα μοντέλα κατασκευάζονται από οικείες φυσικές καταστάσεις για να

περιγράψουν άγνωστες καταστάσεις με τις οποίες βρίσκονται αντιμέτωποι οι επιστήμονες, τα μοντέλα δεν είναι ακριβείς περιγραφές της φύσης, διότι στο μοντέλο «υπάρχει κάποιο στοιχείο που είναι διαφορετικό ή που λείπει σε σύγκριση με αυτό για το οποίο είναι μοντέλο» (Hutten, 1954), τα μοντέλα προτείνονται ως *υποθέσεις* (Hesse, 1953, Achinstein, 1965), οι υποθέσεις αυτές περιγράφουν ένα μηχανισμό που εξηγεί πώς συμβαίνει κάτι (Hutten, 1954) ή αποδίδει σε ένα σύστημα μια εσωτερική δομή ή σύσταση που εξηγεί τις ιδιότητες του συστήματος (Achinstein, 1965). Σε μια στροφή προς το ρεαλισμό, ο Harré (1961) λέει ότι αν ο μηχανισμός που περιγράφει το μοντέλο είναι λογικά πιθανόν να είναι ο πραγματικός μηχανισμός της φύσης τότε το μοντέλο μπορεί να είναι «υποψήφιο για την πραγματικότητα» και ένας ή περισσότεροι μηχανισμοί μπορεί να προταθούν σε κάθε περίπτωση. Προϋπόθεση για να είναι ένα μοντέλο «υποψήφιο για την πραγματικότητα» είναι η ύπαρξη των κατάλληλων πειραματικών τεχνικών για την ανίχνευση του μηχανισμού που προβλέπει το μοντέλο. Στην έλλειψη πειραματικών τεχνικών τα μοντέλα καλύπτουν το κενό μεταξύ της πραγματικότητας και του πειράματος, δηλαδή αυτών που μπορούμε να γνωρίζουμε για την πραγματικότητα. Για τον Harré η χρήση των μοντέλων και η πειραματική επικύρωση ή απόρριψη κάποιων από αυτά είναι χαρακτηριστικό μιας *προηγμένης επιστήμης* (η έμφαση στο πρωτότυπο).

Ο Hutten (1954), από την άλλη, τοποθετεί τα μοντέλα μεταξύ θεωρίας και πειράματος εξασφαλίζοντας μια αμφίδρομη σχέση μεταξύ των δύο. Τα μοντέλα περιέχουν μια σειρά εξηγήσεων που συνδέουν τις καταστάσεις που περιγράφουν οι θεωρίες και που δεν συναντούμε στην καθημερινή ζωή, με την πραγματικότητα, που για τον επιστήμονα είναι το πείραμα. Αυτές οι εξηγήσεις είναι δυνατές διότι το μοντέλο προκαθορίζει το πλαίσιο στο οποίο θα χρησιμοποιούνται οι προτάσεις και προσδιορίζει το νόημά τους. Από το μοντέλο προκύπτουν υποθέσεις, δηλαδή «ειδικές προτάσεις με περιορισμένο εύρος που αφορούν σε αυτά που συμβαίνουν στο εργαστήριο» δημιουργώντας έτσι την εμπειρική βάση της επιστήμης. Ταυτόχρονα όμως, όπως και οι μεταφορές στη φυσική γλώσσα, τα μοντέλα επεκτείνουν το λεξιλόγιο της θεωρίας και δίνουν στον επιστήμονα τη δυνατότητα να επινοήσει νέες, πιο αφηρημένες έννοιες χτίζοντας έτσι μια ανώτερη θεωρία.

Ο Hutten (ό. π) και η Hesse (1953) συμφωνούν στο ότι οι επιστήμονες κατασκευάζουν τα μοντέλα ως υποκατάστατα του φυσικού κόσμου και τα μελετούν στη θέση του. Ο ρόλος των μοντέλων, υπό αυτές τις προϋποθέσεις είναι τέτοιος ώστε ένα μοντέλο να μην μπορεί να χαρακτηριστεί ως αληθές ή ψευδές, όπως θα συνέβαινε με ένα σύνολο προτάσεων. Ένα μοντέλο υπό αυτή την έννοια μπορεί μόνο να είναι κατάλληλο ή ακατάλληλο για να εκπληρώσει το ρόλο του. Κατά τον Achinstein (1965) ο ρόλος τους είναι «να παρέχουν μια

χρήσιμη αναπαράσταση του συστήματος» όπου ως αναπαράσταση φαίνεται να εννοεί μια προσέγγιση των συνθηκών που υπάρχουν στο σύστημα οι οποίες όμως στην πραγματικότητα «πολύ πιθανόν να είναι πιο πολύπλοκες». Αυτή η αντίληψη είναι ένα πρώτο βήμα στην περιγραφή των μοντέλων ως αναπαραστάσεις που κυριάρχησε αργότερα.

Όσον αφορά στην κυρίαρχη αντίληψη της εποχής ότι τα μοντέλα είναι ερμηνείες του μαθηματικού φορμαλισμού της θεωρίας, ο Achinstein θεωρεί ότι το να είναι κάτι ερμηνεία ενός μαθηματικού φορμαλισμού δεν είναι αναγκαία συνθήκη για να είναι, αυτό που ο ίδιος ονομάζει *θεωρητικό μοντέλο*. Ο ρόλος των μοντέλων είναι να περιγράφουν ένα σύστημα και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούν όρους που είναι ήδη ερμηνευμένοι. Δεν τη θεωρεί όμως ούτε ικανή αφού αναγνωρίζει την ύπαρξη μοντέλων που δεν είναι ερμηνείες κάποιας συγκεκριμένης θεωρίας. Η Hesse από την άλλη υποστηρίζει ότι ένας μαθηματικός φορμαλισμός μπορεί είναι μοντέλο ακόμη και χωρίς ερμηνεία. Κατά τη Hesse, τα μοντέλα, τα οποία μπορούμε να φανταστούμε φυσικά και ένας μαθηματικός φορμαλισμός έχουν δύο κοινά χαρακτηριστικά. *Τυπικούς κανόνες για τη διαχείρισή τους και δείκτες*, δηλαδή στοιχεία που οδηγούν στην επέκτασή τους. Επειδή ένας μαθηματικός φορμαλισμός δεν είναι ένα απομονωμένο σύστημα εξισώσεων αλλά ένα αναγνωρίσιμο κομμάτι μιας ολόκληρης δομής αφηρημένων μαθηματικών έχει στοιχεία τα οποία με μαθηματική επεξεργασία μπορούν να οδηγήσουν στην επέκτασή του. Αυτό ήταν το πρώτο βήμα προς μια ευρύτερη χρήση της έννοιας του μοντέλου αλλά και προς την «απελευθέρωση των μαθηματικών και των μαθηματικοποιημένων επιστημονικών θεωριών από τις γλώσσες που καθορίζονται συντακτικά αφού είναι δυνατόν να ερευνούμε άμεσα τα μαθηματικά αντικείμενα και τις μαθηματικές σχέσεις μιας επιστημονικής θεωρίας» (Winther, 2015).

Αυτό το αυτόνομο ενδιαφέρον για τα μοντέλα ατόνησε προσωρινά με την άνοδο της σημασιολογικής ανάλυσης είτε διότι πολλές από τις ιδέες που περιλάμβανε ενσωματώθηκαν σε αυτή είτε με την προσδοκία ότι η σημασιολογική ανάλυση θα απαντούσε στα ερωτήματα που αφορούσαν στα μοντέλα. Στοιχεία από αυτές τις αναλύσεις εμφανίστηκαν ξανά σε πιο επεξεργασμένη μορφή στην κριτική που ασκήθηκε στη σημασιολογική ανάλυση των θεωριών.

2.3.3.1 Η σημασιολογική ανάλυση των θεωριών

2.3.3.1.1 Η δομή της θεωρίας και τα μοντέλα

Η σημασιολογική ανάλυση των θεωριών προτάθηκε ως εναλλακτική της ΣΥΑ για πρώτη φορά από τον Suppes (1957, σ. 59) καθώς οι φιλόσοφοι στράφηκαν πάλι στα διαθέσιμα μαθηματικά εργαλεία, στην προκειμένη περίπτωση, τη θεωρία των μοντέλων. Στη ΣΗΑ μια θεωρία δεν είναι γλωσσική οντότητα αλλά μια οικογένεια μοντέλων, ένα σύστημα που ικανοποιεί τους νόμους που συνδέονται με τη θεωρία. Με αυτή την προσέγγιση η φιλοσοφική ανάλυση των θεωριών πλησιάζει την επιστημονική πρακτική στην οποία κυρίαρχο ρόλο έχουν τα μοντέλα και απελευθερώνει τις θεωρίες από τη δέσμευση της γλωσσικής τους διατύπωσης και τα τεχνικά προβλήματα που αυτή συνεπάγεται. Ως μη-γλωσσική οντότητα μια επιστημονική θεωρία μπορεί να εκφραστεί σε διάφορες γλώσσες, φυσικές ή τεχνικές, όπως στην περίπτωση της κλασικής μηχανικής η οποία μπορεί να εκφραστεί με Λαγκραζιανό ή Χαμιλτονιανό φορμαλισμό, και να παραμένει η ίδια θεωρία. Η ανάλυση είναι σημασιολογική καθώς «ορίζει ως θεωρίες αυτά στα οποία αναφέρονται οι φορμαλισμοί όταν σε αυτούς δοθεί μια (τυπική) σημασιολογική ερμηνεία» (Suppe, 1989 σ. 4, η έμφαση στο πρωτότυπο). Ανάμεσα στους υποστηρικτές των σημασιολογικών αναλύσεων υπάρχει διαφωνία ως προς τι είναι τα μοντέλα. Σε μια ομάδα αναλύσεων, τις συνολοθεωρητικές (στο εξής ΣΘΑ) ο πυρήνας μιας θεωρίας είναι μια μαθηματική δομή. Ανάλογα με την εκδοχή της ΣΘΑ ανάλυσης η θεωρία ταυτίζεται με διαφορετική δομή: συνολοθεωρητικά κατηγορήματα (set-theoretic predicates) (Suppes, 1957), χώρους καταστάσεων (state spaces) (van Fraassen, 1970, 1980), χώρους φάσεων (phase spaces) (Suppe, 1977, 1989). Οι δομές αυτές ορίζονται χρησιμοποιώντας τις έννοιες της θεωρίας και καθορίζουν τις αποδεκτές συμπεριφορές ενός συστήματος (Suppe, 1989 σ. 4). Για παράδειγμα, στην ανάλυση του Suppes (1957, σ. 294), η κλασική μηχανική ορίζεται συνολοθεωρητικά ως εξής:

Ένα σύστημα $\beta = \langle P, T, s, m, f, g \rangle$ είναι ένα σύστημα της κλασικής μηχανικής αν και μόνο αν ικανοποιούνται τα ακόλουθα αξιώματα...

όπου: P τα σωμάτια, T οι τιμές του χρόνου, s η θέση, m οι τιμές της μάζας, f και g οι τιμές των εσωτερικών και εξωτερικών δυνάμεων αντίστοιχα. Τα αξιώματα ορίζουν, συνολοθεωρητικά, τις τιμές των μεγεθών και τις σχέσεις μεταξύ τους, όπως αυτές προβλέπονται από τους νόμους του Νεύτωνα. Ο Suppes περιγράφει τη διαδικασία ως αξιωματοποίηση της θεωρίας, όμως τα «αξιώματα δεν αποτελούν ένα σύνολο προτάσεων από τις οποίες θα μπορούσε παραγωγικά να αποδοθεί όλο το περιεχόμενο ή η λογική δομή της [θεωρίας]... είναι απλώς συνιστώσες για το χαρακτηρισμό μιας τάξης μαθηματικών

δομών.» (Thomson-Jones, 1997)⁴. Αν σκεφτούμε την τάξη των αντικειμένων τα οποία ικανοποιούν το πιο πάνω κατηγορημα έχουμε την τάξη των μοντέλων της κλασικής μηχανικής. Αν θεωρήσουμε ως σύνολο σωμάτων τα σώματα του πλανητικού μας συστήματος έχουμε το μοντέλο για αυτό το φυσικό σύστημα. Ο στόχος είναι να διαμορφωθεί μια τάξη μαθηματικών δομών, τα μοντέλα της θεωρίας, τα οποία μπορούν επαρκώς να αναπαραστήσουν πραγματικά ή πιθανά συστήματα σωμάτων καθώς αυτά κινούνται υπό την επίδραση διάφορων δυνάμεων.

Ο van Fraassen περιγράφει τις τάξεις των μοντέλων από *χώρους καταστάσεων* (state spaces). Στην απλούστερη περίπτωση, αυτή του ενός σωματιδίου, το φυσικό σύστημα μπορεί να βρίσκεται σε κάποιες *καταστάσεις* οι οποίες χαρακτηρίζονται από τις τρεις συνιστώσες της θέσης και τις τρεις συνιστώσες της ορμής. Οι ταυτόχρονες τιμές αυτών των μεταβλητών αυτών ορίζουν την *κατάσταση* του συστήματος και οι νόμοι της θεωρίας καθορίζουν τα αποδεκτά μοτίβα στις αλλαγές καταστάσεων με το χρόνο. Αυτά εμφανίζονται ως τροχιές στο χώρο καταστάσεων. Κάθε συστάδα μοντέλων έχει ένα πεδίο αντικειμένων και μια συνάρτηση της “ιστορίας” της που αποδίδει σε κάθε αντικείμενο μια τροχιά σε αυτό το χώρο. Κάθε θεωρία μπορεί να έχει πολλές συστάδες μοντέλων κάθε μια με το δικό της *χώρο καταστάσεων*.

Ο Suppe (1989) ονομάζει το χώρο αυτό *χώρο φάσεων* (phase space) και περιγράφει τη δομή των αλλαγών κατάστασης ως ένα σύστημα σχέσεων στο οποίο επιβάλλονται διάφορες σχέσεις αλληλουχίας. Μια άλλη διαφορά ανάμεσα στην ανάλυση των Suppe και van Fraassen είναι ότι ο van Fraassen θεωρεί ότι κάποια από τις *εμπειρικές υπο-δομές* περιγράφει απευθείας φαινόμενα. Για τον Suppe όμως η θεωρία στην πραγματικότητα δεν χαρακτηρίζει τα φαινόμενα τα οποία ανήκουν στο *επιδιωκόμενο πεδίο της* αλλά εξιδανικευμένα αντίγραφα αυτών, τα οποία ονομάζει *φυσικά συστήματα* (physical systems) και στα οποία γίνεται η πιο πάνω ανάλυση⁵. Ο λόγος είναι ότι η θεωρία δεν περιγράφει τα φαινόμενα σε όλη τους την πολυπλοκότητα αλλά επιλέγει μόνο μερικές παραμέτρους και προσπαθεί να τα περιγράψει μόνο με όρους αυτών των παραμέτρων. Με άλλα λόγια, η θεωρία περιγράφει τα φαινόμενα αντιγεγονικά, μας λέει πώς θα ήταν τα φαινόμενα αν μόνο αυτές οι παράμετροι επιδρούσαν σε αυτά, δηλαδή αν ίσχυαν οι εξιδανικευμένες συνθήκες που υποθέτει η θεωρία (ό.π. σ. 65).

⁴ Την ίδια παρατήρηση κάνει και ο van Fraassen για τα αξιώματα της κλασικής μηχανικής στο *The Scientific Image*.

⁵ Ο Suppe δεν χαρακτηρίζει πουθενά αυτά τα φυσικά συστήματα ως μοντέλα.

Από την άλλη, η σημασιολογική ανάλυση του Giere (2010, 2004, 1999, 1990) είναι λιγότερο τυπική ως προς το φορμαλισμό και περισσότερο περιεκτική ως προς το τι είναι τα μοντέλα. Σε αυτή, έστω μοντελοθεωρητική ανάλυση (στο εξής ΜΘΑ), η θεωρία συνίσταται από τον πληθυσμό των *θεωρητικών μοντέλων* της (theoretical models), τα οποία δεν είναι δομές αλλά *αφηρημένες οντότητες* (abstract entities) (1990, σ. 78) οι οποίες κατασκευάζονται ήδη ερμηνευμένες και σε συμφωνία με τις κατάλληλες γενικές αρχές και ειδικές συνθήκες. Οι οντότητες αυτές δεν ταυτίζονται με γλωσσικές οντότητες, όπως εξισώσεις και λέξεις αλλά είναι δυνατόν να εκφραστούν με διάφορους τρόπους (Giere, 2004). Η θεωρία περιλαμβάνει όμως και μια γλωσσική συνιστώσα, τις *θεωρητικές υποθέσεις* (theoretical hypotheses), οι οποίες είναι προτάσεις που περιγράφουν μια σχέση μεταξύ ενός μοντέλου και ενός φυσικού συστήματος ή μιας τάξης φυσικών συστημάτων (Giere, 1990 σ. 80).

Αυτό στο οποίο όλοι οι υποστηρικτές της σημασιολογικής ανάλυσης συμφωνούν είναι στη σχέση θεωρίας-πειράματος. Σε μια προσπάθεια να ξεπεράσουν το πρόβλημα των κανόνων αντιστοίχισης υποστηρίζουν ότι το μοντέλο της θεωρίας δε συγκρίνεται απευθείας με το φυσικό κόσμο αλλά με τα *μοντέλα δεδομένων* (data modes) και «η κατασκευή αυτών των μοντέλων δεδομένων είναι μια εκλεπτυσμένη και δημιουργική διαδικασία» (van Fraassen, 1987, σ. 113). Αντίθετα με τα μοντέλα της θεωρίας, τα οποία κατασκευάζονται από τα καθαρά συστατικά της θεωρίας, για την κατασκευή ενός μοντέλου δεδομένων μεσολαβεί μια σειρά μοντέλων που έχουν σχέση με τις βοηθητικές θεωρίες, τον πειραματικό σχεδιασμό, τις συνθήκες του πειράματος και την επεξεργασία των ανεπεξέργαστων δεδομένων του πειράματος από την οποία προκύπτουν τα *ανηγμένα δεδομένα* του μοντέλου δεδομένων.

2.3.3.1.2 Τα μοντέλα ως αναπαραστατικά μέσα στις σημασιολογικές αναλύσεις

Η διατύπωση των φυσικών θεωριών έχει στόχο τη μελέτη του κόσμου και την απόκτηση της σχετικής γνώσης για αυτόν. Για να είναι αυτό δυνατόν, απαραίτητη προϋπόθεση είναι να προβλέπεται η σχέση μεταξύ της θεωρίας και του κόσμου. Στο λογικό θετικισμό, όπου οι θεωρίες είναι γλωσσικές οντότητες, κατάλληλη σχέση είναι αυτή της *αναφοράς* (reference). Στην αντίληψη των θεωριών όπως αυτή περιγράφεται στις σημασιολογικές αναλύσεις, η κατάλληλη σχέση μεταξύ των μοντέλων που συνιστούν τη θεωρία και του κόσμου είναι αυτή της *αναπαράστασης*. Τα ερωτήματα που προκύπτουν σε αυτό το πλαίσιο είναι τι αναπαριστούν τα μοντέλα και πώς εξασφαλίζεται η αναπαραστατική σχέση. Η απάντηση που δίνουν οι υποστηρικτές της σημασιολογικής ανάλυσης των θεωριών στο πρώτο ερώτημα είναι ότι τα επιστημονικά μοντέλα αναπαριστούν μοντέλα δεδομένων. Εκεί

όμως που δεν υπάρχει συναίνεση είναι στην ερμηνεία της σχέσης της απεικόνισης μεταξύ τους. Οι απαντήσεις βρίσκονται γύρω από δύο άξονες, τον *ισομορφισμό* και την *ομοιότητα*.

2.3.3.1.2.1 Σχέση μεταξύ μοντέλων και φυσικού κόσμου στις σημασιολογικές αναλύσεις

Στις ΣΘΑ των Suppes και van Fraassen τα μοντέλα της θεωρίας και τα μοντέλα δεδομένων είναι μαθηματικές δομές και η κατάλληλη σχέση μεταξύ τους είναι αυτή του *ισομορφισμού*. Ως μαθηματική έννοια ο *ισομορφισμός* απαιτεί να υπάρχει μια ένα προς ένα απεικόνιση μεταξύ δύο συνόλων η οποία διατηρεί τις σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων των πεδίων των δύο δομών. Όπως εξηγεί ο Suppes (1957 σ. 266) «[η] ύπαρξη του *ισομορφισμού* δικαιολογεί την εφαρμογή αριθμών στα πράγματα... Αυτό που μπορεί να κάν[ει] [ο επιστήμονας] στην περίπτωση των φαινομένων είναι να δείξ[ει] ότι η δομή ενός συνόλου φαινομένων υπό συγκεκριμένες εμπειρικές λειτουργίες και σχέσεις είναι *η ίδια με* τη δομή κάποιου συνόλου αριθμών υπό κάποιες αριθμητικές πράξεις και σχέσεις.» Το ζητούμενο λοιπόν από μια θεωρία είναι να έχει κάποιο μοντέλο τέτοιο ώστε το μοντέλο δεδομένων, κατά van Fraassen οι *εμφανίσεις* (1980, σ. 64), να είναι *ισομορφικές* με τις *εμπειρικές υπο-δομές* αυτού του μοντέλου⁶. Επειδή το μοντέλο περιλαμβάνει περισσότερες παραμέτρους από την *εμπειρική υπο-δομή*, οι *εμφανίσεις* είναι *ενσωματωμένες* (embedded) σε αυτό (ό.π. σ. 43). Αυτό που εξασφαλίζει η ενσωμάτωση είναι ότι αν και «[τ]α φαινόμενα που είναι μικρά αλλά χαοτικά, τα χειριζόμαστε ως κομμάτια ενός συνόλου το οποίο είναι πολύ μεγαλύτερο αλλά οργανωμένο και απλό.» (van Fraassen, 1987, σ. 113, η έμφαση στο πρωτότυπο).

Ο van Fraassen (1980, σ. 44) αναγνωρίζει ότι η έννοια του μοντέλου που χρησιμοποιεί, που είναι αυτή της λογικής και των μετα-μαθηματικών, είναι κάπως διαφορετική από αυτή που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες. Η τελευταία, στο πλαίσιο ανάλυσης του van Fraassen, είναι αυτή του τύπου μοντέλου και αναφέρεται όχι σε συγκεκριμένες δομές αλλά σε τύπους δομής, αφού κάποιες παράμετροι σε αυτές παραμένουν απροσδιόριστες. Παρ' όλα αυτά, υποστηρίζει ότι η απόσταση μεταξύ των δύο δεν είναι τόσο μεγάλη όσο άλλοι ισχυρίζονται.

Σε μια προσπάθεια βελτίωσης και διεύρυνσης της συνολοθεωρητικής προσέγγισης ώστε να καλύπτει όλα τα είδη μοντέλων που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες, όπως τα εικονικά μοντέλα, τις αναλογίες κ.ά., οι da Costa and French (2003, και French, 2008, σ. 274) προτείνουν τον *ισομορφισμό* ανάμεσα σε *μερικές δομές* (partial structures) οι οποίες ορίζουν *μερικές σχέσεις* στα στοιχεία του μοντέλου. Οι *μερικές σχέσεις* εκφράζουν τη μερική

⁶ Ο Suppes ονομάζει τα μοντέλα δεδομένων *εμπειρικές άλγεβρες* (empirical algebras) (1957).

πληροφορία που έχουμε για τις πραγματικές σχέσεις που συνδέουν τα στοιχεία του πεδίου της δομής. Σύμφωνα με τον French (2008, σ. 275) αυτή η ανάλυση βρίσκεται μεταξύ των τυπικών αναλύσεων των θεωριών και αυτών που αποφεύγουν οποιαδήποτε τυπική αναπαράσταση.

Σε μια πιο πραγματιστική προσέγγιση, ο Giere υποστηρίζει ότι η έμφαση πρέπει να είναι όχι στην έννοια της αναπαράστασης αλλά στην δραστηριότητα του “αναπαριστείν” (η έμφαση στο πρωτότυπο) και αν αυτή θεωρηθεί ως σχέση θα πρέπει να έχει περισσότερες από δύο θέσεις (Giere, 2004). Προϋπόθεση για τη δραστηριότητα είναι ασφαλώς ότι ένα μοντέλο X αναπαριστά μια πτυχή του πραγματικού κόσμου W . Την αναπαράσταση όμως δεν την κάνει το μοντέλο αλλά ο επιστήμονας που το χρησιμοποιεί και ο επιστήμονας έχει συγκεκριμένες επιδιώξεις. Αυτή η κατάσταση περιγράφεται από την πρόταση: *ο επιστήμονας S χρησιμοποιεί το X για να αναπαραστήσει το W για σκοπούς P* . Τα μοντέλα είναι ευφυείς εξειδικεύσεις των αφηρημένων μοντέλων που ορίζουν οι αρχές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους και μπορεί να είναι «λέξεις, εξισώσεις, διαγράμματα, γραφικές παραστάσεις, φωτογραφίες [ακόμη και] εικόνες που παράγονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή» (Giere, 2004). Οι *θεωρητικές υποθέσεις* είναι ισχυρισμοί για την *ομοιότητα* μεταξύ κάποιων επιλεγμένων χαρακτηριστικών του μοντέλου και του συγκεκριμένου φυσικού συστήματος ή μιας κατηγορίας φυσικών συστημάτων (Giere, 1990, σ. 81). Οι ισχυρισμοί της ομοιότητας καθορίζουν όχι μόνο τις *πτυχές* (aspects) στις οποίες υπάρχει ομοιότητα μεταξύ μοντέλου και φυσικού συστήματος αλλά και το *βαθμό της εφαρμογής* (degree of fit) (Giere, 2004). Τα μοντέλα με καλύτερη εφαρμογή μπορεί να αναπαριστούν περισσότερες πτυχές του πραγματικού κόσμου ή να έχουν μεγαλύτερο βαθμό ακρίβειας σε κάποιες πτυχές με συνέπεια καλύτερη εφαρμογή ή και τα δύο (Giere, 1999, σ. 93). Το ίδιο το μοντέλο όμως καθορίζει ένα πάνω όριο για τις πτυχές της ομοιότητας διότι θα πρέπει να είναι αυτές που αναπαρίστανται στο μοντέλο. Η επιστήμη προχωράει ανακαλύπτοντας νέες πτυχές του κόσμου οι οποίες είτε μοιάζουν με αυτές των μοντέλων είτε δεν είναι όπως οι επιστήμονες υπέθεταν. Στη δεύτερη περίπτωση μπορεί το μοντέλο να απορριφθεί (Giere, 1990, σ. 107-108).

Σε όλες αυτές τις ερμηνείες της σχέσης του μοντέλου με τον κόσμο, η αναφορά σε πτυχές και βαθμό εφαρμογής, σε μερικές δομές ή σε τύπους δομών στοχεύουν στην εξήγηση του βασικού χαρακτηριστικού των μοντέλων που είναι να μην είναι πλήρεις περιγραφές του κόσμου λόγω της μερικής πληροφορίας που έχουμε για αυτόν.

Συνοψίζοντας, η σημασιολογική ανάλυση είναι ακόμα μια προσπάθεια ανασυγκρότησης της επιστήμης στην οποία προτείνεται ένα ενιαίο τυπικό πλαίσιο που δίνει απαντήσεις στα τρία βασικά ερωτήματα της φιλοσοφίας της επιστήμης: ποια είναι η φύση των θεωριών, τι αυτές αναπαριστούν και πώς εφαρμόζονται στα φαινόμενα. Σύμφωνα με τη συνολοθεωρητική εκδοχή της ανάλυσης οι θεωρίες περιγράφονται από δομές. Η δομή των θεωριών περιγράφεται από τη δομή των τάξεων των τύπων των μοντέλων τους. Η έννοια του μοντέλου είναι αυτή της μαθηματικής λογικής διότι «παρέχει το κατάλληλο νοητικό εργαλείο για να γίνει η ανάλυση ακριβής και σαφής» (Suppes, 1960). Τα μοντέλα δεν συγκρίνονται άμεσα με τον κόσμο αλλά με τα μοντέλα δεδομένων. Τα τελευταία προκύπτουν από τις πειραματικές διαδικασίες και είναι, επίσης, δομές. Η σχέση της απεικόνισης είναι αυτή του ισομορφισμού μεταξύ των αντίστοιχων δομών. Στη μοντελοθεωρητική ανάλυση του Giere τα μοντέλα είναι αφηρημένες οντότητες και η αναπαραστατική σχέση μεταξύ μοντέλου και μοντέλου δεδομένων είναι αυτή της ομοιότητας. Σε κάθε περίπτωση, η αναπαραστατική σχέση μεταξύ μοντέλου και του κόσμου είναι αυτή που μας επιτρέπει να μεταφέρουμε τη γνώση για το μοντέλο στον κόσμο και να μάθουμε για αυτόν.

2.3.3.2 Κριτική στη σημασιολογική ανάλυση των θεωριών

Η βασική συνεισφορά της σημασιολογικής ανάλυσης των θεωριών είναι ότι έφερε τα μοντέλα στο προσκήνιο της φιλοσοφικής συζήτησης για την επιστήμη. Σύμφωνα όμως με τους επικριτές τους, οι σημασιολογικές αναλύσεις είναι ακόμη μια προσπάθεια ανασυγκρότησης της επιστήμης η οποία αδυνατεί να αποτυπώσει όλες τις πτυχές της επιστημονικής δραστηριότητας και ειδικότερα τον πλουραλισμό στα είδη των μοντέλων και στους ρόλους τους στην επιστημονική πραγματικότητα. Η περιγραφή της δομής των θεωριών ως κατάλληλα οργανωμένων συλλογών μοντέλων καθιστά τη διάκριση θεωριών και μοντέλων ασαφή ενώ ταυτόχρονα δεν περιλαμβάνει πολλά μοντέλα, όπως τα φαινομενολογικά, που δεν ανήκουν σε μια θεωρία αλλά συνήθως κατασκευάζονται από πολλές θεωρίες. Η περιγραφή της επιστημονικής πρακτικής ως την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου της θεωρίας για την μελέτη ενός φαινομένου αφήνει στο περιθώριο τις πολύπλοκες και δημιουργικές διαδικασίες της κατασκευής των μοντέλων και της αλληλεπίδρασής τους με τις θεωρίες και μένει σιωπηλή για τους διάφορους ρόλους που μπορεί να έχουν τα μοντέλα στην επιστημονική δραστηριότητα. Όσον αφορά στην αναπαράσταση, ο ισομορφισμός ή άλλες τυπικές απεικονίσεις και η ομοιότητα μεταξύ των μοντέλων και αυτού που αναπαριστούν φαίνονται ανεπαρκείς για να εξηγήσουν τη σχέση μοντέλων και κόσμου και για να απαντήσουν σε επιστημολογικά ερωτήματα, όπως το πώς

μαθαίνουμε από τα μοντέλα. Υπάρχει ασφαλώς και το ευρύτερο ερώτημα της οντολογίας των μοντέλων.

Οι αντιρρήσεις στη σημασιολογική ανάλυση δεν παρουσιάζουν ένα ενιαίο εναλλακτικό πλαίσιο για την ανάλυση των θεωριών αλλά εστιάζουν σε κάποιους από τους ισχυρισμούς της σημασιολογικής ανάλυσης που αφορούν στα μοντέλα, αντλώντας τα επιχειρήματα τους από την επιστημονική πρακτική. Η κριτική μπορεί να φαίνεται αποσπασματική αλλά αυτό είναι μια ένδειξη της πολυπλοκότητας του θέματος και ταυτόχρονα μια έμμεση αμφισβήτηση της φιλοσοφικής υπόθεσης ότι μπορούν όλα τα ερωτήματα να απαντηθούν επαρκώς από ένα ενιαίο πλαίσιο. Ένα τέτοιο πλαίσιο, αν υπάρχει, θα πρέπει να θεμελιώνεται στην επιστημονική πρακτική (Portides, 2010). Τα ερωτήματα που εγείρονται από την κριτική στη σημασιολογική ανάλυση θα συζητηθούν στη συνέχεια ξεχωριστά διότι έχουν αναδείξει σημαντικά επιμέρους θέματα στη φιλοσοφία της επιστήμης τα οποία αποτελούν άξονες συζητήσεων μέχρι σήμερα.

2.3.3.2.1 Θεωρίες και μοντέλα

Για τους επικριτές τους οι ΣΗΑ υποθέτουν, όπως και ΣΥΑ πριν από αυτές, ότι η θεωρία περιέχει όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για την περιγραφή των όσων συμβαίνουν στο πεδίο εφαρμογής της. Στην περίπτωση της ΣΥΑ τα στοιχεία αυτά βρίσκονται στα θεωρήματα και στην περίπτωση των ΣΗΑ στα μοντέλα της. Η δουλειά του επιστήμονα είναι να βρει ποια θεωρητική περιγραφή ή ποιο μοντέλο αντίστοιχα ταιριάζει στις αρχικές συνθήκες του προβλήματος. Αυτή η περιγραφή των θεωριών, την οποία η Cartwright (1999, σ. 247) ονομάζει *αντίληψη της μηχανής αυτόματης πόλησης* διαμορφώνει αντιλήψεις που δεν συνάδουν με αυτό που πραγματικά συμβαίνει στην επιστήμη. Η πρώτη είναι ότι υπονοεί πως τα μοντέλα δεν περιλαμβάνουν οποιαδήποτε πληροφορία που δεν είναι ήδη κωδικοποιημένη στη θεωρία (Suarez, 1999b, σ. 172). Η Cartwright όμως προβάλλει τον αντίθετο ισχυρισμό. Τα μοντέλα που προσφέρουν οι θεωρίες δεν περιέχουν καμία ειδική πληροφορία για ένα συγκεκριμένο σύστημα. Τα μοντέλα της θεωρίας η Cartwright τα ονομάζει *ερμηνευτικά*, και ο ρόλος τους είναι να προσαρμόζουν τις αφηρημένες έννοιες της θεωρίας σε πιο συγκεκριμένες περιγραφές (ό.π. σ. 243, 257). Τα μοντέλα αυτά καθορίζονται από τις αφηρημένες έννοιες και τους νόμους της θεωρίας σε συνδυασμό με τις *γεφυροποιητικές αρχές* (bridge principles) οι οποίες προσδιορίζουν τις συνθήκες κατά τις οποίες εφαρμόζονται οι έννοιες και οι νόμοι (ό.π. σ. 256-257). Τα μοντέλα που αναπαριστούν πραγματικές καταστάσεις που συμβαίνουν, ή θα μπορούσαν να συμβούν, στον κόσμο στις κατάλληλες συνθήκες, είναι τα *αναπαραστατικά* και αυτά δεν είναι ήδη

μέρος της θεωρίας (ό.π. σ. 242)⁷. Για την κατασκευή των αναπαραστατικών μοντέλων οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τα ερμηνευτικά μοντέλα μαζί με άλλα στοιχεία. Η θεωρία δεν είναι λοιπόν μια συλλογή μοντέλων ή ισχυρισμών που περιγράφουν τα φαινόμενα στο πεδίο εφαρμογής της. Οι θεωρίες είναι ένα εργαλείο, μεταξύ άλλων, για την κατασκευή των μοντέλων (Suarez & Cartwright, 2008).

Το άλλο πρόβλημα με την αντίληψη της θεωρίας ως *μηχανής αυτόματης πώλησης* είναι ότι αποκρύπτει τις επίπονες και δημιουργικές διαδικασίες κατασκευής των μοντέλων διότι υποθέτει ότι όλα τα μοντέλα είναι τα συνιστώσα μέρη μιας συγκεκριμένης θεωρίας, κάτι που δεν είναι αληθές για τα περισσότερα μοντέλα (Cartwright, 1999 σ. 247). Αντίθετα, λέει η Cartwright (1983, σ. 89-90), τα μοντέλα δεν “βγαίνουν” από τη θεωρία ως αναπαραστάσεις του φαινομένου αλλά η θεωρία “μπαίνει” σε μια περιγραφή του φαινομένου. Όταν οι επιστήμονες βρίσκονται αντιμέτωποι με ένα φαινόμενο καταγράφουν ότι γνωρίζουν για αυτό ή ότι θεωρούν σχετικό, από όπου και αν προέρχεται. Το αποτέλεσμα είναι μια *μη-προετοιμασμένη περιγραφή* (unprepared description) του φαινομένου. Στη συνέχεια, η περιγραφή προσαρμόζεται έτσι ώστε να ταιριάζει σε αυτή μια εξίσωση της θεωρίας. Αυτό είναι το πρώτο στάδιο της «εισόδου της θεωρίας» (theory entry) στο μοντέλο στο οποίο κριτήριο της προσαρμογής είναι η δυνατότητα της μαθηματικής επεξεργασίας της περιγραφής. Για τη νέα αυτή, *προετοιμασμένη περιγραφή* (prepared description), ο επιστήμονας έχει πάρει αποφάσεις για το πώς θα περιγραφεί το φαινόμενο και η θεωρία υπαγορεύει τις εξισώσεις, τις οριακές συνθήκες και τις απαραίτητες προσεγγίσεις. Αυτό είναι το δεύτερο στάδιο της «εισόδου της θεωρίας» στο μοντέλο. Σε κάποιες περιπτώσεις η θεωρία δεν καθορίζει ούτε τη μαθηματική περιγραφή (Boumans, 1999) και οι διορθώσεις δεν υπαγορεύονται από τις εξισώσεις αλλά από μοντέλα-διαμεσολαβητές που προκύπτουν από στοιχεία διάφορων θεωριών ιδωμένα από μια νέα οπτική (Suarez, 1999b). Εν ολίγοις, ο ισχυρισμός έχει ως εξής: τα μοντέλα κατασκευάζονται τεμαχιδόν από κομμάτια όχι μιας αλλά περισσότερων θεωριών, συνήθως ιδωμένα από μια νέα οπτική, διάφορα εμπειρικά δεδομένα και κομμάτια μαθηματικών τα οποία μπορεί, αλλά όχι απαραίτητα, να προκύπτουν από το μαθηματικό φορμαλισμό μιας θεωρίας εκφρασμένα σε τέτοια μορφή ώστε να προκύπτει μια επιλύσιμη εξίσωση για το φαινόμενο. Αν αυτό είναι σωστό, τότε ο τρόπος που κατασκευάζονται τα μοντέλα τους προσφέρει μια μερική αυτονομία τόσο από τις θεωρίες όσο και από τα δεδομένα (ή τα φαινόμενα). Αυτή αυτονομία είναι καθοριστική διότι επιτρέπει στα μοντέλα να *μεσολαβούν* μεταξύ της θεωρίας και του κόσμου και στους

⁷ Είναι τα μοντέλα που στο *How the Laws of Physics Lie* (1983) ονόμαζε *φαινομενολογικά*.

επιστήμονες να μαθαίνουν από τα μοντέλα και για τα δύο. Ο ρόλος τους ως διαμεσολαβητές είναι δυνατός διότι μεταφέρουν *συγκεκριμένη ή τοπική γνώση* για το φαινόμενο για το οποίο είναι μοντέλα και για αυτό το λόγο γίνονται τα ίδια το κέντρο της επιστημονικής έρευνας. Αν και δεν υπάρχει καμία *λογική* αιτία για να έχουν τα μοντέλα μερική αυτονομία στην κατασκευή τους στην πραγματικότητα την έχουν και είναι αυτό που χρειάζεται για το ρόλο τους ως διαμεσολαβητές (Morrison and Morgan, 1999, σ. 10, η έμφαση στο πρωτότυπο).

2.3.3.2.2 Τα μοντέλα και οι λειτουργίες τους

Η μερική αυτονομία των μοντέλων από τη θεωρία και τα δεδομένα κατά την κατασκευή τους τα καθιστά όργανα στην παραγωγή της γνώσης. Στην οργανική χημεία χημικές εξισώσεις γραμμένες στο χαρτί, ήταν τα εργαλεία για την κατασκευή νέας θεωρίας. Οι εξισώσεις, ως εξωτερικές αναπαραστάσεις των χημικών διαδικασιών, οδήγησαν στην ιδέα της αντικατάστασης κάποιων μόνο στοιχείων των ενώσεων από άλλα η οποία με τη σειρά της προσέφερε ένα νέο θεωρητικό πλαίσιο για το μετασχηματισμό των οργανικών ενώσεων (Klein, 1999, σ. 148). Στην περίπτωση της θεωρίας του Maxwell τα μοντέλα του αιθέρα, ως μηχανικές αναπαραστάσεις των διαδικασιών που εξασφάλιζαν την εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας στον αιθέρα, χρησιμοποιήθηκαν ως εργαλεία για διορθώσεις στην ίδια την ηλεκτρομαγνητική θεωρία αλλά και ως αντικείμενα πειραματισμού στη θέση του αιθέρα (Morrison and Morgan, 1999, σ. 19, 20). Μερικές φορές μια υπάρχουσα θεωρία δεν μπορεί να εξηγήσει κάποιες εμπειρικές παρατηρήσεις, όπως η κβαντική χρωμοδυναμική (QCD) τον κβαντικό εγκλωβισμό⁸. Το φαινομενολογικό μοντέλο του MIT, MIT- bag model, για τον ατομικό πυρήνα είναι μια εξήγηση για το πώς ο εγκλωβισμός θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί φυσικά και συνδέεται με εύλογους τρόπους με γνωστούς μηχανισμούς της QCD χωρίς όμως να προκύπτει παραγωγικά από αυτή (Hartmann 1999, σ. 338). Μια άλλη μορφή απόκτησης γνώσης είναι η μέτρηση. Το απλό εκκρεμές που είναι ένα μοντέλο που προκύπτει άμεσα από την κλασική μηχανική είναι ένα εργαλείο μέτρησης της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Αυτό είναι δυνατό όχι επειδή είναι ένα θεωρητικό μοντέλο, διότι η νευτώνεια μηχανική δεν προσφέρει την απαραίτητη πληροφορία για τα πραγματικά εκκρεμή, αλλά λόγω των διορθώσεων που εισάγονται στο μοντέλο ώστε αυτό να δίνει μια πιο ρεαλιστική περιγραφή της ίδιας της συσκευής (Morrison, 1999, σ. 46, Morrison and Morgan, 1999 σ. 22).

⁸ Κβαντικός εγκλωβισμός είναι το φαινόμενο του εγκλωβισμού των κουάρκς εντός των αδρονίων, πράγμα που δεν επιτρέπει την ύπαρξη ελεύθερων κουάρκς.

Αυτή η προσέγγιση στη μεθοδολογία εφαρμογής των θεωριών προϋποθέτει, αντίθετα από τη σημασιολογική ανάλυση, ότι υπάρχουν τρία διακριτά αντικείμενα, οι θεωρίες, τα μοντέλα και ο κόσμος. Αυτή η δομή όμως δεν είναι ιεραρχική διότι τα μοντέλα περιλαμβάνουν και άλλα στοιχεία. Τα μοντέλα βρίσκονται έξω από τον άξονα θεωρία - κόσμος και αυτό είναι που τους επιτρέπει να διαμεσολαβούν μεταξύ των δύο.

Ο Suppe (2000), στην απάντηση του στην κριτική στις ΣΗΑ, υποστηρίζει η παρουσίαση από τους επικριτές του ισχυρισμού των σημασιολογικών αναλύσεων για τη θεωρία ως «μια συλλογή μοντέλων» είναι δεν είναι παρά μια απλοποιημένη εκδοχή της πραγματικής. Οι σημασιολογικές αναλύσεις είναι πολύ πιο λεπτομερείς και επιτηδευμένες από έναν τέτοιο απλοϊκό ισχυρισμό. Κατά την άποψη του Suppe, πολλά από τα φιλοσοφικά προβλήματα τα οποία σύμφωνα με τους επικριτές της η σημασιολογική ανάλυση δεν έχει λύσει βρίσκονται, στην πραγματικότητα, εκτός του πεδίου της. Οι σημασιολογικές αναλύσεις δεν διατυπώθηκαν για να εξαντλήσουν όλα τα θέματα της επιστήμης, όπως φαίνεται να αναμένουν οι επικριτές της. Για τον Suppe, ο στόχος της ανάλυσης είναι μια «σημασιολογική/λογική ανάλυση ενός κατασκευάσματος της επιστήμης [της θεωρίας] που είναι κεντρικό αλλά όχι το αποκλειστικό της επιστήμης.» (ό.π. σ. S113). Υπό αυτό το πρίσμα μια ανάλυση των θεωριών, όσο επαρκής και αν είναι, δεν μπορεί να είναι ταυτόχρονα μια ανάλυση για όλα τα κατασκευάσματα που χρησιμοποιεί η επιστήμη, όπως τα μοντέλα, τα μοντέλα δεδομένων ή τους πειραματικούς σχεδιασμούς.

2.3.3.2.3 Μοντέλα και επιστημονική αναπαράσταση

Όλοι οι φιλόσοφοι θα συμφωνούσαν ότι ο βασικός ρόλος των μοντέλων είναι ο αναπαραστατικός. Δύο από τα ερωτήματα που τίθενται για την επιστημονική αναπαράσταση είναι το τι αναπαριστούν τα μοντέλα και πώς επιτυγχάνεται η αναπαράσταση. Τα ερωτήματα αυτά δεν είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Οι απαντήσεις που μπορούν να δοθούν και στα δύο εξαρτώνται και από τις απαντήσεις σε ερωτήματα που αφορούν στη φύση των μοντέλων και στη μεθοδολογία της εφαρμογής των θεωριών.

2.3.3.2.3.1 Τι αναπαριστούν τα μοντέλα

Η απάντηση της σημασιολογικής ανάλυσης στο πιο πάνω ερώτημα, που είναι το πρώτο που τέθηκε στην εισαγωγή, είναι ότι αναπαριστούν *μοντέλα δεδομένων*. Αλλά αν η επιστήμη μελετά τον κόσμο όπως αυτός εκδηλώνεται μέσα από τα διάφορα φαινόμενα τότε χρειάζεται μια διάκριση μεταξύ δεδομένων και φαινομένων. Οι Bogen and Woodward (1988) επιχειρούν μια τέτοια διάκριση.

Τα δεδομένα [όπως τα φωτεινά ίχνη σε μια φθορίζουσα οθόνη] είναι χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου πειραματικού σχεδιασμού και συνήθως δεν υπάρχουν εκτός αυτού του πλαισίου... Τα φαινόμενα αναμένουμε να έχουν σταθερά και επαναλαμβανόμενα χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να ανιχνευθούν με μια ποικιλία πειραματικών διαδικασιών και από τις οποίες μπορεί να προκύψουν πολύ διαφορετικά είδη δεδομένων.

Οι θεωρίες από την άλλη αναμένεται να προσφέρουν συστηματικές εξηγήσεις των φαινομένων και όχι των πειραματικών δεδομένων. Για να εξηγήσει τα φαινόμενα ο επιστήμονας δεν χρειάζεται να πει τις ιδιαίτερες «αιτιακές ιστορίες» που σχετίζονται με το πλαίσιο της παρατήρησης. Χρειάζεται μόνο να εστιάσει σε ότι παραμένει σταθερό σε όλα πλαίσια (ό.π.). Σύμφωνα με τον Suarez (1997, σ. 92) αυτό γίνεται σε δύο στάδια. Πρώτα το φαινόμενο συνάγεται από τα δεδομένα και περιγράφεται από ένα μοντέλο, το *μοντέλο του φαινομένου* και στη συνέχεια προτείνεται μια θεωρία η οποία ελέγχεται από τα άλλα φαινόμενα του πεδίου εφαρμογής της⁹. Αυτό δε σημαίνει ότι τα πειραματικά δεδομένα δεν είναι σημαντικά. Τα δεδομένα είναι τα τεκμήρια για την ύπαρξη των φαινομένων τα οποία προβλέπει το μοντέλο εντός όμως μιας συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης και δεν είναι απαραίτητο να περιέχουν μια υποδομή που να είναι ισομορφική με το μοντέλο (Frigg, 2010a, σ. 111).

2.3.3.2.3.2 Πώς αναπαριστούν τα μοντέλα

Όσον αφορά σε αυτό το ερώτημα, το δεύτερο που τέθηκε στην εισαγωγή, η απάντηση των ΣΗΑ, όπως είδαμε, δεν είναι μοναδική. Αν ο ισχυρισμός των ΣΗΑ των θεωριών είναι ότι «το μοντέλο *M* (η *πηγή*) αναπαριστά το μέρος του φυσικού κόσμου *T* (το *στόχο*) αν τα δύο είναι ισομορφικά/όμοια μεταξύ τους» τότε (α) η αναπαράσταση θα πρέπει να έχει τις ίδιες λογικές ιδιότητες με τη σχέση που την εξασφαλίζει και (β) οι συνθήκες αυτές θα πρέπει να είναι ικανές και αναγκαίες για την αναπαράσταση. Στην περίπτωση της επιστημονική αναπαράστασης αυτά δεν φαίνεται να ισχύουν (Suarez, 2010, 2004, 2003, Frigg, 2006). Όσον αφορά στις λογικές ιδιότητες ο ισομορφισμός και η ομοιότητα είναι ανακλαστικές και συμμετρικές σχέσεις ενώ ο ισομορφισμός είναι και μεταβατικός. Σε μια αναπαράσταση όμως η *πηγή* δεν είναι και αναπαράσταση του εαυτού της ούτε και ο *στόχος* είναι αναπαράσταση της *πηγής* διότι η αναπαράσταση έχει κατεύθυνση (Suarez, 2003). Και η αναπαράσταση δεν είναι μεταβατική. Είναι όμως ο ισομορφισμός ή η ομοιότητα ικανές και

⁹ Η έννοια του *μοντέλου του φαινομένου* δεν είναι ταυτόσημη με την έννοια του *φαινομενολογικού μοντέλου* χωρίς αυτό να σημαίνει ότι το μοντέλο του φαινομένου δεν μπορεί να είναι φαινομενολογικό.

αναγκαίες συνθήκες για την αναπαράσταση; Η απάντηση είναι μάλλον όχι. Στην περίπτωση του ισομορφισμού, μια τροχιά στο χώρο φάσεων της κλασικής μηχανικής μπορεί να είναι ισομορφική με την τροχιά ενός πραγματικού σωματιδίου στον πραγματικό χώρο. Παρ' ότι υπάρχει ο ισομορφισμός, αν το μοντέλο δεν προορίζεται για την περιγραφή της τροχιάς του σωματιδίου τότε δεν υφίσταται αναπαράσταση, άρα ο ισομορφισμός δεν είναι ικανή συνθήκη για αναπαράσταση (Suarez, 2003). Δεν είναι όμως ούτε και αναγκαίος. Αν ο ισομορφισμός είναι αναγκαίος για την αναπαράσταση τότε ανακριβείς αναπαραστάσεις δεν είναι αναπαραστάσεις καθώς λόγω αυτών των ανακριβειών η αναπαράσταση δεν είναι ισομορφική με το στόχο (Frigg, 2006). Μια τέτοια παραδοχή καθιστά όλα τα μοντέλα μη αναπαραστατικά καθώς κοινό χαρακτηριστικό τους είναι κάποιος βαθμός ανακρίβειας. Στην πραγματικότητα όμως η χρησιμότητα των μοντέλων οφείλεται στην ανακρίβειά τους αφού, σε πολλές περιπτώσεις, αυτή είναι που τα καθιστά διαχειρίσιμα. Από την άλλη, η ομοιότητα από μόνη της, ασχέτως πόσο εκτεταμένη, δεν είναι ικανή συνθήκη για την αναπαράσταση (Frigg, 2003 σ. 81· Suarez, 1999a, σ. 77). Δύο ίδια ποτήρια μοιράζονται όλες τις ιδιότητές τους, δηλαδή είναι εντελώς όμοια, τίποτα όμως δεν κάνει το ένα να είναι αναπαράσταση του άλλου (Suarez, 2010). Η ομοιότητα θα μπορούσε να είναι αναγκαία για την αναπαράσταση αλλά με έναν εντελώς επουσιώδη τρόπο αφού κάθε αντικείμενο είναι, με κάποιον τρόπο, όμοιο με κάθε άλλο¹⁰. Ταυτόχρονα όμως και για τον ίδιο λόγο είναι παρούσα και στη μη αναπαράσταση συνεπώς η ομοιότητα από μόνη της δεν μπορεί να διακρίνει την αναπαράσταση από τη μη αναπαράσταση. Ο εκ των προτέρων καθορισμός των πτυχών και του βαθμού της ομοιότητας, που προϋποθέτει ο Giere στην ανάλυσή του, δείχνει μια κατεύθυνση στη λύση του προβλήματος αλλά ο Suarez (ό. π.) θεωρεί ότι η ανάλυση είναι κυκλική αφού το A αναπαριστά το B αν το A είναι όμοιο με το B στις σχετικές πτυχές στις οποίες το αναπαριστά.

Η απαίτηση για ισομορφισμό μεταξύ μοντέλου και συστήματος παρουσιάζει και ένα πρόβλημα πολλαπλότητας το οποίο προκύπτει με δύο τρόπους. Το ένα είναι η πολλαπλότητα της δομής του συστήματος και το άλλο η πολλαπλότητα εμφάνισης της δομής σε διαφορετικά συστήματα. Η πρώτη περίπτωση αφορά στη δομή ενός συγκεκριμένου συστήματος, αυτό που ο Frigg (2006) ονομάζει «η χίμαιρα της μιας και μόνο δομής» του συστήματος. Μια

¹⁰ Ο Suarez εδώ θα πρέπει να εννοεί φυσικά αντικείμενα διότι ο ίδιος (2003) αναφέρει την περίπτωση μιας μαθηματικής εξίσωσης που αναπαριστά ένα φαινόμενο η οποία όμως δεν είναι όμοια με κανέναν τρόπο με το φαινόμενο. Όμως ο Giere δεν θεωρεί τις μαθηματικές εξισώσεις από μόνες τους μοντέλα άρα το επιχείρημα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει κατά της ανάλυσης του Giere.

δομή χαρακτηρίζεται από τα στοιχεία του πεδίου της και τις σχέσεις μεταξύ τους. Η δομή ενός συστήματος μπορεί να περιγραφεί με πολλούς τρόπους, ανάλογα με το ποια χαρακτηριστικά του επιλέγουμε ως στοιχεία του πεδίου της δομής, τις ατομικότητες και ποια ως σχέσεις μεταξύ τους (Suarez, 2010· Frigg, 2006). Δηλαδή, η δομή του συστήματος εξαρτάται από την περιγραφή που θα επιλέξουμε (Suarez, 2010· Frigg, 2006). Στη δεύτερη περίπτωση, η ίδια δομή μπορεί να περιγράψει πολλά διαφορετικά συστήματα, όπως στην περίπτωση του αρμονικού ταλαντωτή που χρησιμοποιείται στην κλασική μηχανική και στην κλασική ηλεκτροδυναμική. Τα μοντέλα όμως κατασκευάζονται για να αναπαριστούν ένα συγκεκριμένο *σύστημα-στόχο*. Ο ισομορφισμός δεν μπορεί να καθορίζει ποια από αυτά τα συστήματα αναπαριστά η δομή ή με άλλα λόγια «δεν καθορίζει σωστά την έκταση της αναπαράστασης» (Frigg, 2006). Αυτό προκύπτει από τις απαιτήσεις της έννοιας της δομής. Όταν ορίζεται το πεδίο της δομής δεν έχει σημασία ποιες είναι οι ατομικότητες που περιλαμβάνει αλλά από δομικής άποψης αυτό που έχει σημασία είναι το πόσες είναι. Με ανάλογο τρόπο, όσον αφορά στις σχέσεις, δεν έχει σημασία ποιες είναι αλλά μεταξύ ποιων ατομικότητων του πεδίου ισχύουν. Αυτό έχει ως συνέπεια η δομή να είναι δυνατόν να υποστασιοποιείται σε πολλά συστήματα τα φυσικά χαρακτηριστικά των οποίων δεν εμφανίζονται όταν αυτά εκφράζονται ως δομές.

Πάντως, και στις δύο περιπτώσεις, υπάρχουν δύο δομές που η μια απεικονίζει την άλλη. Μια τέτοια απεικόνιση όμως φαίνεται ότι δεν είναι πάντοτε δυνατή. Στην περίπτωση του ενοποιημένου μοντέλου του ατομικού πυρήνα το μοντέλο κατασκευάστηκε για να αφομοιώσει δύο διαφορετικές και ασύμβατες υποθέσεις για τη συμπεριφορά του πυρήνα¹¹. Το μοντέλο εξηγεί την κίνηση του πυρήνα με τέσσερις συλλογικές κινήσεις και δύο ακόμα που είναι αποτέλεσμα των ανεξάρτητων νουκλεονίων που το αποτελούν. Εάν ως αναπαράσταση θεωρήσουμε την απεικόνιση του μοντέλου με το φυσικό σύστημα τότε στο ενοποιημένο μοντέλο θα πρέπει να απεικονίσουμε μια δομή που υποθέτει έξι διαφορετικές κινήσεις σε μια δομή που προκύπτει από ένα φυσικό σύστημα που παρουσιάζει μόνο μία συνολική κίνηση (Portides, 2010).

Όλα τα πιο πάνω αποτελούν επιχειρήματα κατά του ισομορφισμού και της ομοιότητας αν αυτές θεωρηθούν ως οι σχέσεις που συνιστούν την αναπαράσταση. Αυτό δε σημαίνει ότι δεν υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες το μοντέλο είναι ισομορφικό ή όμοιο με το στόχο, αλλά ότι ο ισομορφισμός και η ομοιότητα είναι δύο από τους πολλούς τρόπους με τους

¹¹ Σε αυτή την περίπτωση το μοντέλο δεν είναι μοντέλο μιας θεωρίας, όπως προβλέπει η σημασιολογική ανάλυση, αλλά περιλαμβάνει στοιχεία από διαφορετικές θεωρίες.

οποίους ένα μοντέλο μπορεί να σχετίζεται με το στόχο, άλλοι είναι η εξιδανίκευση (idealization), η αφαίρεση (abstraction), η υποδειγματοποίηση (exemplification), η συγκεκριμενοποίηση (instantiation), η σύμβαση (convention), ο προκαθορισμός (stipulation). Αυτοί οι διάφοροι τρόποι είναι που ο Frigg (2006) ονομάζει *είδος, τρόπο ή αναπαραστατική στρατηγική* (style, mode or representational strategy) και ο Suarez (2003, 2010) *μέσο* (means) της αναπαράστασης.

2.3.3.2.3.3 Οι απαντήσεις της σημασιολογικής ανάλυσης

Η απάντηση των υποστηρικτών της σημασιολογικής ανάλυσης στην κριτική για την αναπαραστατική σχέση μεταξύ μοντέλου και στόχου ήταν η συμπερίληψη των *προθέσεων* του επιστήμονα στις συνιστώσες της αναπαράστασης. Ο van Fraassen (2010) μετατοπίζει την αρχική ανάλυση της αναπαράστασης από το αντικείμενο που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση «στη δραστηριότητα της αναπαράστασης» (ό.π. 513, η έμφαση στο πρωτότυπο). Η *πηγή* της αναπαράστασης, λέει τώρα ο van Fraassen, είναι ένα κατασκευάσμα στο οποίο δεν υπάρχει τίποτα που να καθορίζει το *στόχο*. Αυτό το κάνει η χρήση ή ο χρήστης της αναπαράστασης. Μέρος της δραστηριότητας του χρήστη είναι και η κατασκευή των μοντέλων δεδομένων και οι μετρήσεις που αυτά συνεπάγονται. Οι μετρήσεις συντονίζουν το φαινόμενο με το μοντέλο κάτι απαραίτητο αφού τα μοντέλα είναι δομές ενώ τα φαινόμενα δεν είναι (ό.π. σ. 512). Με τον όρο “συντονίζει” εννοεί ότι οι μετρήσεις τοποθετούν το φαινόμενο στο λογικό χώρο του οποίου τα σημεία είναι μια οικογένεια θεωρητικών μοντέλων και με αυτόν τον τρόπο οι μετρήσεις αποκτούν νόημα. Αυτό συμβαίνει είτε κατά τη διαμόρφωση της θεωρίας είτε αφού οι έννοιες, οι διαδικασίες μέτρησης και η θεωρία έχουν σταθεροποιηθεί. Εφ’ όσον προϋπάρχει μια θεωρητική αναπαράσταση, η μέτρηση είναι μια πρακτική μορφή αναπαράστασης. Αυτό που σώζεται σε αυτή τη διαδικασία δεν είναι τα φαινόμενα, δηλαδή, τα αντικείμενα, τα γεγονότα και οι διαδικασίες που μπορούν να παρατηρηθούν αλλά οι *εμφανίσεις* στις οποίες εκδηλώνονται τα φαινόμενα. Έτσι, έχουμε εμπειρικά επαρκείς αναπαραστάσεις των φαινομένων.

Στην ανάλυση του Giere, η έμφαση ήταν εξ’ αρχής στη διαδικασία της αναπαράστασης, και ο επιστήμονας είναι μέρος αυτής της διαδικασίας λόγω της προϋπόθεσης για τη διατύπωση των *θεωρητικών υποθέσεων*, οι οποίες εξασφάλιζαν και την απαραίτητη ασυμμετρία στην αναπαράσταση. Ο ρόλος του επιστήμονα είναι καθοριστικός διότι δεν μπορεί να υπάρξει *αντικειμενική* σχέση ομοιότητας μεταξύ ενός αφηρημένου μοντέλου και ενός φυσικού αντικειμένου ανεξάρτητη από την ανθρώπινη πρόθεση (Giere, 2008 σ. 128). Η τροποποιημένη θέση του Giere διατυπώνεται ως εξής: «Ο επιστήμονας 1) προτίθεται 2) να χρησιμοποιήσει το μοντέλο M 3) για να αναπαραστήσει το μέρος W του κόσμου 4) για

κάποιο σκοπό P.» (ό.π. σ. 5). Με αυτόν τον ελιγμό ο Giere θεωρεί ότι εισαγάγει την απαραίτητη ασυμμετρία στην ομοιότητα και λύνει το πρόβλημα της επιλογής των πτυχών της ομοιότητας που έχουν σημασία στην κάθε περίπτωση. Ο καθορισμός των πτυχών της ομοιότητας εξασφαλίζει ότι το μοντέλο και το πραγματικό σύστημα είναι διακριτά αντικείμενα, διότι τα αντικείμενα δεν αναμένεται να ικανοποιούν τυπικές σχέσεις, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των μοντέλων στα μαθηματικά (ό.π. σ. 128)¹². Η επιτυχία μιας αναπαράστασης καθορίζεται από το βαθμό στον οποίο το μοντέλο εφαρμόζει στις πτυχές του στόχου για τον οποίο αυτό έχει επιλεγεί. Η εφαρμογή με τη σειρά της ελέγχεται από τις πειραματικές διαδικασίες και ο βαθμός εφαρμογής που κρίνεται ως ικανοποιητικός εξαρτάται από την περίπτωση. Τα κριτήρια για την αξιολόγηση της εφαρμογής μπορεί να είναι προσωπικά ή να καθορίζονται από την επιστημονική κοινότητα ή μπορεί να εξαρτώνται από το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιείται το μοντέλο. Με αυτό το σκεπτικό η ανάλυση μπορεί να εξηγήσει και τις περιπτώσεις της λανθασμένης αναπαράστασης.

Η σχέση της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και φυσικού συστήματος είναι περισσότερο αποδεκτή ανάμεσα στους φιλοσόφους από αυτή του ισομορφισμού. Η Cartwright (1999, σ. 262), θεωρεί ότι η ομοιότητα του μοντέλου με αυτό που αναπαριστά χρειάζεται ως ένα ανεξάρτητο κριτήριο για το χαρακτηρισμό μιας αναπαράστασης ως ορθής. Ο Teller (2001) επίσης υποστηρίζει μια ανάλυση παρόμοια με αυτή του Giere. Για να ξεπεράσει όμως το πρόβλημα του πώς ένα αφηρημένο αντικείμενο, το μοντέλο, μπορεί να είναι όμοιο με ένα από αντικείμενο, το φυσικό σύστημα, λέει ότι η σύγκριση γίνεται μεταξύ των ιδιοτήτων που έχουν τα φυσικά συστήματα με τις ιδιότητες που είναι *μέρη* των μοντέλων (ό.π. η έμφαση στο πρωτότυπο.)

2.3.4 Άλλες αναλύσεις για την επιστημονική αναπαράσταση

Οι περιγραφές της αναπαράστασης που διατυπώνονται από τους υποστηρικτές της σημασιολογικής προσέγγισης των θεωριών δεν προσφέρονται ως θεωρίες αναπαράστασης αλλά αποτελούν προσπάθειες ερμηνείας της επιστημονικής αναπαράστασης μέσα από την προτεινομένη δομή των θεωριών και τη φύση των μοντέλων που προβλέπεται από αυτές (όπως στην περίπτωση του ισομορφισμού). Γι' αυτό το λόγο και οι τροποποιήσεις που εισάχθηκαν αναφέρονται όχι στην *έννοια* της αναπαράστασης αλλά στη *δραστηριότητα* της αναπαράστασης της οποίας αναπόσπαστο μέρος αποτελεί ο επιστήμονας. Στον πυρήνα τους όμως συνεχίζει να υπάρχει η σχέση μεταξύ του μοντέλου και αυτού που αναπαριστά καθώς

¹² Με αυτό ο Giere εκφράζει τη διαφωνία του με θέση του Suppes ότι η έννοια του μοντέλου στις φυσικές επιστήμες είναι ίδια με αυτή των μαθηματικών.

η πρόθεση από μέρους του επιστήμονα δεν την αλλάζει. Επίσης, όπως σημειώνει ο Suarez (2004), η πρόθεση από μόνη της δεν εξηγεί την *αντικειμενικότητα* της επιστημονικής αναπαράστασης, δηλαδή το πώς η αναπαράσταση μεταφέρει πληροφορία από το μοντέλο προς το στόχο.

Το πρόβλημα της επιστημονικής αναπαράστασης έχει ανοίξει ένα πεδίο φιλοσοφικής συζήτησης και άλλες αναλύσεις έχουν προταθεί. Αυτές προέρχονται κυρίως εκτός του πλαισίου της σημασιολογικής ανάλυσης και είναι περισσότερο λειτουργικές αφού χρησιμοποιούν στοιχεία από την έννοια της συνήθους αναπαράστασης και ενσωματώνουν σε αυτή στοιχεία από τη χρήση, τις λειτουργίες και το ρόλο της αναπαράστασης στην επιστημονική πρακτική είναι δηλαδή λειτουργικές αναλύσεις της επιστημονικής αναπαράστασης (Hughes, 1997· Suarez, 2004· Contessa, 2007· Frigg, 2010b).

2.3.4.1 Λειτουργικές αναλύσεις της επιστημονικής αναπαράστασης

Στον πυρήνα της έννοιας της αναπαράστασης *απλώς* είναι η έννοια της ειδικής αναφοράς (denotation). Ειδική αναφορά είναι η σχέση μεταξύ ενός χαρακτηρισμού και αυτού που χαρακτηρίζει και η οποία είναι ανεξάρτητη από την ομοιότητα (Goodman, 1976). Είναι ο τρόπος με τον οποίο κάτι αναφέρεται, συμβολίζει ή υποκαθιστά κάτι άλλο. Πολλές αναλύσεις θέτουν την αναφορά (denotation) ως το πρώτο συστατικό και στην επιστημονική αναπαράσταση. (Hughes, 1997· Contessa, 2007· Frigg, 2010b). Το πλεονέκτημα της έννοιας της ειδικής αναφοράς είναι ότι δεν προϋποθέτει ομοιότητα μεταξύ *πηγής* και *στόχου*, χωρίς όμως και να την αποκλείει. Το πρόβλημα από την άλλη είναι ότι δεν εξασφαλίζει τη γνωστική λειτουργία των μοντέλων ως εργαλεία μάθησης για το στόχο και στις αναλύσεις της επιστημονικής αναπαράστασης συνδυάζεται και με κάποια άλλα στοιχεία. Ο Hughes (1997) προτείνει το τρίπτυχο: *Ειδική αναφορά, Απόδειξη και Ερμηνεία (Denotation, Demonstration, Interpretation-DDI)* (ό.π. σ. S328). Ένα επιστημονικό μοντέλο συμβολίζει, υποκαθιστά ή αναφέρεται σε ένα φυσικό σύστημα με συγκεκριμένα στοιχεία του μοντέλου να αναφέρονται σε συγκεκριμένα στοιχεία του συστήματος (Denotation). Τα μοντέλα είναι *αναπαραστάσεις-ως*, που σημαίνει ότι αναπαριστούν το στόχο με κάποιον τρόπο ο οποίος αναδεικνύει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και που έχει τη δική του δυναμική. «Η εσωτερική δυναμική του μοντέλου μας επιτρέπει να εξαγάγουμε νέα ίσως και αναπάντεχα συμπεράσματα» (Demonstration) (ό.π. σ. S335). Τα συμπεράσματα που προκύπτουν ερμηνεύονται με τους όρους του στόχου (Interpretation). Το τρίτο αυτό βήμα είναι που μας επιτρέπει να μετακινηθούμε από το μοντέλο στο στόχο γιατί μόνο τότε γνωρίζουμε αν τα θεωρητικά συμπεράσματα αντιστοιχούν στα φαινόμενα.

Κοντά στην ανάλυση του Hughes τοποθετεί ο Suarez (2004) τη δική του ανάλυση που ονομάζει *συναγωγική αντίληψη* (inferential conception) για την αναπαράσταση. Στην ανάλυσή του ο Suarez καθορίζει τα δύο επιφανειακά χαρακτηριστικά που θεωρεί ότι είναι αναγκαίες συνθήκες για να είναι το A αναπαράσταση του B «(i) η αναπαραστατική δύναμη του A δείχνει προς το B και (ii) το A επιτρέπει σε έναν ικανό και ενήμερο χρήστη να διατυπώσει συμπεράσματα ειδικά για το B». Ως αναπαραστατική δύναμη ορίζει τη δυνατότητα που προσφέρει η *πηγή* σε έναν ικανό και ενήμερο χρήστη να μελετήσει μέσω αυτής το *στόχο*. Η ιδιότητα αυτή υπάρχει εφόσον καθορίζονται οι επιδιωκόμενες χρήσεις της *πηγής* και εξαρτάται από το πεδίο εφαρμογής της, όπως στην περίπτωση μοντέλων που αναπαριστούν διαφορετικούς στόχους. Το πρώτο χαρακτηριστικό εξασφαλίζει την κατεύθυνση της αναπαράστασης και εξαλείφει το πρόβλημα των λανθασμένων λογικών ιδιοτήτων του ισομορφισμού και της ομοιότητας σε σχέση με την αναπαράσταση. Από μόνο του αυτό το χαρακτηριστικό δεν αρκεί για την επιστημονική αναπαράσταση η οποία δεν είναι απλώς μια σύμβαση, όπως άλλες αναπαραστάσεις, αλλά πρέπει να έχει μια *αντικειμενικότητα*, με την έννοια ότι μπορεί να μεταφέρει πληροφορία (Suarez, 2004). Η αντικειμενικότητα εξασφαλίζεται από τη δυνατότητα για συλλογισμούς η οποία είναι μια χαλάρωση της απαίτησης του Hughes για *απόδειξη*. Ταυτόχρονα, εξηγεί και την λανθασμένη αναπαράσταση αφού προβλέπει να εξάγονται συμπεράσματα για το στόχο, όχι όμως απαραίτητα όλα αληθή ή όλα τα αληθή.

Ο Suarez (2010) αντικαθιστά την ειδική αναφορά με την αναπαραστατική δύναμη για δύο λόγους. Πρώτον, θεωρεί ότι η ειδική αναφορά υπονοεί ότι ο στόχος είναι ένα πραγματικό αντικείμενο, κριτήριο που καθιστά κάποια ιστορικά μοντέλα της επιστήμης μη αναπαραστατικά (όπως τα μοντέλα για τον αιθέρα). Δεύτερον, η ειδική αναφορά, στη συνήθη έννοια της αναπαράστασης, είναι απλώς καθορισμός μιας αντιστοίχισης και δεν προσφέρει κριτήρια για την επιλογή εκείνων των αναπαραστάσεων που είναι πιο αντικειμενικές (Suarez, 2004). Όμως ο Hughes (1997/S331), δέχεται ότι ένα μοντέλο μπορεί να αναφέρεται σε κάποιο μεμονωμένο φυσικό σύστημα αλλά και σε έναν τύπο συστήματος και ο τύπος συστήματος δεν είναι ένα υπαρκτό αντικείμενο. Επίσης, προβλέπει και αξιολόγηση μιας συγκεκριμένης αντιστοίχισης με πειραματικούς ελέγχους και δεν λέει ποθενά ότι αποκλείει την περίπτωση απόρριψής της.

Η σημαντική συνεισφορά του Suarez στην προσπάθεια περιγραφής της επιστημονικής αναπαράστασης είναι η σαφής διατύπωση της σχέσης μεταξύ της επιστημονικής αναπαράστασης και των συλλογισμών. Δεν αναζητά όμως μια βαθύτερη αιτία για αυτό πιθανόν διότι πιστεύει ότι η αναπαράσταση είναι εγγενής στο μοντέλο και δεν καθορίζεται

από εξωτερικούς παράγοντες. Για τον Suarez το μοντέλο, σε αντίθεση με τις θεωρίες, έχει το περιεχόμενο του *ενσωματωμένο* λόγω του ότι παρουσιάζεται με τις επιδιωκόμενες χρήσεις του ως *εσωτερικές* συνιστώσες (Suarez, 1999a, 79, 82, η έμφαση στο πρωτότυπο). Μια ελεύθερη διατύπωση αυτής της άποψης είναι ότι το μοντέλο είναι εξ' αρχής ερμηνευμένο με βάση τις επιδιωκόμενες χρήσεις του και η αναζήτηση της σχέσης μοντέλου-κόσμου είναι περιττή. Για αυτό και υποστηρίζει ότι οι λειτουργικές αναλύσεις είναι οι κατάλληλες για την περιγραφή της επιστημονικής αναπαράστασης.

Αν και όλοι οι φιλόσοφοι θα συμφωνούσαν ότι επειδή τα μοντέλα αναπαριστούν το στόχο επιτρέπουν και την εξαγωγή συμπερασμάτων για αυτόν, δεν φαίνεται να συμφωνούν στο ότι η αναπαράσταση είναι εγγενής στα μοντέλα. Αντίθετα, αναζητούν τις προϋποθέσεις για την αναπαράσταση που απαιτούνται για αυτή (Contessa 2007 · Frigg, 2010). Ο Contessa (2007) θεωρεί ότι η δυνατότητα της διατύπωσης συμπερασμάτων είναι χαρακτηριστικό των αναπαραστάσεων που ονομάζει *επιστημικές* και το οποίο τις διακρίνει από τις αναπαραστάσεις που προκύπτουν από *ειδική αναφορά*, όπως είναι η περίπτωση ενός λογότυπου. Σε αυτό που ονομάζει *ερμηνευτική αντίληψη της επιστημονικής αναπαράστασης* (interpretational conception of epistemic representation) «ένα μέσο είναι επιστημική αναπαράσταση ενός συγκεκριμένου στόχου, για έναν [ή πολλούς χρήστες], αν ο χρήστης υιοθετεί μια ερμηνεία του μέσου με τους όρους του στόχου» (Contessa, 2007).

Ο Contessa χαρακτηρίζει την *ερμηνεία* ως *αναλυτική* αφού γίνεται με κάποια μορφή ισομορφισμού που προκύπτει από μια ανασυγκρότηση της ερμηνείας της πηγής με τους όρους του στόχου και την παρουσιάζει ως ικανή και αναγκαία συνθήκη για την επιστημική αναπαράσταση. Σε μια τέτοια επιστημική αναπαράσταση ο χρήστης μπορεί να διατυπώσει *έγκυρους* αλλά όχι απαραίτητα *ορθούς* συλλογισμούς. Αν μερικοί ή όλοι οι έγκυροι συλλογισμοί είναι και ορθοί τότε έχουμε την *πιστή επιστημονική αναπαράσταση* (faithful epistemic representation). Η πιστότητα όμως έχει διαβαθμίσεις. Τα επιστημονικά μοντέλα είναι επιστημικές αναπαραστάσεις κάποιων, αλλά όχι όλων, των πτυχών ενός συστήματος στον κόσμο και συνεπώς είναι *μερικώς πιστές επιστημικές αναπαραστάσεις*. Η γνώση του χρήστη για τις εξιδανικεύσεις και τις προσεγγίσεις που περιλαμβάνει το μοντέλο και η ικανότητά του να χρησιμοποιεί το μοντέλο του επιτρέπει να αξιολογεί πόσο πιστά αναπαριστά το μοντέλο αυτές τις πτυχές. Η δυνατότητα διαβαθμίσεων στην πιστότητα ενσωματώνει τις περιπτώσεις της λανθασμένης αναπαράστασης και εξασφαλίζει ότι την ιδιότητα της αναπαράστασης διατηρούν και τα μοντέλα που δεν οδηγούν σε κανένα ορθό συμπέρασμα, δηλαδή που γνωρίζουμε ότι είναι λανθασμένα.

Αν η ανάλυση του Contessa μπορεί να περιγραφεί ως *ειδική αναφορά + αναλυτική ερμηνεία*, η ανάλυση του Frigg για τη σχέση του μοντέλου και του στόχου, η t-αναπαράσταση, περιγράφεται ως *ειδική αναφορά + μετάφραση* (Frigg, 2010b, σ. 126). Το πρώτο καθορίζει σε τι αφορά το μοντέλο και το δεύτερο εξασφαλίζει τη γνωστική σύνδεση μεταξύ του μοντέλου και του στόχου, δηλαδή τη δυνατότητα διατύπωσης ισχυρισμών για το στόχο από τους οποίους αναμένουμε να μάθουμε πράγματα που δεν γνωρίζαμε για το υπό μελέτη σύστημα (ό.π. σ. 127). Η *μετάφραση* γίνεται με τη βοήθεια κάποιου κώδικα, που ο Frigg ονομάζει *κλειδί* και το οποίο βοηθάει το χρήστη στη *μετάφραση των δεδομένων* που αφορούν στο μοντέλο σε *ισχυρισμούς* για το σύστημα του οποίου είναι μοντέλο¹³. Η t-αναπαράσταση απορρίπτεται αν δεν ισχύει ένα από τα δύο κριτήρια, δηλαδή αν δεν υπάρχει το σύστημα-στόχος ή αν η πηγή δεν έχει εγγενείς ιδιότητες που μεταφράζονται με τη βοήθεια του κλειδιού. Επειδή τα *γεγονότα* (facts) είναι αληθή αλλά οι *ισχυρισμοί* (claims) μπορεί να είναι αληθείς ή ψευδείς, η ανάλυση επιτρέπει το *misrepresentation* (ό.π. σ. 129). Το συνολικό σχήμα, που ο Frigg ονομάζει «ανατομία της επιστημονικής μοντελοποίησης», περιλαμβάνει όχι μόνο το μοντέλο και το σύστημα αλλά και την περιγραφή του συστήματος η οποία επιβάλλει στο χρήστη να φανταστεί το μοντέλο. Το μοντέλο, λέει ο Frigg, είναι μια p-αναπαράσταση της περιγραφής. Η περιγραφή επιβάλλει στον παρατηρητή ή τον αναγνώστη ένα νοητικό περιεχόμενο πάνω στο οποίο μπορεί να σκεφτεί για κάτι που δεν υπάρχει. Έτσι, τα μοντέλα του αιθέρα είναι επίσης αναπαραστατικά, ανήκουν όμως στις p-αναπαραστάσεις (ό.π. σ. 123). Η ανάλυση όμως δεν διευκρινίζει υπό από ποιες συνθήκες ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις και δίνει μόνο ενδεικτικές απαντήσεις για τι μπορεί να είναι το *κλειδί* (ό.π. σ. 40). Το *κλειδί* ανήκει στην «αναπαραστατική στρατηγική¹⁴» του μοντέλου και δεν είναι ενσωματωμένο σε αυτό. Ο Frigg προτείνει δύο κλειδιά. Τα ένα είναι η *ταυτότητα*, δηλαδή η υπόθεση ότι τα γεγονότα στο μοντέλο ή τουλάχιστον μια κατάλληλα ορισμένη τάξη αυτών είναι επίσης γεγονότα για τον κόσμο. Το άλλο είναι το *ιδανικό όριο* και υποθέτει ότι οι εξιδανικεύσεις που υπάρχουν στο μοντέλο είναι τέτοιες ώστε, θεωρητικά, να μπορούν να επιτευχθούν με πειραματικές διορθώσεις τέτοιες ώστε με κάθε διόρθωση η συμπεριφορά του συστήματος να τείνει μονοτονικά προς τη συμπεριφορά του μοντέλου στο όριο αυτό. Αυτά τα δύο *κλειδιά* πιθανόν να αποτελούν μια μερική απάντηση στο πρόβλημα που ο Contessa (2007) θεωρεί ανοικτό στο πρόβλημα της αναπαράστασης. Συγκεκριμένα, «γιατί

¹³ Η πρόταση του Frigg είναι μέρος μιας γενικότερης θεώρησης που δίνει απαντήσεις για την οντολογία των μοντέλων, για το πώς αυτά αναπαριστούν το στόχο, αλλά και στο πρόβλημα του στυλ. Για την οντολογία των μοντέλων βλ. σ. 49-50 και για το πρόβλημα του στυλ σ. 35.

¹⁴ Βλ. σ. 35

αυτά που συμβαίνουν στο μοντέλο μας λένε οτιδήποτε για αυτά που συμβαίνουν στον κόσμο;».

Η απάντηση της Elgin (2009, σ. 80) στο ερώτημα του Contessa για τις προϋποθέσεις της επιστημονικής αναπαράστασης είναι η *υποδειγματοποίηση* (exemplification). *Υποδειγματοποίηση* είναι η αναπαράσταση ενός συστήματος ψ με ένα μοντέλο x που αναπαριστά το ψ ως z . Η αναπαράσταση ως z υποδειγματοποιεί ορισμένες ιδιότητες και τις αποδίδει στο ψ . Αυτές οι υποδειγματοποιημένες ιδιότητες είναι που συνδέουν το x με το ψ . Αυτή σύνδεση προσφέρει επιστημική πρόσβαση στο σύστημα. Όπως και τα επιστημονικά πειράματα, η *υποδειγματοποίηση* χαρακτηρίζεται από *επιλεκτικότητα* (selectivity), δηλαδή την απομόνωση επιλεγμένων ιδιοτήτων και τη *συγκεκριμενοποίηση* (instantiation), δηλαδή την περιγραφή συνθηκών που εκδηλώνονται οι ιδιότητες. Η υποδειγματοποίηση αναδεικνύει ιδιαιτερότητες, μοτίβα και συνδέσεις οι οποίες αλλιώς μπορεί να πέρασαν απαρατήρητες. Η Elgin βλέπει την υποδειγματοποίηση σε όλα τα είδη μοντέλων της επιστήμης. Τα θεωρητικά μοντέλα υποδειγματοποιούν τους νόμους της επιστήμης, τα φαινομενολογικά υποδειγματοποιούν τα χαρακτηριστικά που δεν αποτυπώνονται σε νόμους και τα μοντέλα δεδομένων επιφέρουν την υποδειγματοποίηση με την οργάνωση και τη βελτιστοποίηση των πειραματικών αποτελεσμάτων ώστε να αναδεικνύονται μοτίβα και διαφορές που αποκρύπτονται στα ανεπεξέργαστα δεδομένα (ό.π. σ. 87).

Η πιο πραγματιστική ανάλυση για την επιστημονική αναπαράσταση είναι αυτή των Callender and Cohen (2006), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει τίποτα ιδιαίτερο στην επιστημονική αναπαράσταση σε σχέση με τα άλλα είδη αναπαράστασης. Σύμφωνα με την ανάλυσή τους, όλα τα είδη αναπαράστασης μπορούν να εξηγηθούν ως παράγωγα κάποιου πιο βασικού είδους αναπαράστασης, αυτής των νοητικών καταστάσεων. Η επιστημονική αναπαράσταση είναι και αυτή ένα είδος αναπαράστασης στην οποία τα διάφορα αναπαραστατικά μέσα (μοντέλα, εξισώσεις κλπ.) αναπαριστούν το στόχο επειδή αυτός που παρουσιάζει το μοντέλο ισχυρίζεται ότι τον αναπαριστά και σκοπεύει να εγείρει στους χρήστες την πεποίθηση ότι όντως το αναπαριστά. Η παρουσίαση της αναπαράστασης με κάποια μορφή απλώς διευκολύνει την επικοινωνία, τη διατύπωση συναγωγών κλπ. Όπως κάθε πεδίο έχει τους δικούς του περιορισμούς έτσι και η επιστήμη έχει τους δικούς της που καθοδηγούν στην επιλογή κάποιων συγκεκριμένων τύπων αναπαράστασης οι οποίοι καθορίζονται από τους χρήστες και όχι από τις ιδιότητες του αναπαραστατικού μέσου. Ο ισομορφισμός, η ομοιότητα και οι άλλοι τύποι της αναπαράστασης δεν είναι παρά χρηστικά βοηθήματα, πιθανότατα προσαρμοσμένα στην αρχιτεκτονική του ανθρώπινου μυαλού, για την αναγνώριση της σχέσης που έχει προκύψει με άλλα μέσα.

2.3.4.2 Μοντέλα και εξιδανίκευση-αφαίρεση-προσέγγιση

Άμεσα σχετιζόμενες με τον αναπαραστατικό ρόλο των μοντέλων είναι η εξιδανίκευση, η αφαίρεση και η προσέγγιση διότι αφορούν σε τεχνικές για την κατασκευή μοντέλων που αναπαριστούν συγκεκριμένα φυσικά συστήματα. Το ότι τα μοντέλα αναπαριστούν τον κόσμο με έναν αφαιρετικό και εξιδανικευμένο τρόπο είναι αδιαμφισβήτητο στη φιλοσοφία της επιστήμης. Αυτήν την ιδιαιτερότητα προσπαθούν να αποτυπώσουν οι da Costa and French (2003) με την ιδέα του μερικού ισομορφισμού στη σχέση μεταξύ θεωρίας και πειράματος αφού, με βάση αυτή τη γενική παραδοχή, ισομορφισμός μεταξύ των δύο αυτών δομών δεν επιτυγχάνεται στην πράξη. Στην περίπτωση του Suppe (1989) το γεγονός αυτό εκφράζεται ρητά από την ιδέα των μοντέλων ως αντιγεγονικές περιγραφές των πραγματικών συστημάτων. Για τον Suppe, η διαφορά μεταξύ της αφαίρεσης και της εξιδανίκευσης έγκειται στο αν είναι ή δεν είναι αιτιακά δυνατόν οι συνθήκες που περιγράφονται στο μοντέλο να πραγματοποιούνται στο σύστημα. Η υπόθεση μιας ηλεκτρικά απομονωμένης σφαίρας μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους κατάλληλους πειραματικούς ελέγχους και είναι μια περίπτωση καθαρής αφαίρεσης (abstraction). Η υπόθεση όμως ότι ένα σώμα είναι σημειακό είναι μια εξιδανίκευση (idealization) διότι το άπειρο βαρυτικό δυναμικό ενός τέτοιου του σώματος είναι αιτιακά αδύνατο στο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής. (ό.π. σ. 95-6).

Ο Suppe ουσιαστικά έχει προσθέσει έναν αιτιακό παράγοντα στα δύο είδη εξιδανίκευσης στα οποία εστιάζουν οι φιλοσοφικές συζητήσεις, την αριστοτελική και τη γαλιλεική εξιδανίκευση. Η αφαίρεση αντιστοιχεί στην αριστοτελική εξιδανίκευση η οποία περιγράφει την απομάκρυνση από το πρόβλημα όλων των παραγόντων που πιστεύουμε ότι δεν είναι σχετικοί με αυτό, όπως στην περίπτωση της μελέτης του πλανητικού μας συστήματος όπου υποθέτουμε ότι οι πλανήτες είναι σφαίρες και ο Ήλιος είναι ακίνητος. Η εξιδανίκευση αντιστοιχεί στη γαλιλεική εξιδανίκευση η οποία αφορά στις σκόπιμες στρεβλώσεις που εισαγάγουμε στο μοντέλο, όπως σημειακές μάζες και λεία επίπεδα, όταν η πραγματική κατάσταση είναι πολύ πολύπλοκη στη διαχείρισή της (Frigg and Hartmann. 2012). Οι περισσότεροι φιλόσοφοι αποδέχονται αυτή τη διάκριση, όχι πάντοτε με την ίδια ορολογία (Morrison, 1999, σ. 38· Cartwright, 1989· Portides, 2007a) ενώ κάποιoi έχουν περιγράψει πιο αναλυτικές ταξινομήσεις (McMullin, 1985· Weisberg, 2007). Η αφαίρεση και η εξιδανίκευση δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενες και στα μοντέλα συνήθως συναντούμε και τις δύο. Δεν είναι όμως ούτε ανεξάρτητες. Σε κάποιες περιπτώσεις η αφαίρεση, ως απομάκρυνση παραγόντων, μπορεί να έχει επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά του συστήματος. Δεν ισχύει όμως και το αντίστροφο επειδή η αφαίρεση είναι μια πιο ευρεία έννοια από την

εξιδανίκευση και η τελευταία μπορεί να θεωρηθεί ως μια ειδική περίπτωση αφαίρεσης (Portides, 2005b).

Με δεδομένη την πολυπλοκότητα της φύσης η γαλιλεϊκή εξιδανίκευση είναι βασικό εργαλείο για την αντιμετώπισή της. Πώς όμως από μια στρεβλωμένη περιγραφή ενός συστήματος μπορούμε να μάθουμε για την πραγματικότητα; Ο Laymon (1991) θεωρεί την εξιδανίκευση ως το ιδανικό όριο μιας συνθήκης. Η εξιδανίκευση μας λέει κάτι για το σύστημα αν σε μια σειρά μικρών διαδοχικών πειραματικών διορθώσεων, ανάλογες με αυτές των νοητικών πειραμάτων, η συμπεριφορά του συστήματος τείνει μονοτονικά προς το ιδανικό όριο¹⁵. Αυτό όμως δεν είναι πάντοτε δυνατό. Η γενική απάντηση της φιλοσοφίας στο πιο πάνω ερώτημα είναι η *απεξιδανίκευση* (de-idealisation), δηλαδή η «χαλάρωση» των εξιδανικεύσεων¹⁶. Επειδή γνωρίζουμε ποια είναι τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που έχουν εξιδανικευθεί μπορούμε με την προσθήκη διορθώσεων να έρθουμε πιο κοντά στο πραγματικό σύστημα. Υπόρρητα στην έννοια της απεξιδανίκευσης βρίσκεται η ιδέα ότι οι διορθώσεις είτε υπαγορεύονται από τη θεωρία είτε προκύπτουν από αυτή με θεωρητικά αιτιολογημένους τρόπους (Giere, 1990, σ. 2· McMullin, 1985). Για τους υποστηρικτές της σημασιολογικής ανάλυσης των θεωριών αυτό είναι σημαντικό διότι το τελικό προϊόν της απεξιδανίκευσης, το οποίο και αναπαριστά το πραγματικό σύστημα, συνεχίζει να είναι μοντέλο της θεωρίας ή αντίστροφα υπάρχει μια αναπαράσταση για κάθε σύστημα στο πεδίο εφαρμογής της θεωρίας. Όπως όμως σημειώνει ο Suarez (1999b), αυτό θα ήταν σωστό αν η θεωρία είναι πλήρης ή αν με την πρόσθεση όλων των επιτρεπόμενων από τη θεωρία διορθώσεων υπολογίζονται όλες οι πτυχές της πραγματικής κατάστασης. Μπορεί με τη σταδιακή πρόσθεση παραγόντων να κατασκευάζονται «όλο και λιγότερο εξιδανικευμένες αναπαραστάσεις. Αυτές οι αναπαραστάσεις όμως μπορεί πραγματικά να μην αναπαριστούν τίποτα αληθινό.» (ό.π. σ. 182, η έμφαση στο πρωτότυπο.) Σύμφωνα με την Cartwright, οι διορθώσεις σε ένα μοντέλο που αναπαριστά πιο ρεαλιστικά ένα σύστημα σηματοδοτούν την «έξοδο από τη θεωρία» διότι είναι σχεδόν πάντα *ad verum*, δηλαδή μετακινούν το μοντέλο πιο μακριά από τη θεωρία και πιο κοντά στην αλήθεια (1983, σ. 14· 1999, σ. 251). Οι διορθώσεις στο μοντέλο προέρχονται από έναν κατάλογο που περιλαμβάνει η θεωρία ο οποίος όμως δεν εκτείνεται απεριόριστα¹⁷. Σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση θα υπάρχουν

¹⁵ Αυτή η ιδέα είναι ίδια με αυτή που χρησιμοποιεί ο Frigg στην ανάλυσή του για την επιστημονική αναπαράσταση ως ένα από τα κλειδιά για τη μετάφραση του μοντέλου (βλ. 40)

¹⁶ Η διαδικασία παρά το παραπλανητικό της όνομα τις περισσότερες φορές είναι το αντίστροφο της αφαίρεσης και όχι της εξιδανίκευσης (Cartwright, 1989, Portides, 2007a).

¹⁷ Η Cartwright (1989 σ. 207) ονομάζει τη διαδικασία αυτή *κύρια αφαίρεση* (material abstraction).

και άλλοι ειδικοί παράγοντες οι οποίοι δεν περιλαμβάνονται στον κατάλογο. Όταν οι θεωρητικές διορθώσεις τελειώσουν, η διαδικασία συνεχίζεται, κατά περίπτωση, ανάλογα με αυτούς τους ειδικούς αυτούς παράγοντες οπότε και πολλά ειδικά χαρακτηριστικά του συστήματος μπορεί να επαναπροστίθενται στο μοντέλο (Cartwright, 1989, σ. 209). Τη διαδικασία αυτή η Cartwright την ονομάζει *συγκεκριμενοποίηση* (concretization, η έμφαση δική μου). Ο Suarez υποστηρίζει μια παρόμοια θέση με αυτή της Cartwright αλλά με μια βασική διαφορά. Αυτό που συμβαίνει σε κάθε περίπτωση, λέει ο Suarez (1999b σ. 182), είναι ότι οι διορθώσεις υπαγορεύονται από ένα μοντέλο το οποίο είναι ανεξάρτητο από τη θεωρία και συνήθως προκύπτει απευθείας από τα φαινόμενα. Αυτός είναι ένας βασικός τρόπος με τον οποίο τα μοντέλα διαμεσολαβούν μεταξύ της θεωρίας και του κόσμου. Επιβάλλουν στη θεωρία τις διορθώσεις που είναι απαραίτητες για να δώσει πολλές από τις εφαρμογές της (Suarez, 1997, σ. 35).

Οι έννοιες της εξιδανίκευσης και της αφαίρεσης μπορεί να αποτελούν χαρακτηρισμούς του τελικού αποτελέσματος της διαδικασίας κατασκευής ενός μοντέλου ή να περιγράφουν πτυχές της ίδιας της διαδικασίας. Το ίδιο ισχύει και στην προσέγγιση. Ο ισχυρισμός του Giere ότι το μοντέλο μοιάζει με το στόχο, σε κάποιες πτυχές και σε κάποιο βαθμό, αφορά στο πρώτο. Το ενδιαφέρον των φιλοσόφων όμως εστιάζεται στη μεθοδολογία της κατασκευής και της διαχείρισης των μοντέλων και, όπως φαίνεται και από τη συζήτηση που προηγήθηκε, αφορούν στο δεύτερο. Η προσέγγιση, ως διαδικασία, εντάσσεται στο μαθηματικό πλαίσιο της περιγραφής των μοντέλων τόσο διότι εξασφαλίζει ότι οι εξισώσεις που προκύπτουν από την εξιδανίκευση και την αφαίρεση είναι επιλύσιμες αλλά και διότι εξηγεί τις διαφορές μεταξύ των ποσοτικών προβλέψεων των μοντέλων με τα πειραματικά αποτελέσματα. Από αυτή την άποψη η προσέγγιση είναι σημαντικό στοιχείο στη σχέση θεωρίας/πειράματος (Portides, 2007b). Ο Redhead (1980), περιγράφοντας την προσέγγιση στο μαθηματικό πλαίσιο, αναφέρει δύο τρόπους με τους οποίους μπορούμε να προσεγγίσουμε τη λύση μιας εξίσωσης. Είτε να αρκεστούμε σε μια προσεγγιστική λύση μιας ακριβούς εξίσωσης είτε να απλοποιήσουμε την ίδια την εξίσωση και να υπολογίσουμε μια ακριβή λύση. Αν όμως ένα ζητούμενο της προσέγγισης είναι η σύγκριση των θεωρητικών προβλέψεων του μοντέλου με τα πειραματικά αποτελέσματα, τότε όχι μόνο οι άπειρες λογικά πιθανές προσεγγιστικές λύσεις μιας εξίσωσης θα υποτίθεται ότι αναπαριστούν το ίδιο φυσικό σύστημα αλλά και θα δίνουν ελαφρώς διαφορετικά αριθμητικά αποτελέσματα που πιθανόν να μην είναι πειραματικά διακρίσιμα και που θα άφηνε τη σχέση θεωρίας/πειράματος ανεξήγητη. Και για τους δύο πιο πάνω λόγους η επιλογή μιας θεωρητικής αναπαράστασης θα έμοιαζε αυθαίρετη (Portides, 2007b). Πιθανόν, η βασική

ιδέα της απομόνωσης της μαθηματικής προσέγγισης είναι ότι σε ένα μαθηματικό πλαίσιο δεν εγείρονται θέματα φυσικής ερμηνείας. Αυτό όμως δεν φαίνεται να ισχύει στην περίπτωση των μοντέλων. Στα μοντέλα η μαθηματική προσέγγιση συνεπάγεται όχι μόνο μαθηματική αλλά και φυσική απλοποίηση του προβλήματος (Morrison, 1999 σ. 42). Με ένα παρόμοιο σκεπτικό ο Portides (2007b) ισχυρίζεται και το αντίθετο, ότι δηλαδή η φυσική απλοποίηση του προβλήματος που γίνεται με την εξιδανίκευση υπαγορεύει και τις μαθηματικές προσεγγίσεις στο μοντέλο. Για την κατασκευή ενός μοντέλου που αναπαριστά ένα συγκεκριμένο σύστημα, ένα θεωρητικό μοντέλο προσαρμόζεται έτσι ώστε να αναφέρεται στο συγκεκριμένο σύστημα ενσωματώνοντας όλη την ειδική γνώση για αυτό. Αυτό συνεπάγεται μια σταδιακή απεξιδανίκευση του αρχικού μοντέλου. Οι προσεγγίσεις γίνονται τόσο στα επιμέρους στάδια όσο και στην τελική περιγραφή. Σε κάθε βήμα της προσαρμογής του μοντέλου προστίθεται σε αυτό ένας διορθωτικός παράγοντας ο οποίος προσεγγίζεται με μια μαθηματική εξίσωση που απλοποιεί την περιγραφή των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Προσεγγίσεις γίνονται και στην τελική περιγραφή ώστε η εξίσωση που προκύπτει να είναι όχι ακριβής αλλά αρκετά κοντά και, κυρίως, επιλύσιμη. Μέσα από αυτό το σκεπτικό είναι που ο Portides (ό.π.) ισχυρίζεται ότι η προσέγγιση συνδέεται με την εξιδανίκευση αφού οι δύο βρίσκονται σε συνεχή αλληλεπίδραση. Αυτή είναι η πραγματιστική και μεθοδολογική πτυχή της σχέσης μεταξύ των δύο εννοιών η οποία όμως εξηγεί και τη σχέση θεωρίας/πειράματος.

2.3.5 Μοντέλα και αλήθεια

Το γεγονός ότι τα μοντέλα δεν είναι, και δεν μπορούν να είναι, μια ακριβής εικόνα της φύσης λόγω της πολυπλοκότητάς της αλλά και των ορίων που θέτει η δυνατότητα της μαθηματικής επεξεργασίας των μοντέλων, μπορεί να είναι μια γενική παραδοχή της φιλοσοφίας, εγείρει όμως ερωτήματα για την “αλήθεια” των μοντέλων. Οι εξιδανικεύσεις και οι αφαιρέσεις που γίνονται στην κατασκευή των μοντέλων αυτόματα απομακρύνουν τα μοντέλα από την αυστηρή έννοια της αλήθειας. Ο ισχυρισμός στο ρεαλιστικό στρατόπεδο είναι ότι τα μοντέλα είναι κατά προσέγγιση αληθή. Οι εξιδανικεύσεις και οι αφαιρέσεις μας απομακρύνουν από το πραγματικό σύστημα αλλά η σταδιακή απεξιδανίκευση φέρνει το μοντέλο πιο κοντά στο φυσικό σύστημα. Απόδειξη για την αλήθεια των μοντέλων είναι για τους ρεαλιστές το γεγονός ότι τα μοντέλα κάνουν επιτυχείς προβλέψεις οι οποίες γίνονται καλύτερες με τις απεξιδανικεύσεις, αν και αυτό το επιχείρημα καταρρέει αν ένα μοντέλο δεν δίνει καλές προβλέψεις. Αυτός όμως ο ισχυρισμός βασίζεται στην υπόθεση ότι με την προσθήκη διορθώσεων βελτιώνουμε το σύστημα άλλα αυτό δεν ισχύει για όλα τα μοντέλα (Cartwright, 1989). Στην πράξη, οι επιστήμονες, όταν η κατάσταση γίνει πολύ πολύπλοκη,

αλλάζουν πλαίσιο περιγραφής του φαινομένου (Hartman, 1999). Τα διαφορετικά μοντέλα για τον ατομικό πυρήνα είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα. Όταν οι επιστήμονες κατάλαβαν ότι οι ενεργειακές στάθμες του πυρήνα έπαιζαν σοβαρό ρόλο στη συμπεριφορά του δεν διόρθωσαν το μοντέλο της σταγόνας αλλά κατασκεύασαν ένα άλλο μοντέλο. Αυτή η πολλαπλότητα προσφέρει ένα ακόμη επιχείρημα στους αντιρεαλιστές. Τα μοντέλα αυτά προκύπτουν από διαφορετικές θεωρίες, ασύμβατες μεταξύ τους και χρησιμοποιούνται για να γίνονται προβλέψεις για τον ίδιο στόχο. Αν η επιτυχία των προβλέψεων των μοντέλων είναι ένδειξη για την αλήθεια της σχετικής θεωρίας, καταλήγουμε στο παράδοξο οι ασύμβατες αυτές θεωρίες να είναι όλες αληθείς. Η απάντηση των ρεαλιστών είναι ότι κάθε μοντέλο αποκαλύπτει μία πτυχή του φαινομένου και όλα μαζί προσφέρουν μια πιο πλήρη εξήγηση. Ο Giere (1999, σ. 79) απαντάει στο πρόβλημα των διαφορετικών μοντέλων με την ιδέα του *προοπτικού ρεαλισμού* (perspectival realism). Όπως κάθε παρατήρηση, έτσι και κάθε μοντέλο είναι η εικόνα του κόσμου από μια συγκεκριμένη οπτική γωνία και κατά συνέπεια, είναι πάντοτε *μερική* (ό.π. σ. 80, η έμφαση στο πρωτότυπο). Όπως και στην περίπτωση των διαφορετικών χαρτών που κατασκευάζονται για να απεικονίσουν διαφορετικά στοιχεία μιας περιοχής και περιλαμβάνουν ένα συγκεκριμένο είδος πληροφορίας για αυτή και παρόλα αυτά τους θεωρούμε ρεαλιστικούς, έτσι και διαφορετικά μοντέλα μπορεί να απεικονίζουν διαφορετικές πτυχές της πραγματικότητας.

Υπάρχει βέβαια και το ιστορικό επιχείρημα. Αν τα μοντέλα είναι έστω και κατά προσέγγιση ή μερικώς αληθή πώς εξηγούνται τα λανθασμένα ιστορικά μοντέλα, όπως αυτά του αιθέρα; Το παράδειγμα των χαρτών του Giere (ό.π. σ. 81), δίνει μια απάντηση, αφού είναι δυνατόν να κατασκευαστούν λανθασμένοι χάρτες ή και χάρτες φανταστικών περιοχών. Όσον αφορά στη σχέση αυτών με την πραγματικότητα, ο Giere (1990, σ. 107) υποστηρίζει ότι η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του κόσμου λύνει αυτό το πρόβλημα. Είτε ο αιθέρας υπάρχει είτε όχι, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μοιάζει σε πολλές πτυχές σε μια διαταραχή σε κάποιο μέσο σαν τον αιθέρα. Η ομοιότητα μπορεί να αντικαταστήσει την κατά προσέγγιση αλήθεια διότι είναι στην πραγματικότητα μια προσέγγιση σε κάποιες πτυχές και σε κάποιο βαθμό. Η θέση του Giere είναι ένα είδος ρεαλισμού που ο ίδιος ονομάζει *οικοδομιστικό ρεαλισμό*. *Οικοδομιστικό* διότι βασίζεται στην αρχική συμφωνία για τους ισχυρισμούς της ομοιότητας και *ρεαλισμό* διότι οι ομοιότητες μεταξύ του μοντέλου και του κόσμου περιορίζονται σε αυτές τις πτυχές που είναι κατά μία έννοια “παρατηρήσιμες” (Giere, 2004).

Ο van Fraassen υποστηρίζει όχι την αλήθεια αλλά την εμπειρική επάρκεια μιας θεωρίας. Με αυτό εννοεί ότι αυτά που λέει η θεωρία για όσα είναι παρατηρήσιμα στον κόσμο είναι

αληθή, χωρίς αυτό να σημαίνει ταυτόχρονα και ότι όλες οι σημαντικές πτυχές των μοντέλων έχουν αντίστοιχα ταυτόσημα μέρη στην πραγματικότητα. Αυτή είναι μια θέση λιγότερο ισχυρή από την αλήθεια αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι μας απομακρύνει από τη μεταφυσική. Την επιστημική αυτή στάση την ονομάζει *οικοδομιστικό εμπειρισμό* (constructive empiricism) και βασίζεται στη βασική εμπειριστική θέση ότι η επιστήμη αναζητά την αλήθεια μόνο για τον εμπειρικό κόσμο και η απαίτηση της εξήγησης των παρατηρήσιμων κανονικότητων της φύσης με αλήθειες που αφορούν σε μια πραγματικότητα πέρα από αυτό που είναι πραγματικό και παρατηρήσιμο δεν παίζει κανένα ρόλο στην επιστημονική διαδικασία (van Fraassen, 1980 σ. 203).

2.3.6 Μοντέλα και αφηγηματικές επινοήσεις

Το καθολικά αποδεκτό γεγονός στη φιλοσοφία της επιστήμης ότι τα μοντέλα είναι, στην καλύτερη περίπτωση, μόνο κατά προσέγγιση αληθή έρχεται σε αντίθεση με τον τρόπο με τον οποίο οι επιστήμονες μιλούν για τα μοντέλα. Φαίνεται ότι η βασισμένη στα μοντέλα επιστημονική πρακτική έχει διαμορφώσει στα μέλη της επιστημονικής κοινότητας μια «λαϊκή οντολογία» (folk ontology), ένα είδος «πλασματικού ρεαλισμού» (fictional realism) (Godfrey-Smith, 2009). Η στάση αυτή εκφράζεται από το γεγονός ότι οι επιστήμονες ενώ έχουν επίγνωση των αφαιρέσεων, των εξιδανικεύσεων, των προσεγγίσεων και των άλλων υποθέσεων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των μοντέλων, αναφέρονται σε αυτά ως και τα συστήματα που περιγράφουν να είναι υπαρκτά ή ως να είναι *φανταστικά υλικά αντικείμενα*, δηλαδή, υποθετικά ή φανταστικά αντικείμενα που θα ήταν υλικά αν ήταν πραγματικά (Godfrey-Smith, 2006). Ο Thomson-Jones (2010) ονομάζει τα συστήματα περιγράφουν τα μοντέλα *απόντα συστήματα* (missing systems) και την πρακτική των επιστημόνων να μιλούν για αυτά σαν να είναι υπαρκτά *πρακτική της ονομαστικής αξίας* (face value practice). Η φιλοσοφία από την άλλη προτιμάει να περιγράφει τα μοντέλα ως αφηρημένα αντικείμενα ή μαθηματικές δομές και, κατά τον Giere, η επιλογή οφείλεται στο ότι αυτή η προσέγγιση είναι, από την πλευρά της μεταφυσικής, λιγότερο αμφίβολη ή, τουλάχιστον, με λιγότερα μεταφυσικά προβλήματα (όπως αναφέρει ο Godfrey-Smith, 2006). Αυτό όμως έχει αλλάξει τα τελευταία χρόνια. Κάποιοι φιλόσοφοι προσπαθούν να περιγράψουν τη φύση των μοντέλων ή/και τις λειτουργίες τους στην επιστήμη αντλώντας στοιχεία από τη βιβλιογραφία για τα φανταστικά αντικείμενα ή τις αφηγηματικές επινοήσεις.

Πολλοί σημειώνουν τις ομοιότητες μεταξύ των μοντέλων και των φανταστικών χαρακτήρων (fictional entities) και καταστάσεων που περιγράφονται στα κείμενα των αφηγηματικών επινοήσεων. Αυτοί οι χαρακτήρες και οι καταστάσεις είναι προϊόντα της δημιουργικής

φαντασίας κάποιου συγκεκριμένου δημιουργού (Contessa, 2010) και συνεπώς δεν υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο (Contessa, 2010· Frigg, 2010a, b), δεν έχουν ειδική αναφορά σε τίποτα (Frigg, 2010b), έχουν περισσότερες ιδιότητες από αυτές που ρητά αναφέρονται στην περιγραφή τους λόγω λογικής ή μεταφυσικής αναγκαιότητας αλλά και επιπλέον περιεχόμενο που αναδεικνύεται με την επεξεργασία της αφήγησης (Contessa, 2010· Frigg, 2010a). Επίσης, όπως και οι χαρακτήρες των μυθιστορημάτων, μπορούν να συγκριθούν με τον κόσμο (Frigg, 2010a). Αυτοί οι φιλόσοφοι, αν και δεν αρνούνται τις διαφορές μεταξύ μοντέλων και αφηγηματικών επινοήσεων, πιστεύουν ότι οι ομοιότητες μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων.

Για τον Contessa (2010) τις ομοιότητες αυτές τις συναντούμε στην πλειοψηφία των μοντέλων τα οποία ονομάζει *φανταστικά μοντέλα* (fictional models), χωρίς όμως να αποκλείει την πιθανότητα κάποιες από τις οντότητες που αναφέρονται σε αυτά να είναι υπαρκτές. Τα *φανταστικά μοντέλα* ανήκουν στην ίδια οικογένεια με τις φανταστικές οντότητες των μυθιστορημάτων αλλά έχουν διττή φύση. Είναι αφηρημένα αντικείμενα που όμως αντιπροσωπεύουν κάποιο σύστημα από ένα σύνολο πιθανών πραγματικών συστημάτων. Οι αρχικές περιγραφές των φανταστικών μοντέλων είναι *ορθές* αλλά όχι *πλήρεις* περιγραφές των πιθανών πραγματικών συστημάτων. Είναι όμως δεκτικές σε επέκταση και «αυτή η “δεκτικότητα” είναι που τα κάνει τόσο ενδιαφέροντα σε εμάς» (ό.π., η έμφαση στο πρωτότυπο.) Οι προτάσεις που περιλαμβάνονται στο μοντέλο ή προκύπτουν από την επεξεργασία του, οι *εσωτερικές προτάσεις* (internal sentences), είναι αληθείς για το μοντέλο και «λόγω εγγύτητας» (by proxy) είναι αληθείς για κάθε ένα από τα πιθανά πραγματικά συστήματα που μπορούν να αναπαριστούν.

Άλλες αναλύσεις αφορούν στην ή και στην επιστημονική αναπαράσταση. Στην περιγραφή της αναπαράστασης ως *υποδειγματοποίηση* η Elgin (2009 σ. 89) θεωρεί ότι το πλαίσιο των *αφηγηματικών επινοήσεων* είναι αυτό που απομονώνει και αναδεικνύει τις επιλεγμένες ιδιότητες με τον καλύτερο τρόπο. Η Elgin αντιλαμβάνεται ένα μοντέλο ως ένα σύμβολο που κωδικοποιεί πληροφορία για τον κόσμο. Η ερμηνεία του συμβόλου υπόκειται στον έλεγχο των εμπειρικών δεδομένων, επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων και υποδεικνύει τρόπους δράσης στο πεδίο εφαρμογής του. Η περιγραφή ενός μοντέλου ως *αφηγηματική επινοήση* διατηρεί αυτά τα χαρακτηριστικά και συνεπώς δεν στερεί από το μοντέλο την αντικειμενικότητά του, από τη στιγμή που οδηγεί στην κατανόηση του τι συμβαίνει στη φύση (ό.π. σ. 89).

Οι Toon (2010a,b) και Frigg (2010a,b) προσεγγίζουν την επιστημονική αναπαράσταση μέσα από τη *θεωρία προσποίησης* (pretence theory) του Walton (1990) για την αναπαράσταση στις τέχνες. Σύμφωνα με τον Walton, οι αναπαραστάσεις *λειτουργούν ως σκηνικά στοιχεία* (props) σε *παιχνίδια προσποίησης*. Τα σκηνικά στοιχεία μας υπαγορεύουν, όχι να πιστεύουμε αλλά να *φανταζόμαστε* κάποια πράγματα τα οποία είναι φανταστικές αλήθειες (fictional truths), δηλαδή είναι αληθή για το σκηνικό στοιχείο. Τα επιστημονικά μοντέλα, διαγράμματα, φωτογραφίες, μοντέλα σε κλίμακα ή θεωρητικά μοντέλα, λέει ο Toon, είναι αναπαραστάσεις με την έννοια του Walton (ό.π.). Ένα θεωρητικό μοντέλο για τον Toon είναι η *προετοιμασμένη περιγραφή* της Cartwright μαζί με την εξίσωση, και είναι αναπαράσταση διότι *μας υπαγορεύει να φανταστούμε πράγματα για αυτό που είναι φανταστικές αλήθειες*, δηλαδή, αληθή στο μοντέλο χωρίς να είναι απαραίτητα αληθή σε κάποιο σύστημα. Για παράδειγμα, στο πλαίσιο ενός παιχνιδιού προσποίησης, η προετοιμασμένη περιγραφή μαζί με τις εξισώσεις για το απλό εκκρεμές μας υπαγορεύουν να φανταζόμαστε ότι η μάζα του εκκρεμούς είναι σημειακή ή ότι το νήμα δεν είναι εκτατό. Η ακρίβεια του μοντέλου σε κάποια πτυχή αξιολογείται από το αν και πόσα από αυτά που μας υπαγορεύει να φανταστούμε είναι αληθή για το αντικείμενο που αναπαριστά. Στην περίπτωση που δεν είναι αληθή έχουμε μια λανθασμένη αναπαράσταση (Toon, 2010a). Για τον Toon, το πλεονέκτημα της ανάλυσης αυτής είναι ότι δε βασίζεται στην περιγραφή μιας σχέσης μεταξύ ενός μοντέλου και ενός πραγματικού συστήματος και έτσι επιτρέπει και στα μοντέλα που δεν αναπαριστούν κανένα υπαρκτό αντικείμενο να είναι αναπαραστατικά. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όχι μόνο τα μοντέλα του αιθέρα αλλά και το μοντέλο μιας γέφυρας που δεν έχει ακόμη κατασκευαστεί καθώς και η περιγραφή του απλού εκκρεμούς σε ένα εγχειρίδιο φυσικής. Είναι όλα αναπαραστατικά διότι λειτουργούν ως σκηνικά στοιχεία σε ένα παιχνίδι προσποίησης. Η ανάλυση του Toon δεν είναι μια θεωρία για την αναπαράσταση. Ο Toon περιγράφει τι σημαίνει για ένα αντικείμενο να μοντελοαναπαριστά και ταυτόχρονα διακρίνει τη μοντελοαναπαράσταση από την αναφορά.

Στην ανάλυση του Toon το μοντέλο αναπαριστά άμεσα το σύστημα με το να μας υπαγορεύει να φανταστούμε πράγματα για αυτό. Αν και βασίζεται σε μια θεωρία που αφορά στα έργα φαντασίας, ο Toon δεν ισχυρίζεται ότι τα μοντέλα είναι φανταστικές οντότητες ή ότι μας υπαγορεύουν να κατασκευάζουμε στο μυαλό μας μια φανταστική ή αφηρημένη οντότητα που με τη σειρά της αναπαριστά το πραγματικό αντικείμενο. Αυτή την προσέγγιση έχει ο Frigg (2010a,b). Κατά τον Frigg, η λεκτική περιγραφή του μοντέλου δεν είναι ποτέ μια αληθής περιγραφή του πραγματικού συστήματος. Μας οδηγεί όμως να φανταστούμε ένα σύστημα, το *πρότυπο σύστημα* (model system), που ένα *φανταστικό φυσικό σύστημα*

(imagined physical system) (2010a) παρόμοιο με τα αντικείμενα της αφηγηματικής φαντασίας (2010b σ. 257)¹⁸. Σε αυτό το φανταστικό σύστημα είναι που εφαρμόζονται τα μαθηματικά που προκύπτουν από την μαθηματική περιγραφή του μοντέλου. Από αυτά τα συστήματα μαθαίνουμε για τον κόσμο όχι συγκρίνοντας ένα φανταστικό αντικείμενο με ένα πραγματικό αλλά συγκρίνοντας τις ιδιότητες που υποτίθεται ότι έχει το πρότυπο σύστημα με τις ιδιότητες που πραγματικά έχει το φυσικό σύστημα (2010b σ. 263, η έμφαση δική μου). Σε αυτό το πιο πολύπλοκο σχήμα εντάσσονται και τα δύο είδη αναπαράστασης που προβλέπει ο Frigg στην ανάλυσή του¹⁹. Η περιγραφή είναι μια αναπαράσταση του *πρότυπου συστήματος* με την έννοια του Walton και του Toon, επειδή μας υπαγορεύει να φανταστούμε το *πρότυπο σύστημα*, είναι δηλαδή μια *p-αναπαράσταση* και το πρότυπο σύστημα αναπαριστά το πραγματικό με *ειδική αναφορά + μετάφραση*, είναι δηλαδή μια *t-αναπαράσταση*. Οι φανταστικές οντότητες όμως είναι αμφιλεγόμενες διότι εγείρουν διάφορα μεταφυσικά προβλήματα. Ο Frigg (2010b σ. 264) ισχυρίζεται ότι η ανάλυση είναι συμβατή με μια αντιρεαλιστική θέση για τις φανταστικές οντότητες. Αυτό όμως δημιουργεί πρόβλημα στην *t-αναπαράσταση*, διότι την αναπαράσταση την κάνει ένα αντικείμενο που δεν υπάρχει (Toon, 2010a σ. 17).

Πολλοί φιλόσοφοι είναι όμως πολύ σκεπτικοί στο να δεχθούν ένα χαρακτηρισμό των μοντέλων με βάση τις φανταστικές οντότητες. Θεωρούν ότι η αντίληψη αυτή προκύπτει από παρερμηνείες για τα χαρακτηριστικά των μοντέλων ή/και οδηγεί σε κάποιες. Ο Giere (2009 σ. 255) υποστηρίζει ότι αν η θέση ότι τα μοντέλα είναι φανταστικά αντικείμενα οφείλεται στο ότι έχουν χαρακτηριστικά που δεν είναι αληθή για τα πραγματικά συστήματα τότε προϋποθέτει έναν πολύ αυστηρό ορισμό της αλήθειας ενός μοντέλου. Μια τέτοια θέση ταυτίζει το στόχο των μοντέλων με το ιδανικό της απόλυτης αλήθειας, κάτι που δεν καταδεικνύει τον επιστημικό τους ρόλο (Portides, 2014 σ. 76). Αυτό που αποδεχόμαστε ως αληθές σε κάθε περίπτωση, άρα και στις αναπαραστάσεις, λέει ο Teller (2001) είναι αυτό που είναι επαρκώς αληθές, δηλαδή επαρκώς ακριβές σε σχέση με αυτά που μας ενδιαφέρουν σε κάθε μία περίπτωση, παραλληλίζοντας μια αναπαράσταση με έναν πιστό αλλά όχι καθ' όλα ακριβή χάρτη.

Ο Teller (2009) και ο Portides (2014) εστιάζουν στην εξιδανίκευση. Ο Teller (ό.π. σ. 240) πιστεύει ότι η αντίληψη των μοντέλων ως φανταστικών αντικειμένων εδράζεται σε μια παρανόηση της έννοιας της εξιδανίκευσης. Τα μοντέλα, λέει, περιλαμβάνουν συγκεκριμένες

¹⁸ Τα *πρότυπα συστήματα* είναι αυτά που ο Thomson-Jones ονομάζει *απόντα συστήματα*.

¹⁹ Βλ. σ. 40-41.

εξιδανικεύσεις ως συνιστώντα μέρη τους, για παράδειγμα υλικά σημεία ή συνεχή ρευστά. Αυτό όμως δεν καθιστά τα μοντέλα επινενοημένα αντικείμενα (object fictions) τα οποία αναπαριστούν αντικείμενα που δεν υπάρχουν στον κόσμο. Σε μια περιγραφή που μοιάζει να είναι κοντά σε αυτή του Toon, υποστηρίζει ότι οι εξιδανικεύσεις είναι φανταστικοί χαρακτηρισμοί για καταστάσεις πραγματικών αντικειμένων οι οποίες χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν πραγματικές τροχιές πραγματικών αντικειμένων ή πραγματικές συμπεριφορές πραγματικών ρευστών (ό.π. σ. 244).

Ο Portides (2014, σ. 78) ανησυχεί ότι με την απουσία της έννοιας της εξιδανίκευσης από την ανάλυση των μοντέλων χάνεται το μέσο αμοιβαίας ανατροφοδότησης μεταξύ μοντέλου και πειράματος που οδηγεί σε νέα γνώση. Οι εξιδανικεύσεις μπορεί να αυξάνουν την απόσταση μεταξύ της θεωρητικής περιγραφής και του πραγματικού συστήματος αλλά ταυτόχρονα υπαγορεύουν τι θα πρέπει να κάνουν οι επιστήμονες για να φέρουν το μοντέλο πιο κοντά στο σύστημα (ό.π. σ. 82). Οι παράγοντες που θα βοηθούσαν στη σύγκλιση μεταξύ μοντέλου και συστήματος δεν είναι γνωστοί εξ' αρχής αλλά είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της αρχικής αναπαράστασης με το πείραμα. Αυτή η διαδικασία που οδηγεί σε νέα γνώση για το στόχο είναι αναγκαία για τα μοντέλα διότι συνιστά τον επιστημικό τους ρόλο, αλλά δεν είναι αναγκαία για τις αφηγηματικές επινοήσεις καθώς η αλληλεπίδραση μεταξύ του έργου και του στόχου του είναι στις περισσότερες περιπτώσεις αδύνατη. Το βασικό συμπέρασμα του Πορτίδη είναι ότι θεωρώντας τα μοντέλα ως αφηγηματικές επινοήσεις όχι μόνο δεν μαθαίνουμε για τα μοντέλα αλλά αντίθετα αποκρύπτουμε τον ξεχωριστό επιστημικό ρόλο που έχουν στην επιστημονική πρακτική.

Ο Giere (2009 σ. 257) εγείρει και κάποιες άλλες πολιτισμικές πτυχές στη σύγκριση μεταξύ μοντέλων και αφηγηματικών επινοήσεων. Ένα είναι ότι τα μοντέλα και οι αφηγηματικές επινοήσεις ανήκουν σε δύο διαφορετικούς κόσμους. Σε αντίθεση με τα μυθιστορήματα (fictions), που είναι προϊόν ενός συγγραφέα, οι περιγραφές των επιστημονικών μοντέλων είναι από την αρχή αντικείμενα δημόσιας συζήτησης εντός της κοινότητας που συνήθως οδηγεί σε μικρές ή μεγάλες αλλαγές στις περιγραφές αυτές (ό.π. σ. 251). Ένα άλλο είναι ο ρόλος τους. Ο ρόλος των μοντέλων στην επιστήμη είναι να αναπαριστούν πτυχές του φυσικού κόσμου και σε αυτόν αξιολογούνται με βάση ποσοτικά χαρακτηριστικά όπως, το εύρος εφαρμογής, την ακρίβεια, την επαναληψιμότητα και την λεπτομέρεια. Η κριτική ενός μοντέλου όσον αφορά στην επάρκειά του ως αναπαράσταση μπορεί να οδηγήσει και στην απόρριψή του από την κοινότητα, κάτι που δε συμβαίνει με τα μυθιστορήματα. Ο Giere βάζει στην εικόνα και κάποιους ενδιαασμούς πολιτικής φύσης λόγω του γεγονότος ότι η λέξη είναι επιβαρυνμένη με νοήματα που δεν αντιπροσωπεύουν αυτό που κάνει η επιστήμη.

Ένας καθολικός χαρακτηρισμός των μοντέλων ως αφηγηματικών επινοήσεων μπορεί για πολλούς να θεωρηθεί ως δικαιολογία για να εντάξουν δικούς τους, μεταφυσικούς ή θεολογικούς, ισχυρισμούς στους επιστημονικούς και να κάνει τη διάκριση μεταξύ αφηγηματικής επινόησης και επιστήμης δυσδιάκριτη, σε βάρος της τελευταίας.

Η φιλοσοφική συζήτηση για τα μοντέλα ως αφηγηματικές επινοήσεις ξεκινά, όπως είδαμε, από την υπόθεση ότι τα συστήματα που περιγράφουν τα μοντέλα δεν υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο. Τα μοντέλα όμως *αναπαριστούν*, μέσα από τις επιστημονικές διαδικασίες της εξιδανίκευσης και της αφαίρεσης, συστήματα που υπάρχουν στον κόσμο. Όσο για τον τρόπο που μιλούν γι' αυτά οι επιστήμονες, δηλαδή ως υπαρκτά συστήματα μπορεί τελικά να μην έχει σημασία, να είναι ένας *τρόπος του λέγειν* ο οποίος κάνει τις προτάσεις πιο σύντομες και διευκολύνει την επικοινωνία των ιδεών. Για τους επιστήμονες ένα μοντέλο είναι το αντικείμενο της μελέτης τους και άρα για αυτούς είναι υπαρκτό. Αν η τάση αυτή των επιστημόνων είναι το σημείο εκκίνησης οποιασδήποτε ανάλυσης τότε είναι σαν να παίρνουμε αυτό που ο Thomson-Jones (2010) ονομάζει *πρακτική της ονομαστικής αξίας* (face value practice) με την ονομαστική της αξία. Πρώτον, να θεωρούμε ότι το σύστημα είναι υπαρκτό και να αναζητούμε να βρούμε τη φύση του και δεύτερον να υποθέτουμε ότι οι επιστήμονες έχουν επίγνωση της μετα-θεωρίας της πρακτικής τους κάτι που, όπως παρατηρεί ο Giere (2009 σ. 254), δε φαίνεται να ισχύει. Επίσης, οι επιστήμονες δεν έχουν αντίληψη των μετα-θεωρητικών επιπλοκών των γλωσσικών τους διατυπώσεων και φαίνεται ότι διαφορετικοί επιστήμονες έχουν πολύ διαφορετικές αντιλήψεις για τα μοντέλα οι οποίες εξαρτώνται από το πεδίο και το είδος της έρευνας (Bailer-Jones, 2002· Karnaou, Nicolaou, Constantinou, 2015).

Οι περισσότεροι φιλόσοφοι συμφωνούν στην ύπαρξη κάποιων ομοιοτήτων μεταξύ μοντέλων και φανταστικών αντικειμένων. Και τα δύο είναι προϊόντα της ανθρώπινης φαντασίας (Giere, 2009 σ. 249· Portides, 2014 σ. 77), κατασκευάζονται με τα ίδια γνωστικά εργαλεία δηλ. εξιδανίκευση και προσέγγιση (Teller, 2009· Portides, 2014 σ. 78) και η κατασκευή τους διευκολύνεται από τη γλώσσα (Giere, 2009 σ. 250). Επίσης, δέχονται ότι τα μοντέλα περιλαμβάνουν φανταστικά στοιχεία (Giere, 2009, σ. 253· Portides, 2014 σ. 77· Teller, 2009 σ. 238). Αλλά, επίσης, φαίνεται να πιστεύουν ότι το άλμα από την αποδοχή κάποιων ομοιοτήτων μεταξύ μοντέλων και φανταστικών οντοτήτων στην παραδοχή ότι τα μοντέλα είναι φανταστικά συστήματα είναι μεγάλο και πιθανόν στη λάθος κατεύθυνση. Το πεδίο των έργων φαντασίας είναι από μόνο του πολύ ασαφές για να μπορέσει να απαντήσει σε ερωτήματα για τις επιστημικές λειτουργίες των μοντέλων που δεν μπορούν να απαντηθούν από την ίδια την επιστημονική πρακτική. Αντίθετα, οι ομοιότητες μεταξύ

μοντέλων και έργων φαντασίας θα μπορούσαν να βοηθήσουν να μάθουμε για τις επιστημικές λειτουργίες των τελευταίων αφού η δημιουργία ενός λογοτεχνικού έργου, όπως τα κλασικά έργα της λογοτεχνίας, είναι ανάλογη της κατασκευής ενός μοντέλου κάποιου πιθανού κόσμου, δηλαδή κάποιας κατάστασης που θα μπορούσε να συμβεί στον πραγματικό κόσμο (Portides, 2014 σ. 78).

Ο Psillos (2011) θεωρεί ότι ο λόγος για τον οποίο κάποιοι φιλόσοφοι θεωρούν τα μοντέλα φανταστικά αντικείμενα είναι ότι δίνουν έμφαση στον τρόπο κατασκευής τους, συγκεκριμένα στις αφαιρέσεις και κυρίως στις εξιδανικεύσεις που τίθενται ως προϋποθέσεις στην κατασκευή τους, αγνοώντας το ρόλο τους ως τελικά προϊόντα. Ο Psillos χαρακτηρίζει τα μοντέλα ως φυσικές *αφηρημένες* οντότητες (ό.π. σ. 4, 8). Με αυτό εννοεί ότι αν, κατά Giere, ένα μοντέλο είναι το αντικείμενο που υπακούει σε έναν ορισμό, τότε στον ορισμό «η κίνησή του στον οριζόντιο άξονα ικανοποιεί τη σχέση $F = -kx$ », ο οποίος προέκυψε από αφαιρέσεις και εξιδανικεύσεις δεν υπακούει κανένα αντικείμενο στο φυσικό κόσμο, υπακούει όμως κάποια αφηρημένη οντότητα, ο απλός αρμονικός ταλαντωτής. Το ότι όμως ο απλός αρμονικός ταλαντωτής είναι αφηρημένο αντικείμενο δε σημαίνει, εκ των πραγμάτων, ότι είναι και φανταστικό. Τα μοντέλα δεν είναι υπαρκτά φυσικά αντικείμενα αλλά και δεν προορίζονται για να είναι. Είναι αφηρημένα αντικείμενα που έχουν κάποια αναπαραστατική σχέση με συστήματα του πραγματικού κόσμου. Μπορεί το μοντέλο να είναι μια αφηρημένη οντότητα αλλά τα κατηγορήματα με τα οποία το περιγράφουμε είναι πιθανόν να είναι φυσικά (για την περίπτωση του ταλαντωτή η απόσταση από τη θέση ισορροπίας, η μάζα, η δύναμη κλπ). Είναι η περιγραφή που καθιστά το μοντέλο κατάλληλο για να αναπαριστά φυσικά αντικείμενα. Η διάκριση μεταξύ διαδικασίας/προϊόντος εξηγεί και την επεξηγηματική τους ισχύ. Από τη μια, η κατασκευή τους γίνεται έτσι ώστε να διατηρείται η επαφή με το φυσικό κόσμο και από την άλλη, ως προϊόντα της διαδικασίας, βρίσκονται σε μια αναπαραστατική σχέση με πραγματικά συστήματα και καθορίζουν τις σχετικές με την εξήγηση ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά τους. Με τον χαρακτηρισμό των μοντέλων ως αφηρημένα αντικείμενα που προκύπτουν από κατηγορήματα που αφορούν στο φυσικό κόσμο, ο Psillos καταφέρνει να διατηρήσει την επαφή του μοντέλου με τον κόσμο και ακόμη και τη δυνατότητα για μια ρεαλιστική αντίληψη των θεωριών, υπό τον όρο ότι κάποιος αποδέχεται ότι αυτές περιλαμβάνουν συγκεκριμένες (concrete) αλλά και αφηρημένες οντότητες.

Τίθεται όμως και το γενικότερο ερώτημα: Είναι τελικά σκόπιμο ή χρήσιμο να μιλάμε για την οντολογία των μοντέλων; Ο French λέει πως όχι. Κατά πρώτο λόγο, μπορεί να μην είναι δυνατόν να δοθεί μια συνολική απάντηση για τη φύση των μοντέλων. Τα οντολογικά είδη

των μοντέλων μπορεί να είναι διαφορετικά κατά πεδίο αλλά ίσως και κατά εποχή. Αλλά και στην περίπτωση που αυτό θα ήταν δυνατό «η υποστασιοποίησή τους ως οντότητες ενός συγκεκριμένου είδους... δεν προσφέρει τίποτα στην εξήγηση των χαρακτηριστικών της επιστημονικής πρακτικής.» (French, 2010).

2.4 Επιστημονικά μοντέλα και ανθρώπινη νόηση

Αντικείμενο της Φιλοσοφίας της Επιστήμης είναι η κατανόηση και περιγραφή της ανθρώπινης επιστημονικής γνώσης για τον κόσμο καθώς και οι διαδικασίες της επιστήμης που βοηθούν στην απόκτησή της. Ο κεντρικός ρόλος της επιστημονικής γνώσης στο σημερινό κόσμο δεν επιδέχεται αμφισβήτηση. Παρά όμως την τεράστια σημασία της στη ζωή του σημερινού ανθρώπου η ίδια η επιστημονική γνώση αναπτύσσεται και διαμορφώνεται από έναν πολύ μικρό, συγκριτικά, αριθμό ανθρώπων, οι οποίοι λόγω του μεγάλου όγκου της έχουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης.

Μια βασική υπόθεση της σύγχρονης γνωστικής επιστήμης είναι ότι η ύπαρξη και μόνο της επιστημονικής γνώσης δείχνει ότι το ανθρώπινο είδος είναι βιολογικά ρυθμισμένο με τη δυνατότητα διαμόρφωσης αυτής της γνώσης. Με άλλα λόγια, παρά τις τεράστιες διαφορές της με την καθημερινή γνώση του μέσου ανθρώπου η επιστημονική γνώση θα πρέπει να είναι προϊόν των ίδιων βασικών γνωστικών λειτουργιών του ανθρώπινου μυαλού. Αυτή η υπόθεση έχει αντίκτυπο όχι μόνο στις γνωστικές επιστήμες, αφού καθιστά την επιστήμη ένα πεδίο το οποίο μπορούν να ελεγχθούν οι γνωστικές θεωρίες, αλλά και στη Φιλοσοφία της Επιστήμης καθώς της προσφέρει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει νέα εργαλεία, τις γνωστικές θεωρίες, για την περιγραφή και την εξήγηση της διαμόρφωσης και της εξέλιξης της επιστήμης. Με τα λόγια του Giere (1992, σ. xv) «οι γνωστικές επιστήμες έχουν φτάσει σε ένα σημείο ωριμότητας ώστε να προσφέρουν πολύτιμους πόρους στους φιλόσοφους της επιστήμης που διαμορφώνουν γενικές θεωρίες για την επιστήμη ως ανθρώπινη δραστηριότητα», δηλαδή, γνωστικά μοντέλα για την επιστήμη.

Αυτή η προσέγγιση ήταν εξοστρακισμένη από την κανονιστικού χαρακτήρα Φιλοσοφία της Επιστήμης την εποχή του Λογικού Θετικισμού αλλά και αργότερα, ως «ψυχολογισμός». Το πλαίσιο της ανακάλυψης, δηλαδή οι διαδικασίες με τις οποίες ένας επιστήμονας κατέληγε στη διατύπωση κάποιων υποθέσεων, δεν αφορούσε στη φιλοσοφία αλλά ανήκε στο θολό πεδίο της ψυχολογίας. Η θέση αυτή δεν οφείλεται μόνο στην εμμονή των φιλοσόφων του πρώτου μισού του 20^{ου} αιώνα με τη λογική αλλά και στην κατάσταση στο χώρο της ψυχολογίας εκείνη την εποχή. Η ψυχολογία όχι μόνο δεν ήταν σε ένα επίπεδο στο οποίο θα μπορούσε να συνεισφέρει στις ανάγκες της Φιλοσοφίας αλλά το κυρίαρχο κίνημα του

συμπεριφορισμού ήταν σχεδόν εχθρικό σε οποιοδήποτε προσπάθεια κατανόησης της σκέψης γενικότερα.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ της Φιλοσοφίας της Επιστήμης και της Ψυχολογίας ξεκίνησε σταδιακά από τη δεκαετία του 1960 από τη Φιλοσοφία της Επιστήμης με την ανάδυση ενός νέου επιστημολογικού ρεύματος το οποίο, σε αντίθεση με το ασφυκτικό πλαίσιο της Μαθηματικής Λογικής και του ακραίου Εμπειρισμού που χαρακτήριζε το Λογικό Θετικισμό, βάζει στο προσκήνιο της μελέτης την ιστορική έρευνα και τις δραστηριότητες των επιστημόνων. Με την εκθρόνιση του Λογικού Θετικισμού εμφανίζεται και μια νατουραλιστική στροφή στη φιλοσοφία στην οποία τίθενται ερωτήματα όχι για το πώς πρέπει να σκέφτονται οι επιστήμονες αλλά πώς πραγματικά σκέπτονται και δρουν. Αυτή η στροφή εκφράζεται στα λόγια του Quine (1969) «είναι καλύτερα να ανακαλύψουμε πώς η επιστήμη μαθαίνεται και εξελίσσεται στην πραγματικότητα παρά να κατασκευάσουμε μια φανταστική δομή που φτάνει στο ίδιο αποτέλεσμα...». Η επιστήμη που αναλύει το πώς οι άνθρωποι σκέπτονται και δρουν είναι η ψυχολογία και ο πρώτος επικαλέστηκε την ψυχολογία ήταν ο Kuhn (1962) όταν περιέγραψε την αλλαγή θεωρίας στην επιστήμη ως ένα μια αλλαγή Gestald. Σε αντίθεση με τον Kuhn όμως, ο Quine (1969) αναφέρεται ρητά στην αξιοποίηση της ψυχολογίας στην επιστημολογική έρευνα σε ένα ευρύτερο πλαίσιο. Αν η επιστημολογία, ενδιαφέρεται για τη σχέση τεκμηρίων και θεωρίας, λέει ο Quine, τότε πρέπει να ερευνήσει, «πώς τα πενιχρά ερεθίσματα που δέχεται ένα ανθρώπινο υποκείμενο δημιουργούν ένα χείμαρρο εκροών στο ανθρώπινο μυαλό... Ακόμα και ευφάνταστες κατασκευές που περιγράφουν πώς μπορεί να συμβαίνει αυτό προσφέρουν νύξεις για τις ψυχολογικές διαδικασίες, με τρόπο παρόμοιο με τις μηχανικές προσομοιώσεις...» Και αυτό μπορεί να γίνει από την εμπειρική ψυχολογία. Όμως η ψυχολογία Gestald και ο συμπεριφορισμός, είχαν στο μυαλό τους ο Kuhn και ο Quine αντίστοιχα, δεν ήταν επαρκείς για το έργο που θα έπρεπε να επιτελέσουν (Giere, 1992 σ. xvi).

Την εποχή που ο Quine διατύπωνε αυτές τις απόψεις, νύξεις για αυτές τις «ψυχολογικές διαδικασίες» στην επιστημονική πρακτική υπήρχαν ήδη σε κάποιες φιλοσοφικές αναλύσεις. Με την ανάδυση της έννοιας του μοντέλου ως εργαλείου της επιστημονικής πρακτικής πολλοί φιλόσοφοι αναγνωρίζουν στα μοντέλα χαρακτηριστικά που συνδέονται με γνωστικές διαδικασίες, όπως τα μοντέλα ως αναλογίες (Hesse, 1966· Achinstein, 1965) ή ως μεταφορές (Hutten, 1954· Harré 1961· Hesse, 1966). Ο Achinstein (1965), ο Harré (1961) και ο Hutten (1954) βλέπουν τα μοντέλα ως προτεινόμενους υποθετικούς μηχανισμούς που εξηγούν πώς συμβαίνει κάτι, γεγονός που υπογραμμίζει τη «λογική λειτουργία των μοντέλων που και είναι ο λόγος που τα καθιστά σημαντικά στην επιστήμη» (Hutten, 1954, η έμφαση στο

πρωτότυπο). Και αν η εξήγηση βοηθάει στην κατανόηση τότε έχουμε μια γνωστική δραστηριότητα. Η κατασκευή και η χρήση των μοντέλων, που έχει συγκεντρώσει πιο πρόσφατα το ενδιαφέρον της φιλοσοφίας, διαδικασίες στις οποίες ο επιστήμονας χρησιμοποιεί τη δημιουργικότητα και τη φαντασία του, «είναι διαδικασίες που αφορούν σε γνωστικές δραστηριότητες, αν και όχι απαραίτητα με τον ίδιο τρόπο...» (Bailer-Jones, 1999/36). Στην περιγραφή του ρόλου των μοντέλων ως αναπαραστάσεις, τα μοντέλα συνδέονται άμεσα με τη διατύπωση συλλογισμών (Suarez, 2004) αφού μια αναπαράσταση είναι «κάτι σαν “άδεια για τη εξαγωγή συμπερασμάτων”» (Frigg, 2010b σ. 98).

Δεν είναι όμως όλες οι επιδράσεις της γνωστικής επιστήμης και της ψυχολογίας στη φιλοσοφία έμμεσες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας άμεσης εφαρμογής της γνωστικής ψυχολογίας στη φιλοσοφία είναι η ιστορικο-γνωστική προσέγγιση της Nersessian (1992 2008b) για τη διαμόρφωση και την εξέλιξη των θεωριών. Προϋπόθεση στην ανάλυσή της είναι ότι καθοριστικός παράγοντας στην διαμόρφωση και εξέλιξη των θεωριών δεν είναι οι αφηρημένες και απρόσωπες «μεθοδολογίες» ή «ερευνητικές παραδόσεις» αλλά ο ίδιος ο επιστήμονας, ως γνωστικός παράγοντας. Χρησιμοποιώντας αναπαραστατικά εργαλεία από τη γνωστική ψυχολογία, όπως τα νοητικά μοντέλα, που είναι δομικά ανάλογα πραγματικών ή φανταστικών καταστάσεων και τις «εικόνες» (images) ως νοητικά μοντέλα ιδωμένα από μια συγκεκριμένη οπτική και διάφορες γνωστικές στρατηγικές, δείχνει πώς ο Maxwell, στηριζόμενος σε υπάρχουσες δομές και με την κατασκευή μηχανικών μοντέλων με τα οποία προσομοίωσε τα νέα φαινόμενα που είχε να αντιμετωπίσει στην ηλεκτροδυναμική, κατάφερε να διαμορφώσει μια εντελώς νέα θεωρία. Ταυτόχρονα, η γνωστική πτυχή της ανάλυσης της Nersessian έλυσε και το πρόβλημα της ανισομετρίας του Kuhn, καθώς έδειξε πώς είναι δυνατόν η εξέλιξη της επιστήμης να είναι συνεχής χωρίς απαραίτητα να είναι και αθροιστική.

Η ανάλυση της Nersessian αποδεικνύει, χρησιμοποιώντας τις ενέργειες του επιστήμονα, το συνεχές της επιστημονικής γνώσης αλλά η ανάλυσή της προϋποθέτει ένα άλλο συνεχές, αυτό των γνωστικών ικανοτήτων. Συγκεκριμένα, ότι οι γνωστικές πρακτικές των επιστημόνων είναι προεκτάσεις των πρακτικών που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι για να αντιμετωπίζουν το φυσικό και κοινωνικό τους περιβάλλον (Nersessian, 2002 σ. 135). Οι επιστήμονες μπορεί να είναι χαρισματικά άτομα αλλά έχουν εκείνες τις έμφυτες δυνατότητες που χαρακτηρίζουν το ανθρώπινο είδος. Οι απαιτήσεις του έργου που επιτελούν τους υποχρεώνουν να επεκτείνουν και να βελτιώνουν τις γνωστικές αυτές πρακτικές αλλά με έναν συνειδητό και αναστοχαστικό τρόπο. Μια επιστήμη βασισμένη στα μοντέλα μπορεί να είναι μια βελτιστοποίηση της ανθρώπινης ικανότητας να αναπαριστά

νοητικά τις καταστάσεις του κόσμου που τον περιβάλλει ώστε να μπορεί να προβλέπει την εξέλιξή τους και να τις αντιμετωπίζει κατάλληλα. Στην προϋπόθεση του συνεχούς των δυνατοτήτων στηρίζεται και η γνωστική προσέγγιση του Giere (1990, σ. 141) στην εξήγηση της επιστήμης αλλά με την έμφαση στις διαδικασίες λήψης απόφασης. Για τον Giere, οι επιστήμονες είναι πραγματικοί άνθρωποι, με όλα τα ανθρώπινα ενδιαφέροντα, αλλά είναι ταυτόχρονα και γνωστικοί παράγοντες οι οποίοι τάσσονται σε κάτι σαν «την αναζήτηση της αλήθειας». Σε αυτή την αναζήτηση αναπαριστούν την αιτιακή δομή του κόσμου με μοντέλα τα οποία είναι ένα ειδικό είδος αναπαράστασης. Στη δραστηριότητα της κατασκευής και της διαχείρισης των μοντέλων οι επιστήμονες λαμβάνουν εμπειριστατωμένες αποφάσεις, είτε για να επεξεργαστούν τη δομή του μοντέλου σε θεωρητικό επίπεδο είτε για το σχεδιασμό και την εκτέλεση πειραμάτων στο επίπεδο του ελέγχου. Αυτές οι αποφάσεις μπορούν να ερμηνευτούν ως μια εφαρμογή της ανθρώπινης κρίσης, με βάση τα μοντέλα λήψης απόφασης.

Η γενική εικόνα που αντανακλούν αυτές οι προσεγγίσεις είναι ότι η επιστήμη είναι μια γνωστική δραστηριότητα και η γνωστική ψυχολογία μελετά τις νοητικές διαδικασίες που υποστηρίζουν αυτή τη δραστηριότητα. Συνεπώς, η γνωστική ψυχολογία έχει ρόλο να διαδραματίσει στη φιλοσοφία και μάλιστα υποδειγματοποιεί τη νατουραλιστική φιλοσοφία αφού μπορεί να προσφέρει τα απαραίτητα τεκμήρια στις φιλοσοφικές συζητήσεις, όχι μόνο αναφορικά με τα μοντέλα αλλά και γενικότερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.

ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

3.1 Νους και νοητικές αναπαραστάσεις

Η ανακάλυψη, στη δεκαετία του '30, ότι κατάλληλα κατασκευασμένες μηχανές, όταν είχαν εισροές στην κατάλληλη μορφή, μπορούσαν να καταλήξουν σε συμπεράσματα με νόημα για τον κόσμο με διαδικασίες που δεν είχαν σχέση με το περιεχόμενο της πληροφορίας, οδήγησε στην ιδέα ότι το μυαλό θα μπορούσε να θεωρηθεί μια τέτοια υπολογιστική μηχανή. Αυτό είχε το πλεονέκτημα ότι «ήταν η μόνη επεξεργασμένη προσέγγιση μιας διαδικασίας που ήταν συμβατή με μια υλιστική προσέγγιση για το πώς πραγματοποιούνται η διαδικασία και, ταυτόχρονα, απέδιδε τη συμπεριφορά της διαδικασίας στη λειτουργία κανόνων που εφαρμόζονταν σε αναπαραστάσεις.» (Pylyshyn, 1980, η έμφαση στο πρωτότυπο). Αυτή η προσέγγιση, που ονομάζεται *υπολογιστική θεωρία του νου* (computational theory of mind) αποτελεί τη σύγχρονη εκδοχή της αναπαραστατικής θεωρίας του νου. Το ότι το μυαλό είναι μια υπολογιστική μηχανή αποτελεί σήμερα μια βασική υπόθεση της γνωστικής επιστήμης²⁰.

Χαρακτηριστικό μιας υπολογιστικής μηχανής είναι ότι έχει κάποιες εισροές, την πληροφορία, η οποία, στη μηχανή, μετασχηματίζεται, δηλαδή *αναπαρίσταται* σε κάποιον κώδικα και σε αυτή τη μορφή μετέχει στους “υπολογισμούς”, το αποτέλεσμα των οποίων αποτελεί τις εκροές του συστήματος. Η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να περιγραφεί σε τρία διαφορετικά επίπεδα. Σύμφωνα με την ορολογία του Marr (1982, σ. 72), το ανώτερο επίπεδο είναι το *υπολογιστικό*, που χαρακτηρίζεται από τις εισροές που δέχεται και τις εκροές που θα έχει καθώς και τη σχέση μεταξύ τους, δηλαδή αφορά στο στόχο των υπολογισμών. Το επόμενο, το *αλγοριθμικό*, αφορά στον τρόπο με τον οποίο αναπαρίσταται η πληροφορία και στον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία της και τέλος, το *επίπεδο εφαρμογής* που είναι το φυσικό υπόστρωμα στο οποίο πραγματοποιούνται οι διαδικασίες. Στην περίπτωση της ανθρώπινης νόησης, το υπολογιστικό επίπεδο αφορά στην εισερχόμενη πληροφορία και το συμπεριφορικό αποτέλεσμα, το αλγοριθμικό, που είναι το αντικείμενο μελέτης της ψυχολογίας, στον τρόπο με τον οποίο κωδικοποιείται η πληροφορία στις νοητικές αναπαραστάσεις και στις διαδικασίες επεξεργασίας τους και το χαμηλότερο στον ίδιο τον εγκέφαλο. Η διάκριση αυτή είναι σύμφωνη με την αρχή της ανεξαρτησίας των

²⁰ Η υπόθεση αυτή βοηθάει τη γνωστική επιστήμη να αποφύγει και το πρόβλημα της ερμηνείας, δηλαδή δεν χρειάζεται να απαντήσει στο ερώτημα, αφού οι αναπαραστάσεις είναι εσωτερικές καταστάσεις του οργανισμού “ποιος” τις βλέπει για να τις ερμηνεύσει; Σε μια υπολογιστική συσκευή υπάρχουν μόνο διαδικασίες.

ιδιοτήτων (principle of property independence, POPI) για τα υπολογιστικά συστήματα. Σύμφωνα με αυτή την αρχή, οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα υπολογιστικό σύστημα σε ένα χαμηλό επίπεδο συνήθως απουσιάζουν σε κάποιο ανώτερο επίπεδο λειτουργίας του συστήματος και αντίστροφα (Waskan, in press).

Συνεπώς, η έννοια της *αναπαράστασης* και συγκεκριμένα της *νοητικής αναπαράστασης*, είναι μια βασική έννοια της γνωστικής επιστήμης διότι οι νοητικές αναπαραστάσεις είναι αυτές που μετέχουν στις διάφορες νοητικές διαδικασίες. Οποιαδήποτε περαιτέρω κατανόηση των διαδικασιών αυτών, δηλαδή των “υπολογισμών”, απαιτεί μια υπόθεση για το είδος ή τα είδη της νοητικής αναπαράστασης που χρησιμοποιεί το ανθρώπινο μυαλό και τις διαδικασίες που τις υποστηρίζουν.

Οι απόψεις για τη μορφή των νοητικών αναπαραστάσεων στο χώρο της γνωστικής επιστήμης διχάζονται. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι οι νοητικές αναπαραστάσεις είναι μόνο *προτασιακές* (propositional) ενώ κάποιοι άλλοι θεωρούν ότι υπάρχουν και αναπαραστάσεις που είναι *νοερές οπτικές εικόνες* (visual mental images). *Προτασιακή* είναι η αναπαράσταση που αποτελείται από σειρές συμβόλων που αντιστοιχούν σε προτάσεις και η σκέψη είναι κάποια μορφή λειτουργίας σε αυτούς τους συμβολικούς κώδικες. Οι υποστηρικτές αυτής της υπόθεσης ισχυρίζονται ότι οι σκέψεις κωδικοποιούνται σε μια *Γλώσσα του Νοῦ* (Language of Thought, LOT)²¹. Οι προτασιακές αναπαραστάσεις σε αυτή τη γλώσσα αντιστοιχούν σε προτάσεις της λογικής. Οι νοερές οπτικές εικόνες αφορούν στις περιπτώσεις στις οποίες μπορούμε, με το μυαλό μας, να δούμε πράγματα που δεν είναι μπροστά μας. Μια τέτοια νοερή οπτική εικόνα δεν μοιάζει με φωτογραφία. Είναι ένα σύνολο αναπαραστάσεων που προκαλεί την εμπειρία της όρασης στην απουσία του αντίστοιχου οπτικού ερεθίσματος. Η δημιουργία αυτών των νοερών εικόνων υποστηρίζεται από την πληροφορία που βρίσκεται στη μνήμη (Kosslyn, 2005). Αυτές είναι του ίδιου τύπου με αυτές που δημιουργούνται κατά τις αρχικές φάσης της αντίληψης και διατηρούν τα αντιληπτικά χαρακτηριστικά του ερεθίσματος προκαλώντας την υποκειμενική εμπειρία της αντίληψης. (Kosslyn, Thompson & Ganis, 2006, σ. 4). Ο χαρακτηρισμός τους ως «νοερές» σημαίνει ότι πραγματοποιούνται ως καταστάσεις του εγκεφάλου αλλά και διακρίνονται από το λειτουργικό και υπολογιστικό τους ρόλο στη νόηση. Ο λόγος για την ύπαρξη τέτοιων νοερών εικόνων είναι, πιθανόν, η αξιοποίηση των υπολογιστικών δυνατοτήτων του οπτικού

²¹ Η γλώσσα αυτή αναφέρεται ως *mentalese*.

συστήματος σε διάφορους συλλογισμούς στην απουσία οπτικού ερεθίσματος (Stillings, Weisler, Chase, Feinstein, Garfield & Rissland, 1998 σ. 46).

Η βασική υπόθεση στην έρευνα για τις νοερές οπτικές εικόνες είναι ότι αποτελούν ένα διακριτό είδος αναπαράστασης και ότι η αρχιτεκτονική του νου θα πρέπει να περιλαμβάνει και διαδικασίες για την επεξεργασία κάποιων πτυχών της οπτικής πληροφορίας που υπάρχει στις νοερές οπτικές εικόνες, διαδικασίες που είναι διαφορετικές από αυτές που υποστηρίζουν τις προτασιακές (Stillings et al, 1998 σ. 43). Ο Pylyshyn (2003, σ. 242) υποστηρίζει ότι η νοητική εμπειρία της όρασης δεν έχει αιτιακό ρόλο στους συλλογισμούς και δεν οφείλεται στον τρόπο κωδικοποίησης της πληροφορίας αλλά στο περιεχόμενό της, εμπειρία του οποίου έχουμε από τις αισθήσεις (ό.π. σ. 247, 248). Σε αυτή τη θεώρηση η διαδικασία του συλλογισμού με εικόνες (imagistic reasoning) θα περιλαμβάνει τους ίδιους μηχανισμούς και τις ίδιες μορφές αναπαράστασης που έχουν γενικά οι συλλογισμοί απλώς έχουν διαφορετικό περιεχόμενο ή αντικείμενο (Pylyshyn, 2002, σ. 158).²²

Ο Johnson-Laird (1983, 1996) υιοθετεί την υπόθεση του τριπλού κώδικα σύμφωνα με την οποία υπάρχουν τρία είδη αναπαράστασης, οι *προτασιακές αναπαραστάσεις*, οι *εικόνες* και τα *νοητικά μοντέλα*. Οι αναπαραστάσεις αυτές είναι

λογικά διακριτές σε κάποιο επίπεδο ανάλυσης και υπάρχουν ως διαφορετικές επιλογές για την κωδικοποίηση της πληροφορίας... Αυτές οι αναπαραστάσεις διαφέρουν μεταξύ τους όχι μόνο στις εγγενείς τους ιδιότητες, όπως η δομή και το περιεχόμενο, αλλά και στις λειτουργίες που υπηρετούν.... (Johnson-Laird 1983, σ. 146, 154).

Όταν λέει «λογικά διακριτές σε ένα επίπεδο ανάλυσης» εννοεί ότι είναι δομές υψηλότερου επιπέδου από το βασικό επίπεδο κωδικοποίησης της υπολογιστικής μηχανής, που μπορεί να είναι μόνο σειρές συμβόλων. Όπως και στην περίπτωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, οι νέες διαδικασίες αναπτύσσονται σε ένα ψηλότερο επίπεδο το οποίο δουλεύει με δομές ανωτέρου επιπέδου, οι οποίες, στην εφαρμογή, μετατρέπονται στη βασική γλώσσα κωδικοποίησης του εγκεφάλου.

Οι *προτασιακές αναπαραστάσεις*, όπως τις αντιλαμβάνεται ο Johnson-Laird, δεν είναι σειρές συμβόλων, όπως θα ήταν στο επίπεδο του κώδικα της μηχανής, αλλά «μια νοητική αναπαράσταση μιας πρότασης με νόημα που μπορεί να εκφραστεί λεκτικά» (1983, σ. 155). Οι *εικόνες* είναι αναπαραστάσεις των αισθητηριακών πτυχών μιας κατάστασης, όπως αυτή

²² Το βάρος του επιχειρήματος του Pylyshyn στρέφεται κυρίως ενάντια στην φωτογραφική αντίληψη (pictorial view) για τις νοερές εικόνες.

φαίνεται από την οπτική γωνία του παρατηρητή και οι λειτουργίες σε αυτές είναι οπτικές ή χωρικές ανακατατάξεις (Johnson-Laird, 1996, σ. 93, 124). Είναι οπτικοποιήσεις προτάσεων με εντελώς διαφορετικό περιεχόμενο και έχουν συμβολική λειτουργία (ό.π. σ. 124).

Τα νοητικά μοντέλα είναι εικονικές αναπαραστάσεις που κατασκευάζονται από το νόημα των προτάσεων, τις αντιλήψεις για τον κόσμο και οποιαδήποτε σχετική γενική γνώση. Μπορεί να περιλαμβάνουν και αφηρημένα στοιχεία που δεν μπορούν να οπτικοποιηθούν και συνήθως αναπαριστούν μια τάξη καταστάσεων με έναν οικονομικό τρόπο. Διατηρούν τη δομή της κατάστασης που περιγράφουν οι γλωσσικές εκφράσεις, δηλαδή, μέρος του μοντέλου αντιστοιχεί σε μέρος αυτού που αναπαριστά και στις σχέσεις μεταξύ τους, όπως σε ένα διάγραμμα (Johnson-Laird, 1996, σ. 93). Ένα νοητικό μοντέλο μπορεί είναι δυναμικό, δηλαδή να περιλαμβάνει και διαδικασίες που μιμούνται της συμπεριφορά του συστήματος που αναπαριστά (Johnson-Laird, 1983, σ. 10).

3.2 Η ιστορία των νοητικών μοντέλων

Ο Johnson-Laird (2004), στο άρθρο του για την ιστορία των νοητικών μοντέλων ως εσωτερικών εικόνων του εξωτερικού κόσμου, παραπέμπει σε αναφορές των φυσικών του 19^{ου} αιώνα, όπως ο Boltzmann (1899/1974) και ο Maxwell (1861). Ο Boltzmann (ό.π.) αναφέρει ότι η εικόνα που έχει ένας επιστήμονας στο μυαλό του για μια θεωρία είναι αυτή που πρέπει να τον οδηγεί στη σκέψη και στο πείραμα. Οι ενέργειες του επιστήμονα, λέει ο Boltzmann, «δεν είναι παρά αυτό που σε μικρή κλίμακα έχει στο μυαλό του όταν διαμορφώνει μια ιδέα». Τις πρώτες πειραματικές ενδείξεις για γνωστικές διαδικασίες που χρησιμοποιούσαν εικόνες προέκυψαν από τα πειράματα του Tolman (1948) όταν παρατήρησε ότι ποντίκια που έπρεπε να αναζητήσουν την τροφή τους σε ένα λαβύρινθο μπορούσαν να βρουν το συντομότερο δρόμο προς αυτή και σε ένα νέο περιβάλλον, όταν άλλαζε η μορφή του λαβύρινθου και η δίοδος που συνήθως χρησιμοποιούσαν ήταν κλειστή. Από αυτό συμπεράνε ότι το μυαλό του ποντικιού κατασκευάζει αυτό που ονόμασε «γνωστικό χάρτη» του περιβάλλοντος ο οποίος είναι ένα ευρύτερο πλάνο του χώρου και όχι η στενή λωρίδα του λαβύρινθου. Η ιδέα της εξωτερικής πραγματικότητας που απεικονίζεται «ως μοντέλο σε μικρή κλίμακα στο μυαλό» που «μιμείται την πραγματικότητα» και το οποίο βοηθάει τον οργανισμό στο να προβλέψει και να αντιμετωπίσει το περιβάλλον του δοκιμάζοντας, νοητικά, διάφορες εκδοχές της έκβασης των πραγμάτων είχε διατυπωθεί λίγα χρόνια νωρίτερα από τον ψυχολόγο Craik, το 1943, σε μια καινοτόμο, για την εποχή της, προσέγγιση για την λειτουργία του νου.

Ο Craik (1943 σ. 57) βλέπει το μυαλό σαν μια μηχανή «του ίδιου είδους... [με] αυτές που βοηθούν στη σκέψη και στους υπολογισμούς» διότι, όπως και οι μηχανές αυτές, το μυαλό χρησιμοποιεί συμβολισμούς. Όταν μιλάει για συμβολισμούς ο Craik (ό.π. σ. 56, 57) εννοεί συνδυασμούς καταστάσεων ηλεκτρικής διέγερσης στο νευρικό σύστημα, οι οποίες καθορίζουν μοναδικά μία κατάσταση και η αλληλεπίδραση των οποίων είναι δυνατόν να αντιστοιχεί σε αιτιακές σχέσεις που αναπαριστούν αιτιακές σχέσεις στον εξωτερικό κόσμο²³. Ο νους μιμείται την πραγματικότητα όχι ως εικόνα αλλά μεταφράζοντάς τη σε καταστάσεις διέγερσης και καταγισμούς παλμών. Οι συναγωγές είναι η διέγερση, “λόγω συσχέτισης”, άλλων νευρωνικών μοτίβων η επαναμετάφραση των οποίων είναι το συνειδητό συμπέρασμα ή οι φυσικές αντιδράσεις του οργανισμού (ό.π. σ. 53). Ιδέες που σήμερα αποτελούν μέρος της αντίληψης για τη λειτουργία του νου, όπως η ενίσχυση των νοητικών διαδικασιών από εξωτερικές αναπαραστάσεις, γραπτά ή προφορικά σύμβολα και η αξία τους στην επιβίωση αναφέρονται επίσης στην ανάλυση του Craik (ό.π. σ. 56, 60). Την εποχή που ο Craik κατέγραφε αυτές τις ιδέες κυριαρχούσε στην ψυχολογία ο συμπεριφορισμός και το κλίμα ήταν εχθρικό σε οτιδήποτε νοητικό. Με την αποδυνάμωση του συμπεριφορισμού μια νέα αντίληψη αναδύθηκε για τον άνθρωπο, αυτή ενός όντος που δεν αντιδρά απλώς στα εξωτερικά ερεθίσματα αλλά εμπλέκεται με το περιβάλλον, σκέφτεται και αποφασίζει. Η ανάπτυξη των υπολογιστικών μηχανών πρόσφερε, επίσης, ένα νέο πλαίσιο αντίληψης του νου και ένα μέτρο για τις ανθρώπινες επιδόσεις και τις υποκείμενες ικανότητες δίνοντας ώθηση στην ανάπτυξη της γνωστικής επιστήμης.

3.3 Το επεξηγηματικό πλαίσιο των νοητικών μοντέλων

Η έννοια του νοητικού μοντέλου ως μιας οργανωμένης μονάδας νοητικής αναπαράστασης της γνώσης χρησιμοποιείται ως επεξηγηματικό εργαλείο στην έρευνα για πολλές γνωστικές διαδικασίες. Για το λόγο αυτό, ακολουθώντας τη Nersessian (2008b), στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά σε «πλαίσιο». Η βασική υπόθεση αυτού του πλαισίου είναι ότι «κάποιες νοητικές αναπαραστάσεις της γνώσης σε συγκεκριμένα πεδία είναι οργανωμένες σε μονάδες οι οποίες περιλαμβάνουν γνώση χωροχρονικής δομής, αιτιακές συνδέσεις και άλλες δομές σχέσεων» (Nersessian, 2008b, σ. 11). Η έννοια του νοητικού μοντέλου εμφανίζεται στη βιβλιογραφία σε δύο εκδοχές. Η μία αφορά σε κατασκευές της μνήμης εργασίας που χρησιμοποιούνται στους λογικούς συλλογισμούς, στην κατανόηση συνομιλίας και στην κατανόηση κειμένου. Η άλλη, αφορά στην κατασκευή νοητικών μοντέλων σε πεδία

²³ Αυτή η αντίληψη μοιάζει με την πιο πρόσφατη πρόταση του Barsalou (1999) για ένα σύστημα φυσικών συμβόλων (physical symbol system) (βλ. σ. 76).

στα οποία είναι απαραίτητη συγκεκριμένη προϋπάρχουσα αιτιακή γνώση, όπως στην περίπτωση των συλλογισμών για τη συμπεριφορά φυσικών συστημάτων, οπότε σημαντικό ρόλο έχουν και δομές γνώσης από τη μακροπρόθεσμη μνήμη. Αυτά τα νοητικά μοντέλα διαφέρουν από τα προηγούμενα και στο ότι θα πρέπει να περιλαμβάνουν επίσης κινηματικές και δυναμικές σχέσεις μεταξύ των μερών που τα αποτελούν. Αυτή η αντίληψη διαμόρφωσε και στη φιλοσοφία της επιστήμης έναν νέο “ψυχολογισμό” από φιλοσόφους που προσπαθούν να περιγράψουν και να εξηγήσουν την επιστήμη και τις επιστημονικές γνωστικές δραστηριότητες μέσα από την ανθρώπινη γνωστική ικανότητα, όπως αυτή περιγράφεται από τη γνωστική επιστήμη (Nersessian, 1992· 2008a,b· Waskan, in press· 2010· Thagard, 2012).

3.3.1 Νοητικά μοντέλα και λογικοί συλλογισμοί

Κάθε άνθρωπος έρχεται καθημερινά αντιμέτωπος με καταστάσεις στις οποίες χρειάζεται η λήψη αποφάσεων, η αξιολόγηση υποθέσεων, η διατύπωση επιχειρημάτων ή η επίλυση προβλημάτων. Αυτές οι διαδικασίες απαιτούν συλλογιστικές δεξιότητες οι οποίες είναι μεν δεδομένες αλλά είναι δύσκολο να εξηγηθούν. Η πρώτη απάντηση των ψυχολόγων στο πρόβλημα της μορφής των ανθρώπινων συλλογισμών ήταν ότι το ανθρώπινο μυαλό έχει τυπική νοητική λογική η οποία αποτελείται από αφηρημένους συντακτικούς κανόνες συναγωγών, παρόμοιους με αυτούς της τυπικής λογικής. (O'Brien, 2009· Pylyshyn, 2003, σ. 243, 252). Η υπόθεση της ύπαρξης κάποιας τυπικής νοητικής λογικής όμως εγείρει μια σειρά από ερωτήματα στα οποία οι υποστηρικτές της θεωρίας δεν φαίνεται να μπορούν να δώσουν επαρκείς απαντήσεις. Για παράδειγμα, οι κανόνες της τυπικής νοητικής λογικής είναι εγγενείς ή μαθαίνονται και πώς; τι συμβαίνει με τις προτάσεις της καθημερινής ζωής που συνήθως δεν μπορούν να μεταφραστούν σε μια τυπική μορφή; πώς εξηγείται η επίδραση του περιεχόμενου των προτάσεων στο συμπέρασμα και το γεγονός ότι οι άνθρωποι έχουν καλύτερες επιδόσεις στους συλλογισμούς με συγκεκριμένο περιεχόμενο παρά σε συλλογισμούς της ίδιας μορφής με αφηρημένο περιεχόμενο, όπως στην περίπτωση του έργου Wason; (Wason and Johnson-Laird, 1972), και, τέλος, γιατί πολλές φορές οι άνθρωποι δεν μπορούν να καταλήξουν στο έγκυρο συμπέρασμα όταν αυτό είναι παράλογο;

Σε απάντηση στις θεωρίες της τυπικής νοητικής λογικής που υποθέτουν ότι το κριτήριο για την επεξεργασία των προτάσεων είναι η σύνταξη, ο Johnson-Laird (1983) προτείνει μια θεωρία στην οποία η όποια επεξεργασία των προκειμένων και το συμπέρασμα που προκύπτει βασίζεται στη σημασία τους, δηλαδή στο περιεχόμενο των προκειμένων. Σύμφωνα με αυτή, οι άνθρωποι συλλογίζονται διαμορφώνοντας μια αναπαράσταση των γεγονότων που περιγράφονται από τις προκειμένες. Στην καρδιά αυτής της διαδικασίας είναι

η ερμηνεία των προκειμένων ως ένα νοητικό μοντέλο το οποίο περιλαμβάνει και υπόρρητες συναγωγές που απορρέουν από τη γενική γνώση καθώς και αιτιακές σχέσεις μεταξύ των γεγονότων. Τα μοντέλα αυτά μοιάζουν περισσότερο με μια αντίληψη των γεγονότων παρά με μια σειρά συμβόλων που αντιστοιχούν στη γλωσσική τους διατύπωση (ό.π., σ. 53-54)²⁴.

Η κατασκευή ενός νοητικού μοντέλου στη μνήμη εργασίας σε έναν λογικό συλλογισμό γίνεται σταδιακά. Στην περίπτωση μιας παραγωγής κατασκευάζεται αρχικά το μοντέλο της πρώτης προκειμένης στο οποίο προστίθεται η πληροφορία της δεύτερης προκειμένης και το αποτέλεσμα οδηγεί στο συμπέρασμα.

Στην περίπτωση μιας απλής παραγωγής με δύο προκειμένες, όπως οι πιο κάτω:

Το φλιτζάνι είναι στα δεξιά του πιάτου

Το κουτάλι είναι στα αριστερά του φλιτζανιού

Το μοντέλο της πρώτης προκειμένης είναι:

πιάτο φλιτζάνι

Με την πρόσθεση της πληροφορίας από τη δεύτερη προκειμένη το μοντέλο που προκύπτει είναι:

πιάτο κουτάλι φλιτζάνι

και αποτελεί το συμπέρασμα. Το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τις προκειμένες αλλά δεν περιέχεται σε αυτές.

Όπως φαίνεται και στο παράδειγμα, η αναπαράσταση των προτάσεων διατηρεί τη δομή της κατάστασης που περιγράφουν οι προκειμένες, είναι δηλαδή εικονική (iconic)²⁵, χωρίς όμως να είναι φωτογραφική²⁶. Η εικονικότητα είναι μια βασική υπόθεση της θεωρίας των νοητικών μοντέλων. Ένα πλεονέκτημα της εικονικότητας είναι ότι περιλαμβάνει υπόρρητα σχέσεις που δεν υπάρχουν στις προκειμένες (Johnson-Laird, 2005) και φαίνεται να βελτιώνει την επίδοση στους συλλογισμούς (Bauer and Johnson-Laird, 1993). Αντίθετα, οι

²⁴ Άλλη μία άποψη είναι ότι οι άνθρωποι βασίζονται σε συναγωγικούς κανόνες που δεν είναι γενικοί και αφηρημένοι αλλά είναι εξειδικευμένοι ανά πεδίο ή ευαίσθητοι στο περιεχόμενο των προτάσεων (Cosmides et al, 2005).

²⁵ Ο Johnson-Laird δανείζεται την ιδέα της *εικονικότητας*, δηλαδή της διατήρησης της δομής από τον Charles Sanders Peirce.

²⁶ Η εικονικότητα, όπως είναι φανερό, δεν σημαίνει φωτογραφική απεικόνιση, αν και μια φωτογραφική απεικόνιση είναι και εικονική.

συλλογισμοί με νοερές οπτικές εικόνες χρειάζονται περισσότερο χρόνο, πιθανόν λόγω της επεξεργασίας αχρείαστης οπτικής πληροφορίας (Knauff M, Fangmeier T, Ruff CC, Johnson-Laird PN, 2003). Και επειδή η αναπαράσταση δεν είναι φωτογραφική το μοντέλο μπορεί να περιλαμβάνει μόνο μη τροπικά σύμβολα, δηλαδή σύμβολα που δεν έχουν καμία από τις αντιληπτές ιδιότητες των αντικειμένων στα οποία αναφέρονται αλλά μόνο τις σχέσεις μεταξύ τους που περιέχονται στις προκείμενες.

Σε ένα νοητικό μοντέλο αναπαρίσταται ότι είναι αληθές, είτε ως κατάφαση είτε ως άρνηση, σε βάρος όλων όσων είναι ψευδή²⁷, πράγμα που σημαίνει ότι τα μοντέλα δεν είναι πλήρως ρητά μοντέλα (fully explicit models) και αυτό θα πρέπει να οδηγεί σε συστηματικά λάθη στις συναγωγές. Οι Johnson-Laird και Savary (1999) ονομάζουν αυτές τις λανθασμένες παραγωγές *απατηλές συναγωγές* (illusory inferences). Στη σχετική έρευνα η συντριπτική πλειοψηφία των συμπερασμάτων ήταν απατηλές συναγωγές, γεγονός που ενισχύει την υπόθεση για την αρχή της αλήθειας.

Όταν περισσότερα από ένα μοντέλα ικανοποιούν την περιγραφή τότε οι άνθρωποι κατασκευάζουν μόνο ένα μοντέλο το οποίο αναπαριστά ότι είναι κοινό σε όλες τις δυνατές καταστάσεις διότι «οι λογικοί συλλογισμοί αφορούν σε δυνατότητες» (Johnson-Laird, 2008, σ. 207, 208). Όταν αυτό δεν είναι δυνατόν τότε κατασκευάζονται περισσότερα μοντέλα που είναι όλα συνεπή με τις προκείμενες αλλά αυτό αυξάνει το βαθμό δυσκολίας του συλλογισμού και μειώνει τις επιδόσεις, πιθανότατα λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων της μνήμης εργασίας. Η επίδοση στα έργα συλλογισμών πέφτει δραματικά με μια μικρή αύξηση στον αριθμό των πιθανών μοντέλων και η μεγάλη πλειοψηφία των συμπερασμάτων

²⁷ Δεν πρέπει να γίνεται σύγχυση μεταξύ μιας αρνητικής πρότασης και μιας ψευδούς πρότασης. Μια αρνητική πρόταση μπορεί να είναι αληθής ή ψευδής. Αν είναι αληθής αναπαρίσταται στο μοντέλο ως άρνηση. Αν είναι ψευδής δεν εμφανίζεται στο μοντέλο. Ο Johnson-Laird δέχεται την ύπαρξη ενός αφηρημένου συμβόλου για την άρνηση στα νοητικά μοντέλα (Johnson -Laird, 1983 σ. 423· Johnson-Laird and Savary, 1999). Ο Vosgerau (2006), όμως τονίζει ότι η ύπαρξη ενός αφηρημένου συμβόλου στη θεωρία για τα νοητικά μοντέλα αποτελεί αντίφαση τόσο για την υπόθεση της διατήρησης της δομής όσο και για την απαίτηση για *φυσικότητα*. Η άρνηση, λέει ο Vosgerau, είναι πρώτον, μια εξεζητημένη λογική έννοια και δεύτερον, η ύπαρξή της προϋποθέτει μια σύμβαση και οι συμβάσεις δεν έχουν νόημα σε μοντέλα που κατασκευάζονται σε προσωπικό επίπεδο. Επίσης, αν τα μοντέλα αναπαριστούν τον κόσμο τότε η άρνηση είναι περιττή αφού ότι μια άρνηση σημαίνει μη ύπαρξη. Σύμφωνα με τον Vosgerau είναι δυνατόν η θεωρία να προβλέπει άρνηση ενός μοντέλου ως απεικόνιση μιας μη υπαρκτής κατάστασης αλλά δεν χρειάζεται η ύπαρξη συμβόλου της άρνησης εντός των μοντέλων.

είναι σύμφωνη με ένα μόνο μοντέλο της κατάστασης (Johnson-Laird, Byrne and Schaeken, 1992· Bauer and Johnson-Laird, 1993).

Όταν το συμπέρασμα που προκύπτει από τις προκειμένες είναι παράλογο οι άνθρωποι δεν μπορούν να καταλήξουν σε συμπέρασμα. Αυτό σημαίνει ότι το νόημα των προτάσεων και η σχετική γνώση επηρεάζει το συλλογισμό και στη διαδικασία οι άνθρωποι ψάχνουν για αντιπαράδειγματα (Oakhill, Johnson-Laird and Garnham, 1989) ή ότι οι πεποιθήσεις επηρεάζουν την κατασκευή του αρχικού μοντέλου (Evans, Handley, & Harper, 2001).

Η θεωρία των νοητικών μοντέλων στους λογικούς συλλογισμούς εξηγεί πώς οι άνθρωποι μπορούν να είναι λογικοί χωρίς να χρησιμοποιούν λογικούς κανόνες και γιατί κάποιιοι συλλογισμοί είναι πιο δύσκολοι από άλλους. Από αναπτυξιακή σκοπιά, και λόγω της εξάρτησης της συλλογιστικής ικανότητας τόσο από τη μνήμη εργασίας όσο και από τη γνώση της φυσικής γλώσσας, η θεωρία των νοητικών μοντέλων προσφέρει ένα πλαίσιο εξήγησης της διαμόρφωσης της λογικής ικανότητας με την ηλικία, αφήνοντας ταυτόχρονα περιθώριο για ανθρώπινα λάθη. Επίσης, προσφέρει μια απάντηση στο πώς μπορούν να διαμορφωθούν έννοιες που αφορούν στις λογικές σχέσεις μεταξύ συνόλων μόνο με τη γνώση της γλώσσας και την κατασκευή νοητικών μοντέλων των αντίστοιχων καταστάσεων (Johnson-Laird 1983, σ. 136). Εξηγεί επίσης και πώς κάποιιοι ευφυείς άνθρωποι, όπως ο Αριστοτέλης, έχοντας επίγνωση της δυσκολίας στην εξαγωγή του ορθού συμπεράσματος και στην αναζήτηση αντιπαράδειγμάτων, συστηματοποίησαν τη διαδικασία και ανέπτυξαν την τυπική λογική ως νοητικό εργαλείο και, στην περίπτωση του Αριστοτέλη, τη συνέδεσαν με την επιστήμη και τους επιστημονικούς ισχυρισμούς (Johnson-Laird, 1983, σ. 133).

3.3.2 Νοητικά μοντέλα και απαγωγικοί συλλογισμοί

Οι άνθρωποι έχουν ανάγκη να διαμορφώνουν εξηγήσεις και παρουσιάζουν μια εξαιρετική ικανότητα σε αυτό. Οι εξηγήσεις είναι καθοριστικές στην καθημερινή ζωή διότι βοηθούν στην κατανόηση παρελθόντων γεγονότων και στην πρόβλεψη και στην αντιμετώπιση μελλοντικών. Η ανθρώπινη ανάγκη για εξηγήσεις εκφράζεται με τις προλήψεις ενώ η συστηματική αξιοποίηση της ανάγκης και της ικανότητας για εξηγήσεις είναι που στηρίζει την επιστήμη. Οι εξηγήσεις είναι ένα είδος επαγωγής, διότι το συμπέρασμα έχει στοιχεία πέρα από αυτά που περιλαμβάνονται στις προκειμένες, και ονομάζονται απαγωγές. Η διαφορά τους από τις επαγωγές είναι ότι τα νέα στοιχεία που εισάγονται στο συλλογισμό

έχουν επεξηγηματικό χαρακτήρα²⁸. Η απαγωγική ικανότητα είναι τόσο ανεπτυγμένη στους ανθρώπους ώστε μπορούν να σκέφτονται σενάρια που συνδέουν μεταξύ τους ακόμη και τυχαίες προτάσεις (Johnson-Laird, 2006, κεφ. 14). Έρευνες έδειξαν ότι η θεωρία των νοητικών μοντέλων μπορεί να συμπεριλάβει και τους απαγωγικούς συλλογισμούς (Johnson-Laird and Khemlani, 2014· Khemlani and Johnson-Laird 2011· Khemlani, Barbey & Johnson-Laird 2014· Johnson-Laird, Girotto, & Legrenzi, 2004). Συνήθως, η ανάγκη για εξήγηση προκύπτει όταν υπάρχει ασυνέπεια ανάμεσα στα γεγονότα και στις πεποιθήσεις ή στα γεγονότα και σε κάποιο γενικό κανόνα. Το νοητικό μοντέλο των γεγονότων εγείρει κάποιο από έναν αριθμό μοντέλων που υπάρχει στην υπάρχουσα γνώση και που μπορεί να είναι η εξήγηση των γεγονότων. Αυτή η υπόθεση εισαγάγει ένα νέο δεδομένο και διαμορφώνει τα γεγονότα, δημιουργώντας το μοντέλο της εξήγησης. Το μοντέλο της εξήγησης, όταν πυροδοτηθεί, συμπληρώνεται από ένα άλλο σύνολο μοντέλων, που αποτελούν ένα αιτιακό προηγούμενο για το νέο δεδομένο. Το τελικό μοντέλο είναι μια δυνατότητα που εξηγεί την αντίφαση (Khemlani, & Johnson-Laird, 2011). Η εξήγηση είναι μια νέα πρόταση που εισαγάγει νέες οντότητες, ιδιότητες και σχέσεις πέρα από αυτές που προκαλούν την ασυνέπεια (Khemlani & Johnson-Laird, 2011).

Η διαδικασία στην επιστήμη δεν είναι διαφορετική. Ο Psillos (1999, σ. 212) αναφέρεται στην υπόθεση της ύπαρξης του νετρίνου από τον Pauli ως μιας τυπικής περίπτωσης απαγωγικού συλλογισμού στην επιστήμη. Θα δούμε την περίπτωση αυτή υπό το πρίσμα της ανάλυσης του Johnson-Laird. Το νετρίνο είναι ένα σωματίο που εκπέμπεται κατά την διάσπαση β, δηλαδή τη μετατροπή ενός νετρονίου σε πρωτόνιο με την εκπομπή ηλεκτρονίου ή ενός πρωτονίου σε νετρόνιο με την εκπομπή ενός αντιηλεκτρονίου. Στις παρατηρήσεις τέτοιων διασπάσεων παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ της αρχικής και της τελικής ενέργειας του συστήματος, γεγονός που ερχόταν σε αντίθεση με την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Προτάθηκαν διάφορες πιθανές εξηγήσεις στο πρόβλημα, όπως ότι οι διαφορές οφείλονταν σε πειραματικά σφάλματα ή ότι τα ηλεκτρόνια έχαναν ενέργεια μετά τη διάσπαση αλλά πριν ανιχνευθούν. Ο Bohr μάλιστα πρότεινε ότι η ενέργεια στο μικρόκοσμο διατηρείται όχι σε κάθε γεγονός ξεχωριστά αλλά σε ένα σύνολο γεγονότων, δηλαδή μόνο κατά μέσο όρο. Ο Pauli εισηγήθηκε ότι το νετρόνιο διασπάται όχι σε ένα αλλά σε δύο σωματία, στα οποία κατανέμεται η ενέργεια της διάσπασης και αυτή η υπόθεση έγινε τελικά αποδεκτή. Το επόμενο βήμα ήταν να περιγραφούν, με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα για

²⁸ Στις επαγωγές και στις απαγωγές το συμπέρασμα είναι μόνο πιθανό αλλά σε μια απαγωγή μπορεί και να μην υπάρχει συμπέρασμα. Αντίθετα, στις παραγωγές το αποτέλεσμα είναι πάντοτε αληθές, νοουμένου ότι οι προκείμενες είναι αληθείς.

τους ατομικούς πυρήνες και τα χαρακτηριστικά των σωματιδίων που τους αποτελούν, τα χαρακτηριστικά του σωματιδίου αυτού και να εξηγηθεί γιατί δεν γινόταν αντιληπτό, όπως συνέβαινε με το ηλεκτρόνιο. Με τη μαθηματική επεξεργασία της υπόθεσης από τον Fermi το 1933 δόθηκε η πλήρης εξήγηση για το φαινόμενο αφού έγινε κατανοητό γιατί το νεutrino ήταν, τη δεδομένη χρονική στιγμή, “αόρατο”²⁹.

Αυτή η διαδικασία μοιάζει με αυτή που περιγράφει ο Johnson-Laird αλλά έχει δύο σημαντικές διαφορές. Η πρώτη είναι ότι οι επιστήμονες ελέγχουν τις υποθετικές εξηγήσεις, κάτι που δεν κάνουν οι άνθρωποι στην καθημερινή τους ζωή. Η δεύτερη αφορά σε ένα εύρημα μιας έρευνας για πώς οι άνθρωποι αίρουν τις ασυνέπειες. Στην έρευνα αυτή οι συμμετέχοντες έπρεπε να εξηγήσουν την ασυνέπεια μεταξύ μιας κατηγορικής πρότασης και ενός γενικού κανόνα, στον οποίο θα έπρεπε να υπάγεται η πρόταση. Με τις εξηγήσεις τους όμως έτειναν να αναιρούν τον κανόνα και όχι την κατηγορική πρόταση μετατρέποντας έτσι τον κανόνα σε αντιγεγονική πρόταση. Η εισήγηση του Bohr, στην περίπτωση της διάσπασης β, ήταν μια άρνηση του κανόνα αφού, με άλλα λόγια, σημαίνει “αν το σύστημα διευρυνόταν τότε θα ίσχυε η αρχή διατήρησης της ενέργειας” αλλά τελικά αποδεκτή έγινε η εισήγηση του Pauli, που διατηρούσε τον κανόνα. Στην επιστήμη η άρνηση του κανόνα φαίνεται να είναι πιο δύσκολη, όχι όμως και αδύνατη, αφού μπορεί να συμβαίνει σε περιπτώσεις που έχουμε αλλαγή θεωρίας ή εννοιολογικού πλαισίου για την εξήγηση μιας σειράς φαινομένων, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της φύσης του φωτός.

3.3.3 Νοητικά μοντέλα στην κατανόηση συνομιλίας και κειμένου

Στην καθημερινή ζωή πολλές καταστάσεις και γεγονότα είναι οικεία. Για αυτές η γνωστική ψυχολογία υποθέτει ότι η γενική γνώση για αντικείμενα, πρόσωπα ή καταστάσεις είναι κωδικοποιημένη σε γνωστικές δομές που τις ονομάζει *σχήματα* (schemas) ενώ η γενική γνώση για μια τυπική σειρά αλληλοσυνδεόμενων γεγονότων σε οικείες καταστάσεις είναι κωδικοποιημένη σε αυτό που ονομάζει *σενάρια* (scripts). Αυτές όμως οι γνωστικές δομές δεν είναι αρκετά ευέλικτες για την αντιμετώπιση νέων ή άγνωστων καταστάσεων και σε αυτές τις περιπτώσεις κατασκευάζονται νοητικά μοντέλα που υποστηρίζουν τους συλλογισμούς και την εξαγωγή συμπεράσματος. Νέες είναι και καταστάσεις που προκύπτουν σε μια συνομιλία, κατά την ανάγνωση μιας αφήγησης ή στην κατανόηση κειμένου. Στις περιπτώσεις αυτές οι άνθρωποι θυμούνται όχι το ίδιο το κείμενο αλλά τη δομή των γεγονότων ή των καταστάσεων σε αυτό, δηλαδή το νοητικό μοντέλο της

²⁹ Το νεutrino εντοπίστηκε πειραματικά το 1953 από τους Clyde Cowan and Fred Reines.

κατάστασης. Αυτά, τα *μοντέλα καταστάσεων* (situation models) «κάνουν φανερή τη δομή όχι των προτάσεων αλλά της κατάστασης, όπως την αντιλαμβανόμαστε ή τη φανταζόμαστε» (Johnson-Laird, 1989 σ. 471). Τα μοντέλα καταστάσεων ενσωματώνουν χωρικές, χρονικές και αιτιακές σχέσεις ανάμεσα στα γεγονότα και στις οντότητες που υπάρχουν στην περιγραφή αλλά και τις προθέσεις και τους στόχους των προσώπων και από αυτές ερμηνεύουν και αξιολογούν τις προτάσεις που ακολουθούν αλλά και συλλογίζονται για την κατάσταση (Bower and Morrow, 1990). Τα μοντέλα κατασκευάζονται με συνδυασμό της πληροφορίας από το κείμενο και της προϋπάρχουσας γνώσης και συνεχώς ενημερώνονται καθώς νέα πληροφορία από το κείμενο ή την αφήγηση ενσωματώνεται σε αυτά (Zwaan and Radvansky, 1998). Η υπόθεση για τη χρησιμότητα τέτοιων μοντέλων είναι ότι οι άνθρωποι μπορούν να κάνουν συναγωγές για την κατάσταση χωρίς να χρειάζεται να εκτελούν διαρκώς επίπονους συλλογισμούς σε προτασιακή μορφή αφού οι περιορισμοί της κατάστασης περιλαμβάνονται στο μοντέλο καθιστώντας τις συνέπειες κάποιων καταστάσεων εμφανείς. Η χρονική καθυστέρηση στις συναγωγές, όταν αυτές γίνονται από προτάσεις, καθώς και η αυξημένη δυσκολία στην εξαγωγή συμπεράσματος όταν η ίδια κατάσταση παρουσιάζεται σε προτασιακή αντί αφηγηματική μορφή ενισχύουν αυτή την υπόθεση.

Ο Johnson-Laird (1989, σ. 475) συνοψίζει τη θεωρία των μοντέλων συνομιλίας και κειμένου σε τρεις βασικές ιδέες:

1. Ένα νοητικό μοντέλο αναπαριστά την *αναφορά* της συνομιλίας (ή του κειμένου), δηλαδή, την κατάσταση που παρουσιάζεται στη συνομιλία
2. Η ύπαρξη των αναφορικών στη συνομιλία κάνει απαραίτητη την κατασκευή μιας αρχικής γλωσσικής αναπαράστασης της συνομιλίας η οποία, μαζί με τους μηχανισμούς κατασκευής και αναθεώρησης του μοντέλου, αποδίδει το νόημα της συνομιλίας, δηλαδή όλες τις πιθανές καταστάσεις που μπορεί αυτή να περιγράψει.
3. Η συνομιλία κρίνεται ως αληθής ή ψευδής αν τουλάχιστον ένα μοντέλο της μπορεί να ενσωματωθεί στον πραγματικό κόσμο.

3.3.4 Νοητικά μοντέλα και καθημερινή ζωή

Το 1983 και ταυτόχρονα με το βιβλίο του Johnson-Laird *Νοητικά Μοντέλα (Mental Models)* κυκλοφόρησε και μια συλλογή άρθρων με τον ίδιο τίτλο (*Mental Models*, Gentner and Stevens) που αξιοποιούν την έννοια του νοητικού μοντέλου «για να αποτυπώ[ουν] τη νατουραλιστική ανθρώπινη γνώση για τον κόσμο σε όσο το δυνατόν απλούστερους τομείς... κυρίως φυσικά συστήματα, όπως απλοϊκές θεωρίες μηχανικής και θερμότητας, μαθηματικά συστήματα ή την αλληλεπίδραση με συσκευές... με έμφαση σε δυναμικά φαινόμενα.» (ό.π.

σ. 2). Η επιλογή αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι στους τομείς αυτούς υπάρχουν κανονιστικά μοντέλα που μπορούν να περιγραφούν με λεπτομέρεια και τα οποία αποτελούν το μέτρο σύγκρισης για τα αντίστοιχα νοητικά. Επίσης, λόγω της ύπαρξης των κανονιστικών μοντέλων η διάκριση ανάμεσα στη νατουραλιστική γνώση των μη ειδικών και σε αυτή των ειδικών καθίσταται πιο ευκρινής (ό.π. σ. 2).

Στον τομέα του χειρισμού μηχανημάτων η έννοια του νοητικού μοντέλου χρησιμοποιούνταν τόσο στην εκπαίδευση χειριστών όσο και στο σχεδιασμό των οδηγιών χρήσης συσκευών, πριν την ευρύτερη αποδοχή της στη γνωστική επιστήμη (Rouse and Morris, 1986). Με την αύξηση της πολυπλοκότητας των μηχανών και την αυτοματοποίηση και τη συνεπαγόμενη αύξηση στη δυσκολία κατανόησης της λειτουργίας τους, το ζήτημα του χειρισμού έχει αποκτήσει μεγαλύτερη σημασία. Οι συνέπειες κάποιων εσφαλμένων ή ατελών μοντέλων μπορεί να είναι καταστροφικές όταν οι χειριστές αλληλεπιδρούν με δυναμικά συστήματα, όπως τα συστήματα πλοήγησης εμπορικών αεροσκαφών, ειδικότερα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, οπότε και υπάρχει δραματική αύξηση του γνωστικού φορτίου που καλείται να επεξεργαστεί ο χειριστής. Τα εσφαλμένα ή ατελή νοητικά μοντέλα των πιλότων για τη λογική των αυτοματισμών, ως αποτέλεσμα της αυξημένης πολυπλοκότητας των συστημάτων ή/και της ανεπαρκούς εκπαίδευσης σε αυτά, σε δυναμικές, μη συνηθισμένες καταστάσεις, έχουν θεωρηθεί ως αιτίες για αεροπορικά δυστυχήματα (NTSB, 2014). Η σχετική βιβλιογραφία αναγνωρίζει διάφορες επαναλαμβανόμενες συμπεριφορές πιλότων σε αεροπορικά δυστυχήματα ή επεισόδια, οι οποίες σχετίζονται με την αλληλεπίδραση των πραγματικών δεδομένων με τη νοητική αναπαράσταση του πιλότου για το σύστημα. Πολλές φορές αυτή τη αλληλεπίδραση οδηγεί σε λανθασμένες αποφάσεις όπως, στην περίπτωση της ασυνέπειας μεταξύ του νοητικού μοντέλου του πιλότου για την κατάσταση του συστήματος και της πραγματικής κατάστασης του συστήματος (Silva & Hansman, 2015) και όταν μια τυχαία αλληλουχία γεγονότων ενισχύει ένα λανθασμένο νοητικό μοντέλο του πιλότου αντί να οδηγήσει σε αναθεώρησή του (Besnard, Greathead & Baxter, 2004).

Η χρήση της έννοιας του νοητικού μοντέλου έχει επεκταθεί και στις αναλύσεις κοινωνικών συμπεριφορών. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Έκθεσης για την Παγκόσμια Ανάπτυξη του 2015 (World Bank, 2015, στο εξής WB) στην οποία το τρίτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στο πώς σκεφτόμαστε με τα νοητικά μοντέλα και πώς αυτά επηρεάζουν αποφάσεις που σχετίζονται με την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη. Η ανάλυση της Έκθεσης στηρίζεται στην υπόθεση ότι τα κοινά νοητικά μοντέλα (*shared mental models*) μιας κοινωνίας είναι αυτά που επιτρέπουν την ανάπτυξη θεσμών και την επίλυση προβλημάτων που απαιτούν συλλογική δράση (WB 2015, σ. 62). Αντίθετα από τους

κοινωνικούς κανόνες οι οποίοι αφορούν σε συγκεκριμένες συμπεριφορές και επιβάλλονται από τις κοινωνίες, τα κοινά νοητικά μοντέλα αποτυπώνουν ευρύτερες ιδέες για τη λειτουργία της κοινωνίας και τη θέση του ατόμου σε αυτήν (ό.π. σ. 62). Τέτοια νοητικά μοντέλα αναδύονται από κοινές εμπειρίες και μπορεί να περνούν από γενιά σε γενιά ακόμα και αν είναι δυσλειτουργικά (ό.π. σ. 66). Αν τα νοητικά αυτά μοντέλα δεν ληφθούν υπ' όψιν στο σχεδιασμό των αναπτυξιακών παρεμβάσεων είναι δυνατόν να είναι εμπόδια στην εφαρμογή νέων προγραμμάτων. Η Έκθεση αναλύει το ρόλο των νοητικών μοντέλων σε τομείς όπως, η οικονομική ανάπτυξη, η ανάπτυξη των παιδιών, τα οικονομικά ζητήματα, η παραγωγικότητα και η τεχνολογία, η υγεία και η κλιματική αλλαγή και εισηγείται τρόπους για την αλλαγή των κοινών νοητικών μοντέλων, όταν αυτά αποτελούν εμπόδιο στην αλλαγή (ό.π. σ. 70, 71). Αν και στην Έκθεση υιοθετείται ένας πολύ περιεκτικός ορισμός για τα νοητικά μοντέλα, ο οποίος περιλαμβάνει έννοιες, πρωτότυπα, στερεότυπα, αιτιακές αφηγηματικές ιστορίες και κοσμοθεωρίες, το σημαντικό στοιχείο είναι ότι αναγνωρίζεται η επίδραση των νοητικών αναπαραστάσεων στον τρόπο που ο άνθρωπος ερμηνεύει και αντιδρά στις καταστάσεις της καθημερινής ζωής. Στο ίδιο πνεύμα, η μελέτη της ανταπόκρισης πληθυσμών στις προειδοποιήσεις για φυσικές καταστροφές που έγινε για την Αμερικανική Μετεωρολογική Υπηρεσία εξετάζει πώς τα νοητικά μοντέλα του κοινού για τις φυσικές καταστροφές και τις πιθανές επιδράσεις τους επηρεάζουν τον τρόπο με τον οποίο το κοινό ανταποκρίνεται στις προειδοποιήσεις των υπηρεσιών προστασίας (Meyer, Baker, Broad, Czajkowski, & Orlove, 2014).

3.3.5 Νοητικά μοντέλα φυσικών συστημάτων

Τα νοητικά μοντέλα του κοινού για τις φυσικές καταστροφές και των χειριστών για τα αντίστοιχα συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των νοητικών μοντέλων φυσικών συστημάτων. Ως νοητικά μοντέλα φυσικών συστημάτων θεωρούνται οι οργανωμένες δομές γνώσης που διαμορφώνουν οι άνθρωποι σε πεδία που αφορούν στο φυσικό κόσμο και τα οποία οι άνθρωποι χρησιμοποιούν για να εξηγούν και να προβλέπουν τη συμπεριφορά των συστημάτων αυτών. Δύο διαφορές τους με τα νοητικά μοντέλα των λογικών συλλογισμών είναι ότι, πρώτον, είναι γνωσιακές αναπαραστάσεις της μακροπρόθεσμης μνήμης που χρησιμοποιούνται στην κατανόηση και τους συλλογισμούς σε συγκεκριμένα πεδία γνώσης και δεύτερον είναι γνωσιακώς απαιτητικά, δηλαδή, για την κατασκευή τους είναι απαραίτητη κάποια προϋπάρχουσα γνώση για το πεδίο και αυτή «περιλαμβάνει την κατανόηση των αιτιακών σχέσεων μεταξύ στοιχείων του φυσικού συστήματος» (Markman, 1999, σ. 259). Ακριβώς λόγω αυτού του περιεχομένου τα στοιχεία τους δεν είναι σύμβολα, αλλά «αναπαραστάσεις αντικειμένων, ποσοτήτων και διαδικασιών» (Markman, 1999, σ.

276). Επειδή αυτά τα νοητικά μοντέλα περιγράφουν δυναμικά συστήματα οι αναπαραστάσεις αυτές είναι απαραίτητες διότι επιτρέπουν την περιγραφή, την εξήγηση και την πρόβλεψη των αλλαγών στα συστήματα. Τα μοντέλα αυτά είναι ατελή και μη επιστημονικά και οι άνθρωποι φαίνεται να έχουν μια περιορισμένη δυνατότητα να τα “τρέξουν” σαν προσομοιώσεις (Norman, 1983, σ. 8). Οι Schwartz και Black (1996c) υποθέτουν ότι η αναπαράσταση της λειτουργίας του συστήματος στη φαντασία αποτελεί μια στρατηγική στην επίλυση προβλήματος που οι άνθρωποι επιστρατεύουν ως βοήθημα στους συλλογισμούς, όταν δεν έχουν προηγούμενη εμπειρία της κατάστασης.

Τα νοητικά μοντέλα περιορίζουν τους συλλογισμούς για τα φυσικά συστήματα με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι ότι τα συμπεράσματα των συλλογισμών που αφορούν στις αλλαγές στο σύστημα προβλέπουν μόνο την κατεύθυνση της αλλαγής και όχι το βαθμό της διότι οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων ενός νοητικού μοντέλου, στους μη ειδικούς, είναι μόνο ποιοτικές και μόνο μεταξύ δύο στοιχείων του μοντέλου. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού, σε αντίθεση με τους ποιοτικούς, οι ποσοτικοί συλλογισμοί χρειάζονται μεγάλη υπολογιστική ισχύ (Markman, 1999, σ. 262). Ο δεύτερος είναι ότι η ορθότητα των συλλογισμών εξαρτάται από την ορθότητα ή/και το βαθμό πληρότητας του μοντέλου. Επειδή το συμπέρασμα ενός συλλογισμού καθορίζει τον τρόπο που ενεργεί ο άνθρωπος για την επίλυση ενός προβλήματος, το νοητικό μοντέλο που χρησιμοποιεί έχει καθοριστικό ρόλο σε αποφάσεις που μπορεί να πάρει. Ο Kempton (1986) στην έρευνά του για τις αντιλήψεις των ανθρώπων για τη λειτουργία των θερμοστατών, με βάση τις ρυθμίσεις των καταναλωτών στις συσκευές τους, παρατήρησε ότι οι ρυθμίσεις των θερμοστατών στο 25-50% των οικιών που συμπεριλήφθηκαν στην έρευνα συμφωνούσαν με ένα μοντέλο σύμφωνα με το οποίο η θερμότητα που η συσκευή προσφέρει είναι ανάλογη της θερμοκρασίας στην οποία ρυθμίζεται ο θερμοστάτης, όπως περίπου μια βαλβίδα ελέγχει τη ροή σε ένα υδραυλικό σύστημα ή το πετάλι της βενζίνης την επιτάχυνση του αυτοκινήτου. Αυτό το δεύτερο νοητικό μοντέλο φαίνεται να προκύπτει από τη μεταφορά μιας δομής σχέσεων από ένα πεδίο, αυτό της λειτουργίας του αυτοκινήτου, σε ένα άλλο, στην προκειμένη περίπτωση στη λειτουργία του θερμοστάτη. Αυτές τις κοινές, σε κάποιες κοινωνικές ομάδες, αντιλήψεις που προκύπτουν από την εμπειρία και τις κοινωνικές αλληλεπιδράσεις ο Kempton τις ονομάζει τις ονομάζει *λαϊκές θεωρίες* (folk theories). Με το χαρακτηρισμό τους ως “θεωρίες” ο Kempton (ό.π.) προσπαθεί να εκφράσει το γεγονός ότι οι αντιλήψεις αυτές έχουν κάποιο βαθμό αφαίρεσης και καθορίζουν τη συμπεριφορά σε πολλές ανάλογες καταστάσεις, χωρίς όμως να έχουν τη συνοχή και τη συνέπεια μιας θεωρίας.

3.3.6 Οι διαδικασίες επεξεργασίας νοητικών μοντέλων και η φύση των συμβόλων

Τα περισσότερα από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν πιο πάνω αφορούν στο συμπεριφορικό επίπεδο της χρήσης των μοντέλων. Υπάρχουν όμως και ζητήματα που αφορούν στη μορφή και την επεξεργασία των μοντέλων και τα οποία αφορούν στο νοητικό και στο γνωστικό επίπεδο και από τα οποία εγείρονται διαφορετικά ερωτήματα, όπως: (α) ποια μορφή νοητικής αναπαράστασης ικανοποιεί την προϋπόθεση της διατήρησης της δομής; (β) ποια είναι η γνωστική διαδικασία που δίνει τη δυνατότητα σε κάποιον να “τρέξει” ένα νοητικό μοντέλο; (γ) ποια είναι η σχέση αυτής της διαδικασίας με άλλες μορφές συλλογισμού; Κάποιες πιθανές απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα υπάρχουν στη γνωστική ψυχολογία και στις προσπάθειες εφαρμογής της στην έρευνα για τους συλλογισμούς στην επιστήμη.

Όπως προτάθηκαν από τον Johnson-Laird, τα νοητικά μοντέλα των τυπικών λογικών συλλογισμών είναι εικονικές αναπαραστάσεις που αποτελούνται από μη τροπικά σύμβολα, δηλαδή σύμβολα που δεν έχουν τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτού που αναπαριστούν, όπως συμβαίνει με τις προτασιακές αναπαραστάσεις, αλλά που αντίθετα από αυτές, διατηρούν τη δομή της κατάστασης για την οποία είναι μοντέλα. Ένας λογικός συλλογισμός συνίσταται στο χωρικό μετασχηματισμό των συμβόλων του αρχικού μοντέλου, το αποτέλεσμα του οποίου αποτελεί το συμπέρασμα. Η χρήση αφηρημένων συμβόλων με την ταυτόχρονη διατήρηση της δομής σημαίνει ότι τα νοητικά μοντέλα των συλλογισμών είναι χωρικές και όχι οπτικές εικόνες. Έρευνες νευροαπεικόνισης έχουν δείξει ότι οι παραγωγικοί λογικοί συλλογισμοί συνδέονται με χωρικές αναπαραστάσεις και διαδικασίες (Knauff, Mulack, Kassubek, Salih, & Greenlee, 2002) και ότι οι οπτικές εικόνες είναι δυνατόν να εμποδίσουν του συλλογισμούς λόγω του ότι περιλαμβάνουν άσχετες προς το συλλογισμό οπτικές πληροφορίες (Knauff, & Johnson-Laird, 2002).

Στην περίπτωση όμως των φυσικών συστημάτων, και κατ' επέκταση στην επιστήμη, η χωρική διάταξη των μερών δεν είναι πάντα επαρκής για να αναπαραστήσει ένα δυναμικό φυσικό σύστημα. Οι σχέσεις σε τέτοια συστήματα είναι αιτιακές και οφείλονται στη φύση και στις ιδιότητες των μερών του συστήματος ενώ περιλαμβάνουν και δυναμικές διαδικασίες. Η Nersessian (2008b, σ. 125) υποστηρίζει ότι η κατασκευή και η διαχείριση ενός νοητικού μοντέλου για ένα φυσικό σύστημα στη μνήμη εργασίας μοιάζει με μια διαδικασία προσομοίωσης. Για να ικανοποιεί αυτή την προϋπόθεση ένα νοητικό μοντέλο θα πρέπει όχι μόνο να διατηρεί τη δομή, δηλαδή να έχει μια εικονική πτυχή αλλά και να περιλαμβάνει και τροπικά σύμβολα, δηλαδή σύμβολα που διατηρούν κάποια από τα αντιληπτικά χαρακτηριστικά αυτού που αναπαριστούν. Ένα τέτοιο μοντέλο το ονομάζει «αντιληπτικό νοητικό μοντέλο» (perceptual mental model).

3.3.6.1 Διαδικασίες προσομοίωσης

Δεδομένα για τη δυνατότητα νοητικής αναπαράστασης δυναμικών διαδικασιών υπάρχουν στην έρευνα για τις νοερές προσομοιώσεις (mental simulations), δηλαδή την προσομοίωση στη φαντασία μετασχηματισμών που μιμούνται φυσικούς χωρικούς μετασχηματισμούς και για τις κινούμενες νοερές εικόνες (mental animations) οι οποίες εκτός από τους χωρικούς μετασχηματισμούς σε κάποιες περιπτώσεις απαιτούν αιτιακή και άλλη συμπεριφορική γνώση. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου διαδικασιών, δηλαδή μετασχηματισμών που βασίζονται σε μια εικονιστική αναπαράσταση (imagistic representation), σε σύγκριση με τις προτασιακές, είναι ότι αποτυπώνει ταυτόχρονα όλες τις αλλαγές στις σχέσεις μεταξύ των μερών του συστήματος που οφείλονται στη μεταβολή ενός δεδομένου της αρχικής κατάστασης. Αυτό οφείλεται στο ότι οι εικόνες είναι αναλογικές αναπαραστάσεις ενώ οι προτάσεις είναι συμβολικές. Στις συμβολικές αναπαραστάσεις το νόημα καθορίζεται από το νόημα των μερών και των τρόπων που είναι αυτά συνδυνασμένα στην αναπαράσταση. Στις αναλογικές όμως το νόημα μιας πολύπλοκης αναπαράστασης καθορίζεται από το γεγονός ότι η αναλογική αναπαράσταση αντανακλά τη γεωμετρική και αιτιακή δομή του συστήματος. Για αυτό το λόγο στις εικονιστικές αναπαραστάσεις υπάρχει ένας ισομορφισμός μεταξύ των λειτουργιών στον αναπαριστώμενο κόσμο και των μετασχηματισμών στον αναπαριστώμενο κόσμο και οι σχέσεις μεταξύ πτυχών της αναλογικής αναπαράστασης καθορίζονται από τη δομή των πτυχών αυτών στον αναπαριστώμενο κόσμο. Συνεπώς, μετασχηματισμοί στον αναπαριστώμενο κόσμο απεικονίζονται σε λειτουργίες του αναπαριστώμενου συστήματος.

Η έρευνα στις νοερές προσομοιώσεις έχει δείξει ότι οι άνθρωποι μπορούν να προσομοιώσουν στη φαντασία τους χωρικούς μετασχηματισμούς δισδιάστατων και τρισδιάστατων σχημάτων, όπως περιστροφές, ή να προσομοιώνουν νοερά τις κινήσεις σε συστήματα γραναζιών ή τροχαλιών που τους παρουσιάζονται με τη μορφή στατικών διαγραμμάτων, ενσωματώνοντας σε αυτά και αιτιακούς μηχανισμούς. Οι χρονομετρικές έρευνες έδειξαν ότι ο λανθάνων χρόνος σε τέτοια έργα είναι ανάλογος με τη γωνία περιστροφής (Shepard, & Metzler, 1971· Cooper & Shepard 1973· Shepard & Cooper, 1986· Hegarty, 1992· Schwartz, & Black, 1996b,c) ένδειξη ότι οι νοητικές διαδικασίες είναι ανάλογες με τις φυσικές διαδικασίες που προσομοιώνουν (Hegarty, 2004). Από την άλλη υπάρχουν ευρήματα που δείχνουν ότι οι απαντήσεις στα έργα δεν προκύπτουν από ρητή γνώση και ότι οι διαδικασίες μπορούν να ενσωματώσουν και φυσικούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα, σε έρευνες (Schwartz, 1999· Schwartz & Black, 1999a) ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να προβλέψουν τη γωνία κλίσης ενός ποτηριού για την οποία το νερό μόλις

που θα έφτανε στο χείλος και μετά να απαντήσουν στο ίδιο ερώτημα προσομοιώνοντας νοερά τη διαδικασία. Ενώ οι αρχικές προβλέψεις τους ήταν λανθασμένες το αποτέλεσμα της νοερής προσομοίωσης ήταν σχεδόν πάντα σωστό. Η απάντηση στο ίδιο έργο ήταν διαφορετική από την προηγούμενη, αλλά σωστή, αν το υγρό στο ποτήρι ήταν μελάσα, λόγω του διαφορετικού ιξώδους. Οι συμμετέχοντες όμως δεν μπορούσαν να φανταστούν την κατάσταση αν το ποτήρι και ο συμμετέχοντας ήταν σε οριζόντια θέση, πιθανότητα επειδή δεν μπορούσαν να αγνοήσουν την επίδραση της βαρύτητας.

Οι νοητικές αναπαραστάσεις που υποστηρίζουν τις νοερές προσομοιώσεις και τις νοερές κινούμενες εικόνες δεν πρέπει να εκλαμβάνονται ως ολιστικές, λεπτομερείς απεικονίσεις, όπως μια φωτογραφία ή μια ταινία αντίστοιχα. Η έρευνα για τις νοερές κινούμενες εικόνες φαίνεται να υποστηρίζει την υπόθεση ότι μια νοερή εικόνα αντιστοιχεί σε μια περιγραμματική και σχηματική αναπαράσταση της κατάστασης, είναι δηλαδή φτωχά αντίγραφα των αντιστοίχων αντιληπτικών αναπαραστάσεων. Η νοερή προσομοίωση της κίνησης σε πολύπλοκα μηχανικά συστήματα φαίνεται ότι γίνεται τεμαχιδόν και κατά μήκος της αιτιακής αλυσίδας των γεγονότων στο σύστημα. Για παράδειγμα, στην πρόβλεψη της κίνησης μιας συγκεκριμένης τροχαλίας η προσήλωση των ματιών των συμμετεχόντων ακολουθούσε την αιτιακή πορεία των γεγονότων στο σύστημα μέχρι τη συγκεκριμένη τροχαλία και ο λανθάνων χρόνος της απάντησης ήταν ανάλογος με την απόσταση της τροχαλίας από την αρχική αιτία των αλληλεπιδράσεων (Hegarty, 1992).

Αν και πολλές φορές τέτοιοι συλλογισμοί συνοδεύονται από την εμπειρία ύπαρξης μιας νοερής εικόνας, οι νοερές προσομοιώσεις αφορούν περισσότερο σε χωρικούς μετασχηματισμούς και όχι σε λεκτικές ή οπτικές αναπαραστάσεις. Τρία είδη ευρημάτων υποστηρίζουν αυτή τη θέση. Πρώτον, η επίλυση μηχανικών προβλημάτων, π.χ. με συστήματα τροχαλιών, έχει υψηλή συσχέτιση με μέτρα χωρικής ικανότητας και όχι σημαντική με μέτρα λεκτικής ικανότητας, γεγονός που δείχνει ότι οι συλλογισμοί αυτοί σχετίζονται με χωρικές και όχι λεκτικές αναπαραστάσεις (Hegarty and Sims, 1994, Hegarty and Steinhoff, 1997). Δεύτερον, το φορτίο στην οπτικο-χωρική μνήμη εργασίας παρεμβαίνει περισσότερο στους συλλογισμούς μηχανικών συστημάτων από ότι το φορτίο στη λεκτική μνήμη εργασίας και αντίστροφα (Baddeley, 2002, Sims and Hegarty, 1997). Τέλος, σε έργα μηχανικών συλλογισμών, όπου οι συμμετέχοντες πρέπει να “σκέφτονται φωναχτά”, τείνουν να χρησιμοποιούν χειρονομίες για να περιγράψουν τις κινήσεις στο σύστημα. Οι χειρονομίες σχετίζονται με χωρικές περιγραφές και το γεγονός ότι οι χειρονομίες, στα συγκεκριμένα έργα, προηγούνται των λεκτικών περιγραφών υποδηλώνει ότι η αρχική εσωτερική αναπαράσταση είναι χωρική και όχι λεκτική (Schwartz and Black, 1996b, Hegarty, 2004).

Οι νοερές εικόνες στις οποίες γίνονται οι νοερές προσομοιώσεις είναι χωρικές και όχι οπτικές. Οι οπτικές εικόνες αναπαριστούν τα οπτικά χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου, όπως το σχήμα και το χρώμα ενώ οι χωρικές εικόνες τις χωρικές σχέσεις μεταξύ των μερών ενός αντικειμένου, τις θέσεις των μερών στο χώρο ή/και την κίνησή τους και μπορούν να παραχθούν και από απτικές ή ακουστικές εμπειρίες³⁰. Η ικανότητα στη χωρική αναπαράσταση συνδέεται με τους λογικούς συλλογισμούς και με την επίδοση στην επίλυση προβλημάτων μαθηματικών και φυσικής. Στην επίλυση λεκτικών προβλημάτων στα μαθηματικά οι μαθητές που χρησιμοποιούσαν σχηματικές αναπαραστάσεις είχαν καλύτερες επιδόσεις και η χρήση τέτοιων αναπαραστάσεων φάνηκε να σχετίζεται με υψηλή ικανότητα στη χωρική οπτικοποίηση (Hegarty & Kozhevnikov, 1999). Οι Kozhevnikov, Hegarty, & Mayer, (2002) βρήκαν ότι στην επίλυση προβλημάτων φυσικής που παρουσιάζονταν μέσα από γραφικές παραστάσεις από την κινηματική, μαθητές με χαμηλή και υψηλή χωρική ικανότητα ερμήνευαν τα διαγράμματα με διαφορετικό τρόπο. Οι πρώτοι δημιουργούσαν μια ολική οπτική εικόνα και ερμήνευαν την κίνηση έτσι ώστε να ταιριάζει με το σχήμα της γραφικής ενώ οι άλλοι δημιουργούσαν σχηματικές εικόνες και ερμήνευαν τα διαγράμματα ως αφηρημένες αναπαραστάσεις.

3.3.6.2 Η φύση των συμβόλων

Σύμφωνα με τη Nersessian (2008b) τα τροπικά σύμβολα στα νοητικά μοντέλα των φυσικών συστημάτων είναι κατάλληλα για τις ανάγκες της αντίληψης των νοητικών μοντέλων ως προσομοιώσεις. Ένας από τους λόγους είναι ότι κάποια αντιληπτικά χαρακτηριστικά και κάποιες ιδιότητες των μερών του συστήματος έχουν σχέση με τη συμπεριφορά του. Η παρουσία τέτοιων συμβόλων επίσης θα διευκόλυνε τη σύζευξη τόσο μεταξύ της μνήμης εργασίας και της μακροπρόθεσμης μνήμης (ό.π. σ. 121) όσο και τη σύζευξη εσωτερικών και εξωτερικών αναπαραστάσεων (ό.π. σ.116). Η έρευνα στις νοερές προσομοιώσεις έδειξε ότι τα διαγράμματα με σύμβολα που αντιληπτικά έμοιαζαν με αυτά στα οποία αφορούσαν στο συλλογισμό διευκόλυνε τη λύση του προβλήματος (ό.π. σ. 118). Έρευνες στην ενσώματη νόηση (embodied cognition) δείχνουν ότι οι εσωτερικές αναπαραστάσεις διατηρούν αντιληπτικά χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, η εσωτερική αναπαράσταση χωρικών διατάξεων φαίνεται ότι είναι “εγωκεντρική” και ότι έχει συμμετρίες με άξονα τον

³⁰ Οι χωρικές και οι οπτικές εικόνες σχετίζονται με νευρωνική δραστηριότητα σε δύο διαφορετικές οδούς του οπτικού συστήματος, τη ραχιαία (dorsal) και την κοιλιακή (ventral) οδό αντίστοιχα.

παρατηρητή, ίσως για την προετοιμασία του για πιθανή δράση (Bryant, Tversky, & Franklin, 1992, Franklin & Tversky, 1990).

Θεωρητική υποστήριξη για τη διατήρηση κάποιων αντιληπτικών χαρακτηριστικών σε όλες τις νοητικές αναπαραστάσεις δίνει και η θεωρία του Barsalou (1999) σύμφωνα με την οποία η γνωστική επεξεργασία χρησιμοποιεί «φυσικά αντιληπτικά σύμβολα» (physical perceptual symbols) που είναι τα νευρωνικά αντίστοιχα των αισθητικοκινητικών εμπειριών που προκύπτουν από την αντιληπτική κατάσταση. Ένα υποσύνολο μιας τέτοιας κατάστασης μέσω της επιλεκτικής προσοχής αποθηκεύεται στη μακρόχρονη μνήμη, ως σύμβολο. Κάθε φορά που ένα τέτοιο σύμβολο ανασύρεται λειτουργεί συμβολικά αντιπροσωπεύοντας τα αντικείμενα του κόσμου στα οποία αναφέρεται. Αυτά τα αντιληπτικά σύμβολα είναι τροπικά και αναλογικά με τα αντικείμενα στα οποία αφορούν στον πραγματικό κόσμο καθώς αναπαρίστανται μαζί με τις αντιληπτικές καταστάσεις που τα παρήγαγαν. «Από αυτή τη σκοπιά η αντίληψη και η νόηση θεμελιώνονται από ένα κοινό αναπαραστασιακό σύστημα» (και όχι δύο ανεξάρτητα συστήματα). Αυτές οι αναπαραστάσεις έχουν δυνατότητες προσομοίωσης επειδή όταν ανασύρονται επανενεργοποιούνται οι αντιληπτικές και κινητικές εμπειρίες που τα παρήγαγαν, διότι, σε αντίθεση με τα μη τροπικά, αυτά τα σύμβολα μπορούν να απεικονιστούν απευθείας στις αντιληπτικές καταστάσεις και στον κόσμο (Nersessian, 2008b, σ. 124)³¹.

Συγκεντρώνοντας όλα αυτά τα δεδομένα μαζί η Nersessian παρουσιάζει μια συνολική θέση για τα νοητικά μοντέλα, τη φύση τους και τις γνωστικές διαδικασίες που τα υποστηρίζουν. Συγκεκριμένα λέει ότι:

³¹ Οι αντιρρήσεις στη θεώρηση του Barsalou αφορούν στην αδυναμία της να εξηγήσει την αναπαραστάση αφηρημένων εννοιών και καταστάσεων. Σύμφωνα με τον Barsalou όμως, αυτή η αποθήκευση αλλά και η επανενεργοποίηση των αντιληπτικών συμβόλων αφορά στο επίπεδο των “συστατικών” (components) που συγκροτούν την αντίληψη και όχι στο επίπεδο των ολιστικών αντιληπτικών εμπειριών. Καθώς οι μνήμες ενός συστατικού της αντίληψης κάποιου αντικειμένου για παράδειγμα, οργανώνονται εντός ενός κοινού πλαισίου, ενεργοποιούν έναν “προσομοιωτή” (simulator) που παράγει προσομοιώσεις αυτού του συστατικού. Ουσιαστικά, ο ρόλος του προσομοιωτή αποτελεί το αποτέλεσμα της σύνδεσης και ενοποίησης των επιμέρους αντιληπτικών συμβόλων που συνιστούν ένα αντικείμενο. Αυτή η διαδικασία ενοποίησης μάλιστα, καθοδηγείται από την επιδοχή (“affordances”) του συμβόλου ή του αντικειμένου. Ο Barsalou (1999) τονίζει ότι ο προσομοιωτής δεν ενεργοποιεί μόνο όψεις της αντιληπτικής εμπειρίας, αλλά παρέχει τις αναπαραστάσεις για διαδικασίες, όπως η ενδοσκόπηση και ο αυτοέλεγχος. Όπως αναφέρει, αυτή η διαδικασία υποστηρίζει τόσο την παραγωγικότητα όσο και τις αναπαραστάσεις αφηρημένων εννοιών, έχοντας πρόσβαση σε ένα πλήρως λειτουργικό εννοιολογικό σύστημα.

[E]να νοητικό μοντέλο είναι ένα εννοιολογικό σύστημα που αναπαριστά το φυσικό σύστημα... είναι εξιδανικευμένο και σχηματικό... [και] αναπαριστά τη φυσική κατάσταση με υποκατάστατα των αντικειμένων και των ιδιοτήτων, των σχέσεων, των συμπεριφορών ή των λειτουργιών των αντικειμένων αυτών, οι οποίες βρίσκονται σε αντιστοιχία με αυτές της φυσικής κατάστασης. (ό.π. σ. 128).

Ως νοητικό αντικείμενο, ένα νοητικό μοντέλο είναι μια εικονική αναπαράσταση μιας κατάστασης, ενός γεγονότος ή μιας διαδικασίας και μπορεί να περιέχει και τροπικά σύμβολα, τα οποία σε δυναμικές καταστάσεις υποστηρίζουν τη διαχείρισή του με κάποιο είδος νοερής προσομοίωσης. Οι συλλογισμοί είναι δεμένοι με τις ίδιες τις διαδικασίες κατασκευής και διαχείρισής του, σε μια διαδικασία που η Nersessian ονομάζει συλλογισμό μέσω προσομοίωσης (simulative reasoning).

3.3.7 Η φύση των νοητικών μοντέλων

Η θεωρία των νοητικών μοντέλων αφορά σε αναπαραστάσεις που βρίσκονται σε ένα ανώτερο επίπεδο της λειτουργίας του νου. Η έρευνα στον τομέα γίνεται κυρίως στο ψυχολογικό επίπεδο αλλά η πρόκληση για τους υποστηρικτές της θεωρίας είναι να παρουσιάσουν υποθέσεις για το πώς το μυαλό θα μπορούσε να υλοποιήσει αναπαραστάσεις που, στα κρίρια χαρακτηριστικά τους, είναι σαν μοντέλα σε κλίμακα που μιμούνται το σύστημα που αναπαριστούν (Waskan, in press). Μια τέτοια υπόθεση θα πρέπει να πληροί δύο προϋποθέσεις:

(α) να συμφωνεί με ότι γνωρίζουμε για τη λειτουργία του νου και

(β) να μπορεί να διακρίνει τα νοητικά μοντέλα από άλλα είδη νοητικών αναπαραστάσεων, όπως τις προτασιακές αναπαραστάσεις.

Μια υπόθεση για την κατασκευή νοητικών μοντέλων έχει καταθέσει ο Thagard αν και τα περιγράφει με όρους νευρωνικών διαδικασιών, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με την υπόθεση του Craik ή του Johnson-Laird ότι μια ψυχολογική εξήγηση μπορεί να γίνει σε ένα ανώτερο λειτουργικό και υπολογιστικό επίπεδο. Σύμφωνα με τον Thagard (2012 σ. 53),

«Η συνειδητή εμπειρία της απάντησης σε ένα [χωρικό] πρόβλημα προκύπτει από τη δραστηριότητα σε νευρωνικούς πληθυσμούς ανώτερου επιπέδου οι οποίοι κωδικοποιούν τη δραστηριότητα ενός ενδιάμεσου επιπέδου νευρωνικών πληθυσμών [το συνειδητό μοντέλο] οι οποίοι κωδικοποιούν τη δραστηριότητα χαμηλού επιπέδου πληθυσμών [στον πρωτοταγή οπτικό φλοιό] που αναπαριστούν τοπογραφικά τα χαρακτηριστικά του κόσμου.»

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει τη διατήρηση της δομής του φαινομένου. Για τη χρονική συνιστώσα ο Thagard προτείνει δύο εκδοχές. Μπορεί να υποστηρίζεται από συνεχή ανατροφοδότηση των νευρικών πληθυσμών που συλλέγουν την πληροφορία, διατηρώντας έναν χρονικό κύκλο που διατηρεί την πληροφορία ή είναι δυνατόν ένα συγκεκριμένο μοτίβο ενεργοποίησης να κωδικοποιεί μια κατάσταση πραγμάτων η οποία αντιστοιχεί σε κάποια ομάδα κανόνων για σχέσεις if-then (ό.π. σ. 54). Στο θεωρητικό επίπεδο όμως αυτή η διαδικασία της νευρωνικής κωδικοποίησης δεν διακρίνει τα νευρωνικά νοητικά μοντέλα από τις προτασιακές αναπαραστάσεις και δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι οι νευρωνικές αναπαραστάσεις έχουν χρονική, χωρική ή αιτιακή παραγωγικότητα (Waskan, in press).

Ο Waskan (in press) και η Nersessian (2008a), βασίζονται στην αρχική ιδέα του Craik, ότι τα νοητικά μοντέλα λειτουργούν στους συλλογισμούς όπως τα μοντέλα σε κλίμακα. Τα μοντέλα σε κλίμακα, λέει ο Waskan, έχουν χαρακτηριστικά που τα κάνουν να πλεονεκτούν ως αναπαραστάσεις (ιδιαίτερα στους μηχανιστικούς συλλογισμούς) σε σχέση με τις προτασιακές. Τα μοντέλα σε κλίμακα, όπως και τα νοητικά μοντέλα, είναι αναπαραστάσεις που συμπεριλαμβάνουν έμμεσα και εξ' αρχής τις προϋποθέσεις μιας κατάστασης αφού η κατασκευή τους γίνεται βάσει των αναγκών σε κάθε περίπτωση. Όταν αυτά τροποποιούνται, όλες οι επιπτώσεις των τροποποιήσεων ενσωματώνονται αυτόματα στο μοντέλο διότι αλλάζουν ταυτόχρονα όλες οι σχέσεις μεταξύ των μερών του μοντέλου.³² Οι αναπαραστάσεις αυτού του τύπου ονομάζονται *ενδογενείς*. Αντίθετα, στις προτασιακές αναπαραστάσεις οι προϋποθέσεις και οι επιπτώσεις των αλλαγών πρέπει να διατυπώνονται εξ' αρχής και να υπάρχουν ρητοί κανόνες για τη διαχείρισή τους. Με άλλα λόγια, τα μοντέλα είναι ένας οικονομικός τρόπος αναπαράστασης ενός συγκεκριμένου συστήματος και συλλογισμού σε αυτό αφού το μόνο που χρειάζεται να κάνει κάποιος είναι να επεξεργαστεί το μοντέλο και στο τέλος να "διαβάσει" από αυτό τις συνέπειες των πιθανών αλλαγών. Δηλαδή, τα μοντέλα σε κλίμακα και τα νοητικά μοντέλα δεν υπόκεινται στο πρόβλημα του πλαισίου. Αυτό το πρόβλημα προκύπτει στην τεχνητή νοημοσύνη όταν χρειάζεται να τυποποιηθούν διαδικασίες λύσης προβλήματος που αφορούν σε αλληλεπιδράσεις σε έναν πολύπλοκο κόσμο (Hayes, 1981) αλλά ισχύει και σε κάθε άλλο πλαίσιο εφαρμογής προτασιακών αναπαραστάσεων, δηλαδή σε *εξωγενείς* αναπαραστάσεις. Το πρόβλημα αφορά τόσο στην περίπτωση των προβλέψεων των συνεπειών των τροποποιήσεων σε μια κατάσταση όσο και στην περίπτωση των προϋποθέσεων για την έκβαση των διαδικασιών αυτών. Και στις δύο περιπτώσεις, η εκ των προτέρων συμπερίληψη όλων αυτών που ένας

³² Διότι είναι αναλογικές αναπαραστάσεις (βλ. σ. 75).

μέσος άνθρωπος γνωρίζει, έστω και έμμεσα, θα απαιτούσε ίσως έναν άπειρο αριθμό εξειδικευμένων κανόνων (Waskan, in press).

Το ερώτημα είναι αν ο νους, θεωρούμενος ως ένα υπολογιστικό σύστημα, μπορεί να κατασκευάσει αναπαραστάσεις που να έχουν τα πιο πάνω χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση των νοητικών μοντέλων οι αναπαραστάσεις αυτές θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να πληρούν τα πιο πάνω κριτήρια για τους προτεινόμενους μηχανισμούς επεξεργασίας των νοητικών μοντέλων αλλά και να έχουν εκείνα τα χαρακτηριστικά που θα τους επιτρέπουν αν λειτουργούν ως «μοντέλα σε κλίμακα». Ο Waskan επικαλείται τα υπολογιστικά μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων (finite element models, FEMs) η λειτουργία των οποίων θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι αναλύεται σε δύο επίπεδα, σε αυτό της εφαρμογής, όπου το σύστημα κάνει υπολογισμούς με βάση τη σύνταξη, όπως στις προτάσεις και σε ένα ανώτερο επίπεδο, στο οποίο οι υπολογισμοί αναδεικνύουν δομές που έχουν κάποια από τα χαρακτηριστικά των νοητικών μοντέλων (Waskan, 2010, in press).

Αυτή η μέθοδος εφαρμόστηκε αρχικά στη μηχανική και τη μηχανολογία αλλά έχει επεκταθεί στην διερεύνηση των επιπτώσεων θεωριών ή στη δημιουργία νέων προβλέψεων. Στο πρώτο επίπεδο το σύστημα χωρίζεται σε έναν πεπερασμένο αριθμό στοιχείων τα οποία ορίζονται τοπογραφικά και σε αυτά καθορίζονται οι ιδιότητες και οι οριακές συνθήκες με συναρτήσεις που προσεγγίζουν τις πραγματικές και δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο το μέσο μοντελοποίησης. Όταν “τρέχει” ένα τέτοιο μοντέλο σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν μόνο επαναληπτικοί υπολογισμοί χωρίς να μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αφορούν σε αναπαραστάσεις αφού δεν αναφέρονται σε αντικείμενα ή ιδιότητες του κόσμου που αναπαριστούν. Το σύστημα αναπαρίσταται στο επόμενο επίπεδο και το μοντέλο του συστήματος μπορεί να τροποποιηθεί με αναρίθμητους τρόπους με τις συνέπειες των τροποποιήσεων να μην χρειάζεται να έχουν εισαχθεί ρητά εκ των προτέρων, αφού καθορίζονται από τους περιορισμούς στο μέσο μοντελοποίησης. Αυτοί οι περιορισμοί είναι εγγενείς και απαράβατοι στο μοντέλο. Αυτό το μοντέλο έχει τα χαρακτηριστικά των μοντέλων σε κλίμακα, και διαφέρει από τις προτασιακές αναπαραστάσεις, αφού μπορεί μόνο να αναπαριστά συγκεκριμένα συστήματα και η γνώση για το σύστημα είναι ενσωματωμένη υπόρρητα σε αυτό από το μέσο μοντελοποίησης.

Ενδείξεις για τέτοιες ανωφερείς διαδικασίες υπάρχουν στη συνέχεια της έρευνας του Tolman (1948) για την πλοήγηση των ποντικών. Ο γνωστικός χάρτης του χώρου ενός ποντικού προκύπτει από την ταυτόχρονη λειτουργία δύο συστημάτων, ενός που βρίσκεται στον υπόκομπο που διατηρεί τη σχετική θέση και ενός πλέγματος στον ενδορινικό φλοιό

που διατηρεί τις αποστάσεις. Η συνεργασία τους αποτελεί ένα μέσο μοντελοποίησης που μπορεί να επαναχρησιμοποιείται για να κωδικοποιεί πληροφορία για ένα απροσδιόριστο αριθμό περιβαλλόντων στα οποία μπορεί βρεθεί το υποκείμενο. Πιο πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι υπάρχουν νευρωνικά κύτταρα που είναι ευαίσθητα στην κατακόρυφη θέση συνεισφέροντας στην κατασκευή τρισδιάστατων χαρτών του περιβάλλοντος και ότι τα ίδια ανατομικά συστήματα πιθανόν να έχουν ρόλο και στο χωρικό προσανατολισμό στους ανθρώπους. Αυτό δείχνει ότι, τουλάχιστον όσον αφορά στα χωρικά μοντέλα, υπάρχει στο μυαλό ένα μέσο μοντελοποίησης που κωδικοποιεί αναπαραστάσεις, στην προκειμένη περίπτωση χάρτες, που είναι λειτουργικά ισομορφικοί με τους πραγματικούς χάρτες του περιβάλλοντος. Δεν είναι αδύνατο, στο ανθρώπινο μυαλό, αυτή η ικανότητα να υπάρχει και σε άλλα συστήματα τα οποία να κατασκευάζουν και να “τρέχουν” μοντέλα όχι μόνο με χωρικές αλλά με κινηματικές και δυναμικές σχέσεις (Waskan, in press).

3.4 Νοητικά μοντέλα και διδασκαλία των φυσικών επιστημών

Η έννοια του νοητικού μοντέλου και ειδικότερα η περίπτωση των νοητικών μοντέλων των φυσικών συστημάτων είχε τεράστια επίδραση στην έρευνα της διδακτικής των φυσικών επιστημών ως το εργαλείο που όχι μόνο θα περιέγραφε τις αντιλήψεις των μαθητών, όπως συνέβαινε με την κυρίαρχη τάση στη διδακτική της καταγραφής των εναλλακτικών αντιλήψεων, αλλά θα προσέφερε και μια συνεκτική θεωρητική προσέγγιση στις δυσκολίες των μαθητών στη μάθηση στις φυσικές επιστήμες (Franco, de Barros, Colinvaux, Krapas, Queiroz, & Alves, 1999).

Ο μεγάλος αριθμός ερευνών που καταγράφουν τα νοητικά μοντέλα των μαθητών είναι ενδεικτικός της αποδοχής που βρήκε η θεωρία των νοητικών μοντέλων στη διδακτική των φυσικών επιστημών και την εκπαιδευτική ψυχολογία. Οι σχετικές έρευνες αποτυπώνουν τα νοητικά μοντέλα μαθητών και την επίδραση που αυτά έχουν στις διαδικασίες σκέψης και μάθησης σε διάφορες ηλικίες, από την πρωτοβάθμια ως την τριτοβάθμια εκπαίδευση και σε όλους τους τομείς της φυσικής και όχι μόνο. Η βασική υπόθεση αυτού του τομέα της έρευνας στη διδακτική είναι ότι οι άνθρωποι είναι βιολογικά εξοπλισμένοι με μηχανισμούς κατασκευής νοητικών μοντέλων από την αντίληψη και τις περιγραφές και καθώς αναπτύσσονται η ικανότητα αυτή βελτιώνεται και επεκτείνεται και σε άλλους τομείς, συμπεριλαμβανομένης και της επιστήμης. Η εξειδίκευση σε έναν τομέα βελτιώνει αυτήν την ικανότητα λόγω της αύξησης της γνώσης στο πεδίο και της εξοικείωσης με τις τεχνικές κατασκευής νοητικών μοντέλων (Nersessian, 2002, σ. 140).

Στο συγκεκριμένο πεδίο της έρευνας για τα νοητικά μοντέλα δεν φαίνεται να υπάρχει συναίνεση σε έναν ορισμό της έννοιας. Κάποιοι από αυτούς είναι: «ένα νοητικό μοντέλο είναι μια δομική, συμπεριφορική ή λειτουργική αναλογική αναπαράσταση μιας πραγματικής ή φανταστικής κατάστασης, διαδικασίας ή γεγονότος» (Nersessian, 2008b, σ. 93), «η αναπαράσταση ενός στόχου που μπορεί να είναι αντικείμενο, γεγονός, διαδικασία ή σύστημα» (Gilbert & Boulter, 1998, σ. 53) ή «μια εσωτερική αναπαράσταση ενός εξωτερικού συστήματος... ένα σχήμα που αποτυπώνει τη φυσική του κόσμου που αναπαριστά» (Markman, 1999, σ. 256). Οι Vosniadou και Brewer (1994) και οι Greca και Moreira (2002) φαίνεται να συμφωνούν σε έναν πιο λειτουργικό ορισμό σύμφωνα με τον οποίο ένα νοητικό μοντέλο είναι μια εσωτερική αναπαράσταση που διατηρεί τη δομή αυτού που αναπαριστά και που μπορεί να εξηγήσει τους συλλογισμούς όταν οι άνθρωποι εξηγούν και προβλέπουν τη συμπεριφορά του συστήματος. Για τους Vosniadou και Brewer (1992) η εξήγηση και η πρόβλεψη στηρίζεται στο ότι οι άνθρωποι μπορούν να “τρέξουν” νοητικά το μοντέλο τους. Το πλεονέκτημα της αποτύπωσης των νοητικών μοντέλων των μαθητών για τα φυσικά συστήματα σε σχέση με την απλή καταγραφή των αντιλήψεών τους είναι η δυναμική πτυχή που είναι ενσωματωμένη στην έννοια. Η καταγραφή των αντιλήψεων έχει αποσπασματικό χαρακτήρα και δεν αναδεικνύει τις σχέσεις μεταξύ των εννοιών ή των μερών του συστήματος αλλά ούτε και τις διαδικασίες που συμβαίνουν ανάμεσά τους. Ένα νοητικό μοντέλο έχει τη δυνατότητα να απεικονίσει καλύτερα το δυναμικό χαρακτήρα των φυσικών συστημάτων που τα νοητικά μοντέλα αναπαριστούν.

3.4.1 Η έρευνα της διδακτικής των φυσικών επιστημών για τα νοητικά μοντέλα των μαθητών

Στο πλαίσιο της διδακτικής προκύπτουν νέα ερωτήματα για τα νοητικά μοντέλα, όπως: (α) πώς κατασκευάζονται; (β) είναι η ικανότητα κατασκευής τους εγγενής ή αποκτάται; (γ) πώς μπορεί να διευκολυνθεί η κατασκευή τους; (δ) πώς αλλάζουν και πώς εξελίσσονται; (ε) πώς επιδρούν στη διδασκαλία; (ζ) είναι τα νοητικά μοντέλα το μόνο μέσο που χρησιμοποιούν οι μαθητές όταν καλούνται να απαντήσουν σε διάφορα προβλήματα;

Οι έρευνες των Vosniadou and Brewer για τα νοητικά μοντέλα των μαθητών 6 έως 11 ετών για το σχήμα της Γης (1992) και το κύκλο ημέρας και νύχτας (1994) έδωσαν αρχικές απαντήσεις σε κάποια από αυτά τα ερωτήματα. Σύμφωνα με το θεωρητικό πλαίσιο των πιο πάνω ερευνητών τα νοητικά μοντέλα για τον φυσικό κόσμο είναι δομές γνώσης που προκύπτουν από την προϋπάρχουσα γνώση, η οποία αποκτάται από την παρατήρηση και την εμπειρία ή το πολιτισμικό περιβάλλον, στην κατασκευή των οποίων ενσωματώνονται κάποιες ειδικές ανά πεδίο αρχές, οι προϋποθέσεις (presuppositions) (π.χ. τα μη

υποστηριζόμενα σώματα πέφτουν). Αυτές οι αρχές καθορίζουν το περιεχόμενο και τη δομή των νοητικών μοντέλων. Οι προϋποθέσεις στις οποίες στηρίζονται κάποια νοητικά μοντέλα αφορούν σε οντολογικές αντιλήψεις για τη φύση εννοιών που περιλαμβάνονται σε αυτά, όπως η υποστασιοποίηση της έννοιας της ακτίνας φωτός στη γεωμετρική οπτική (Hubber, 2006) ή του ήχου ως διακριτής οντότητας αυτόνομης από το μέσο διάδοσης (Herpic, Zollman & Rebello, 2010). Σύμφωνα με τους Vosniadou και Brewer (1994), τα νοητικά μοντέλα με τη σειρά τους επιδρούν και στην απόκτηση νέας γνώσης στο πεδίο και στις διαδικασίες της εννοιολογικής αλλαγής. Σε αυτό το πλαίσιο τα *αρχικά* (initial) μοντέλα εξελίσσονται με την ηλικία και τη διδασκαλία, ενσωματώνοντας νέα στοιχεία από την επιστημονικά αποδεκτή γνώση, σε αυτό που οι συγκεκριμένοι ερευνητές ονομάζουν *συνθετικά* μοντέλα (synthetic models). Αυτά με τη σειρά τους είναι δυνατόν να μετατραπούν σε επιστημονικά αποδεκτά μοντέλα με τη σταδιακή άρση των *προϋποθέσεων* που τα δεσμεύουν. Σε αυτή την ανάλυση η εννοιολογική αλλαγή είναι μια συνεχής διαδικασία που πραγματοποιείται όχι μόνο με την αναδιοργάνωση εννοιών και τη δημιουργία νέων (Chi, Slotta & de Leeuw, 1994) αλλά από την επανερμηνεία των *προϋποθέσεων* που δεσμεύουν τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών (Vosniadou & Brewer, 1994).³³

Η ύπαρξη σύνθετων μοντέλων έχει καταγραφεί και στην έρευνα των Herpic et al (2010) για τη διάδοση του ήχου. Οι ερευνητές τα ονομάζουν *σύμμεικτα* (blend) ή *υβριδικά* (hybrid) και τα θεωρούν, όπως και οι Greca και Moreira (2002), προϊόντα των διαδοχικών αναδιαμορφώσεων των αρχικών μοντέλων. Σε κάποιες περιπτώσεις, όταν οι αντιλήψεις των μαθητών φαίνεται να στηρίζονται σε περισσότερα από ένα μοντέλα, είναι πιθανόν να μην είναι περιπτώσεις σύνθετων μοντέλων αλλά να προκύπτουν από ένα σύνολο αποσπασματικών ιδεών που χρησιμοποιούνται ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής (Borges and Gilbert, 1999).

Η κατασκευή πολλών τέτοιων μοντέλων φαίνεται να γίνεται επί τόπου, όταν ζητηθεί από τους μαθητές να εξηγήσουν μια νέα κατάσταση (Vosniadou & Brewer, 1992, Herpic et al, 2010) χωρίς να αποκλείεται να χρησιμοποιούν και κάποιες ήδη υπάρχουσες γνωστικές δομές. Αυτό πιθανόν συμβαίνει διότι η κατασκευή ενός νοητικού μοντέλου απαιτεί αρκετή νοητική προσπάθεια την οποία φαίνεται ότι οι άνθρωποι έχουν την τάση να αποφεύγουν,

³³ Λίγα χρόνια αργότερα ο Brewer (1999), σε ένα λίγο διαφορετικό πλαίσιο για τις νοητικές αναπαραστάσεις, υποστήριξε ότι αυτές οι έρευνες αφορούσαν στις απλοϊκές θεωρίες των παιδιών στην παρατηρησιακή αστρονομία και ότι τα νοητικά μοντέλα είναι υποκατηγορία των απλοϊκών θεωριών.

όταν αυτό είναι δυνατόν (Redish 1994, Norman, 1983). Είναι όμως πιθανό ότι όταν ένα νοητικό μοντέλο κατασκευαστεί και αποδειχθεί χρήσιμο, να παραμένει στη μακροπρόθεσμη μνήμη ως μια μόνιμη δομή γνώσης.

Τα νοητικά μοντέλα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο φαίνεται να εξελίσσονται με την ηλικία και την απόκτηση σχετικής γνώσης (Borges and Gilbert, 1999, Borges, Tecnico, & Gilbert, 1998). Η επίδραση της εκπαίδευσης σε κάποια από αυτά γίνεται φανερή λόγω της ενσωμάτωσης σε αυτά επιστημονικών εννοιών που περιγράφουν καταστάσεις ή διαδικασίες και που θα μπορούσαν να προκύψουν κυρίως από τη διδασκαλία. Τα νοητικά μοντέλα εξελίσσονται με το χρόνο ή/και την εκπαίδευση σε πολλές διαστάσεις: στο εύρος εφαρμογής τους και στους περιορισμούς τους, στη διαφοροποίηση και στη διάκριση όρων, στη χρήση πλουσιότερου λεξιλογίου, στην εισαγωγή νέων οντοτήτων και αφηρημένων εννοιών (Borges and Gilbert, 1999). Από φαινομενολογικά, φτωχά σε λεξιλόγιο και έννοιες και με μικρή επεξηγηματική και προβλεπτική αξία εξελίσσονται σε πιο πλούσια, επεξηγηματικά μοντέλα, που περιλαμβάνουν και αόρατους αιτιακούς μηχανισμούς για την περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των συνιστωσών του προβλήματος.

Η εισαγωγή νέων οντοτήτων ή η αλλαγή της οντολογικής φύσης κάποιων από αυτές που περιλαμβάνονται στα μοντέλα είναι ένδειξη αλλαγής ενός νοητικού μοντέλου διότι σηματοδοτεί κάποια αλλαγή στο εννοιολογικό σύστημα του μαθητή. Μια τέτοια αλλαγή, που μπορεί να συνίσταται στη μετακίνηση μιας έννοιας από μια κατηγορία σε άλλη, στην αναδιοργάνωση του συστήματος των εννοιών ή στη δημιουργία μιας νέας κατηγορίας ή ενός νέου εννοιολογικού συστήματος με τις κατάλληλες ιδιότητες, είναι αναγκαία στην περίπτωση των επιστημονικών εννοιών (Chi et al 1994, Thagard 1992, σ. 60, 61). Αυτή η θέση όμως υποθέτει ότι κάθε οντολογική αντίληψη συνδέεται με κάποιες διαδικασίες άμεσες ή αναδυόμενες και ότι υπάρχει μια ένα-προς-ένα αντιστοιχία ανάμεσά τους. Κάποιες έρευνες όμως υποστηρίζουν ότι ενώ μια τέτοια αλλαγή είναι απαραίτητη δεν είναι απαραίτητα και ικανή για την διόρθωση ενός νοητικού μοντέλου. Μια συγκεκριμένη οντολογική αντίληψη μπορεί να οδηγήσει σε περισσότερες από μία δυνατές διαδικασίες και συνεπώς οι αλλαγές στην αντίληψη των διαδικασιών είναι καλύτερος δείκτης για τη βελτίωση ενός νοητικού μοντέλου παρά μόνον οι οντολογικές αντιλήψεις (Chiou & Andreson, 2010).

Επειδή οι άνθρωποι έχουν την τάση να χρησιμοποιούν αναλογίες, μια μέθοδος για τη διευκόλυνση στην κατασκευή ενός νοητικού μοντέλου είναι η χρήση των αναλογιών. Η μέθοδος βασίζεται στην Υπόθεση της Δημιουργικής Αναλογίας (Generative Analogy

Hypothesis), ότι δηλαδή, συμπεράσματα για τη λειτουργία ενός συστήματος μπορούν να προκύψουν από τη χρήση ενός αναλογικού μοντέλου από έναν άλλον τομέα που παρουσιάζει τη ίδια δομή (Gentner & Gentner, 1983, σ. 100). Αν και η μέθοδος είναι αποτελεσματική έχει περιορισμούς διότι (α) προϋποθέτει καλή γνώση της λειτουργίας του αναλογικού μοντέλου και (β) κάθε αναλογία αναπαριστά ορθά μόνο κάποιες πτυχές του υπό μελέτη συστήματος ενώ οδηγεί σε λάθος συμπεράσματα για κάποιες άλλες διότι επιβάλλει κάποιους περιορισμούς από το πεδίο της αναλογίας που δεν ισχύουν στις διαδικασίες του υπό μελέτη συστήματος (Gentner & Gentner, 1983· Chiou, 2013).

Μια από τις χαρακτηριστικές λειτουργίες ενός νοητικού μοντέλου είναι ότι μπορεί κάποιος να το χρησιμοποιήσει ως μια νοητική προσομοίωση και να το “τρέξει” νοητικά ώστε να κάνει προβλέψεις για μια μελλοντική κατάσταση του συστήματος. Αυτό δε φαίνεται όμως να συμβαίνει πάντα. Πολλές φορές οι εξηγήσεις και οι προβλέψεις είναι δυνατόν να εξαρτώνται από διαφορετικές νοητικές διαδικασίες. Το μοντέλο χρησιμοποιείται για τις εξηγήσεις ενώ για τις προβλέψεις οι άνθρωποι μπορεί να καταφύγουν στη χρήση κανόνων (Schwartz & Black, 1996b). Όταν οι μαθητές χρειαστεί να δώσουν εξηγήσεις για τη λειτουργία του συστήματος φαίνεται να χρησιμοποιούν το μοντέλο τους. Όταν όμως τους ζητηθεί να κάνουν προβλέψεις, διατυπώνουν το συμπέρασμα είτε ανασύροντας απευθείας κανόνες ή ερμηνείες από προηγούμενες εμπειρίες ή μετά από κάποια προσπάθεια να τρέξουν το μοντέλο φτάνουν ως ένα σημείο και καταλήγουν σε μια δηλωτική πρόταση. Το τελευταίο μπορεί να είναι ένδειξη της περιορισμένης ικανότητας των μη εξασκημένων ανθρώπων να “τρέξουν” ένα νοητικό μοντέλο, λόγω της μικρής χωρητικότητας της μνήμης εργασίας ή της απροθυμίας τους να καταβάλουν την απαραίτητη νοητική προσπάθεια. Και στις δύο περιπτώσεις καταφεύγουν στην αμέσως επόμενη δυνατή ή βολική λύση αντίστοιχα. Μπορεί όμως να είναι και αποτέλεσμα μιας προσέγγισης στη μάθηση που ευνοεί την αποστήθιση, γεγονός όχι ανεξάρτητο από τα δύο προηγούμενα ή και σε ένα χάσμα μεταξύ των επιφανειακών χαρακτηριστικών των μοντέλων τους και στη βαθύτερη κατανόηση που έχουν για την κατάσταση (Chiou & Anderson, 2010· Chiou, 2013).

Αυτά τα ευρήματα εγείρουν αυτόματα το ερώτημα αν οι μαθητές κατασκευάζουν και χρησιμοποιούν συστηματικά νοητικά μοντέλα και ποιες άλλες γνωστικές δομές χρησιμοποιούν όταν σκέφτονται για τα φυσικά συστήματα. Η κυρίαρχη μεθοδολογία στις έρευνες για τα νοητικά μοντέλα είναι αυτή των συνεντεύξεων και της λύσης προβλήματος. Οι μαθητές αναμένεται να εκφράσουν αλλά και να χρησιμοποιήσουν το μοντέλο τους σε αυτές τις διαδικασίες. Όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις, φαίνεται ότι οι μαθητές διαμορφώνουν το μοντέλο κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Αυτό δείχνει ότι οι μαθητές

έχουν τη δυνατότητα να κατασκευάσουν νοητικά μοντέλα αλλά όχι και ότι απαραίτητα οργανώνουν αυθόρμητα τη γνώση που αποκτούν με τη διδασκαλία με αυτό τον τρόπο. Αυτό ήταν και το εύρημα της έρευνας που διεξήγαγαν οι Greca και Moreira (1997) για την έννοια του πεδίου σε δευτεροετείς φοιτητές της μηχανολογίας. Η έμφαση της έρευνας ήταν στο είδος των νοητικών αναπαραστάσεων που χρησιμοποιούσαν οι φοιτητές και όχι στο περιεχόμενό τους. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι οι περισσότεροι εργαζόντουσαν με προτάσεις που ήταν εκφάνσεις ορισμών και μαθηματικών σχέσεων οι οποίες δεν σχετιζόντουσαν αλλά ούτε και αποτελούσαν ερμηνείες κάποιου μοντέλου. Οι φοιτητές αυτοί παρουσίαζαν κακή εννοιολογική οργάνωση στο αντικείμενο, μεθοδολογία στη λύση προβλήματος που στηριζόταν στη δοκιμή και στο λάθος και ομαδοποίηση των προβλημάτων με βάση τα επιφανειακά τους χαρακτηριστικά. Στο ποσοστό εκείνων των μαθητών που έδειχνε ενδείξεις για την κατασκευή νοητικού μοντέλου όμως οι έννοιες είχαν ουσιαστικό περιεχόμενο και ήταν καλύτερα οργανωμένες, πολλές φορές και σε διαφορετικά επίπεδα γενίκευσης. Η κατασκευή ενός μοντέλου έδειξε συσχέτιση με την καλύτερη επίδοση στις συνιστώσες της αξιολόγησης που αφορούσαν στο εννοιολογικό περιεχόμενο αλλά όχι και στη λύση προβλήματος. Κάποιοι που χρησιμοποιούσαν νοητικά μοντέλα βασισμένα σε εικόνες επίσης μπορούσαν να λύσουν προβλήματα βάσει των μοντέλων τους αλλά δεν είχαν δεξιότητες στη διαχείριση του μαθηματικού φορμαλισμού. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού τα νοητικά μοντέλα είναι ποιοτικά και μπορεί να υποστηρίζονται και από εικονικές νοητικές αναπαραστάσεις.

Η χρήση προτασιακών αναπαραστάσεων που αντιστοιχεί σε αναπαραγωγή δηλώσεων που υπάρχουν στη σχετική θεωρία για τη λύση προβλημάτων είναι ένδειξη ότι οι μαθητές δεν έχουν νοητικό μοντέλο για την κατάσταση που περιγράφει το πρόβλημα. Αυτό είναι σε συμφωνία με τα συμπεράσματα της έρευνας των Mani and Johnson-Laird (1982) στην οποία όταν οι συμμετέχοντες δεν είχαν νοητικό μοντέλο για την περιγραφή κάποιας χωρικής διάταξης αντικειμένων θυμόντουσαν καλύτερα τις αυτολεξεί περιγραφές των διατάξεων. Αντίθετα, όταν είχαν νοητικό μοντέλο, θυμόντουσαν καλύτερα το νόημα της διάταξης. Στην περίπτωση της διδασκαλίας η αναπαραγωγή δηλώσεων και απαντήσεων είναι πιο εύκολη αφού, σε αντίθεση με την περίπτωση των συλλογισμών, υπάρχουν ήδη διαθέσιμες από την ίδια τη διδασκαλία και το περιεχόμενο των εγχειριδίων, όπως περιγραφές, εικόνες, λυμένα παραδείγματα κ.ά.

Ένα ερώτημα που προκύπτει από τις έρευνες για τα νοητικά μοντέλα των μαθητών είναι αν τα μοντέλα που καταγράφονται αντιστοιχούν σε αυτό που οι μαθητές “έχουν στο μυαλό τους”. Οι περισσότεροι ερευνητές σημειώνουν ότι τα μοντέλα που αποτυπώνονται στις

έρευνες είναι όχι τα ίδια τα νοητικά μοντέλα αλλά οι εκπεφρασμένες εκδοχές τους. Με τα λόγια των Gilbert & Boulter (1998) οι έρευνες περιγράφουν ένα «μοντέλο του μοντέλου». Το εκπεφρασμένο μοντέλο μπορεί να υποκαθορίζεται από τη μεθοδολογία της έρευνας ή να περιορίζεται από την ικανότητα των μαθητών να εκφράσουν με ένα συγκεκριμένο τρόπο αυτό που σκέφτονται. Η επισκόπηση κάποιων ερευνών έχει δείξει ότι οι αλλαγές στη μεθοδολογία και στις τεχνικές των συνεντεύξεων είναι δυνατόν να επιδράσουν την ποικιλία των μοντέλων που εκμαιεύονται (Frède, Nobes, Frappart, Panagiotaki, Troadec, & Martin, 2011; Vosniadou, Skopeliti & Ikospentaki, 2004). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι διαφορετικές μέθοδοι ερωτήσεων π.χ. ανοικτού τύπου ή πολλαπλής επιλογής, μπορεί να λειτουργούν επιλεκτικά σε διαφορετικές μορφές γνώσης ή να περιορίζουν τους τρόπους συλλογισμού (Vosniadou et al, 2004) και αυτή η επίδραση γίνεται ακόμη πιο σημαντική αν οι μαθητές κατασκευάζουν τα νοητικά μοντέλα κατά τη διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας.

Παρόλα αυτά μπορούν να εξαχθούν κάποια γενικά συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά των νοητικών μοντέλων των μαθητών, όπως: (α) ότι είναι παραγωγικά, δηλαδή έχουν τη δυνατότητα να παραγάγουν νέες ιδέες, (β) ότι περιλαμβάνουν άδηλη γνώση, δηλαδή στοιχεία που δεν εκφράζονται ρητά στο μοντέλο αλλά που οι μαθητές τα χρησιμοποιούν όταν συλλογίζονται με αυτό, (γ) ότι το περιεχόμενό τους εξαρτάται από αντιλήψεις για τον κόσμο, όπως για τη φύση των θεωρητικών οντοτήτων και εννοιών στην επιστήμη ή για τη δομή και την οργάνωση του κόσμου, (π.χ. το σχήμα της Γης ως δαχτυλίδι που εμφανίστηκε μόνο στα παιδιά από τις νήσους Σαμόα) (Franco & Colinvaux, 2000) και (δ) ότι είναι δυναμικές δομές τόσο ως προς τον τρόπο κατασκευής τους όσο και ως προς την εξέλιξή τους, η οποία παρατηρείται με την ηλικία και τη μάθηση σχετικής με το πεδίο γνώσης αλλά και τεχνικών. Σύμφωνα με τους Franco & Colinvaux (2000), αυτά τα χαρακτηριστικά δεν είναι απαραίτητο να εμφανίζονται ταυτόχρονα σε όλα τα μοντέλα. Εξαίρεση αποτελεί αυτό της δυνατότητας παραγωγής νέων ιδεών, που σχετίζεται και με το δυναμικό χαρακτήρα των μοντέλων, διότι αυτό είναι το μόνο που διαφοροποιεί τα νοητικά μοντέλα από άλλες δομές γνώσης, όπως τις έννοιες και τα σχήματα. Η εμφάνιση ή όχι των υπολοίπων χαρακτηριστικών μπορεί να εξαρτάται και από τις συνθήκες κατασκευής του μοντέλου. Αυτά μπορεί να μην είναι και τα μόνα χαρακτηριστικά. Οι Franco and Collinvaux (ό.π.) εισηγούνται και την *οπτικοποίηση* (visualisation) ως ένα άλλο πιθανό χαρακτηριστικό των νοητικών μοντέλων. Αν και δεν είναι σαφείς ως προς πώς αντιλαμβάνονται την έννοια του όρου, κάποια μορφή νοεράς προσομοίωσης υποστηρίζεται τόσο από δεδομένα από τη

γνωστική επιστήμη για τη διαχείριση νοερών εικόνων όσο και από την εφαρμογή τους στους επιστημονικούς συλλογισμούς (Nersessian, 2008b, σ. 91).

3.4.2 Μαθησιακές διαδικασίες και νοητικά μοντέλα

Βασική παραδοχή στην έρευνα για τα νοητικά μοντέλα στη διδασκαλία είναι ότι η μάθηση βασίζεται στην κατασκευή νοητικών αναπαραστάσεων με νόημα, όπως τα νοητικά μοντέλα. Σε αυτό το πλαίσιο είναι πολύ σημαντικό οι μαθησιακές διαδικασίες να είναι μοντελοκεντρικές, δηλαδή να εμπλέκουν τους μαθητές διαδικασίες κατασκευής μοντέλων και να καλλιεργούν τις απαραίτητες δεξιότητες για την κατασκευή τους. Στη βιβλιογραφία μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κατηγορίες μοντελοκεντρικών διδακτικών προσεγγίσεων. (α) Μάθηση προσανατολισμένη στη μίμηση της συμπεριφοράς των ειδικών ή την προσαρμογή της εξήγησης του διδάσκοντα η οποία στοχεύει στην εσωτερίκευση των εννοιολογικών μοντέλων που παρουσιάζονται στους μαθητές. (β) Τη μάθηση με εξωτερικά καθοδηγούμενη ανακάλυψη, στην οποία ο μαθητής πρέπει να αναζητήσει πληροφορία σε ένα δεδομένο μαθησιακό περιβάλλον ώστε να κατασκευάσει ένα νοητικό μοντέλο για έναν κόσμο στον οποίο ισχύουν ειδικοί κανόνες. (γ) Την αυτοκαθοδηγούμενη ανακάλυψη και τη διερευνητική μάθηση (Seel, N. 2006). Από τις τρεις κατηγορίες η πρώτη είναι αυτή που χρησιμοποιείται συχνότερα στην εκπαιδευτική πρακτική ενώ η τελευταία φαίνεται να είναι η πιο δύσκολη, διότι όχι μόνο είναι η διαδικασία της επιστημονικής μοντελοποίησης δύσκολη για τους μαθητές αλλά και επειδή ο αυτοέλεγχος της διαδικασίας μάθησης απαιτεί από τους μαθητές δεξιότητες στη λύση προβλήματος καθώς και μεταγνωστικές δεξιότητες. Και στις τρεις κατηγορίες πάντως έχει σημασία η ανάπτυξη και χρήση του κατάλληλου μαθησιακού περιβάλλοντος που θα προσφέρει στον μαθητή τις βέλτιστες συνθήκες για να αναπτύξει πρωτοβουλίες με λίγη εξωτερική καθοδήγηση.

3.5 Νοητικές αναπαραστάσεις και επιστήμη

Στο αρχείο της ιστορίας της επιστήμης υπάρχουν πολλές αναφορές σε ισχυρισμούς επιστημόνων για τη μορφή και τη διαδικασία σκέψης τους. Τέτοιοι ισχυρισμοί είναι γεμάτοι από αναφορές σε διάφορες νοητικές αναπαραστάσεις που περιλαμβάνουν σύμβολα, εικόνες, προσομοιώσεις κ.ά. Πολύ γλαφυρή είναι η περιγραφή του Richard Feynman για τον τρόπο που κατανοεί τα μαθηματικά θεωρήματα. «Δεν μπορώ να καταλάβω κάτι εκτός και αν έχω στο μυαλό μου ένα συγκεκριμένο παράδειγμα και το παρακολουθώ να εξελίσσεται... [για το συγκεκριμένο φυσικό παράδειγμα] ξέρω από διαίσθηση και εμπειρία τις ιδιότητές του...». Αυτό που ο Feynman εννοεί ως «συγκεκριμένο παράδειγμα» στην περίπτωση δύο συνόλων μπορεί να ήταν δύο μπάλες οι οποίες αποκτούσαν, στο μυαλό του, συγκεκριμένα

χαρακτηριστικά όπως μαλλιά ή χρώμα, καθώς περισσότερες συνθήκες τίθεντο στο πρόβλημα. Το μαθηματικό θεώρημα ήταν, για τον Feynman, λανθασμένο αν το συμπέρασμα του μαθηματικού συλλογισμού δεν ίσχυε για τις τριχωτές χρωματιστές μπάλες που είχε στο μυαλό του! (Feynman, 1985, σ. 243-245).

Το 1945 ο μαθηματικός Jacques Hadamard εξέδωσε το βιβλίο με τίτλο *The Mathematician's Mind* στο οποίο προσπαθούσε να καταγράψει τις νοητικές διαδικασίες στην ανακάλυψη νέων ιδεών στα μαθηματικά. Η απάντηση του Albert Einstein στην ερώτηση τι είδους εσωτερικές ή νοητικές αναπαραστάσεις χρησιμοποιούν οι μαθηματικοί καταγράφεται στο βιβλίο και είναι χαρακτηριστική.

Οι λέξεις της γλώσσας... δεν φαίνεται να παίζουν κανένα ρόλο στο μηχανισμό της σκέψης μου. ...[Σ]τοιχεία της σκέψης μου είναι κάποια σύμβολα και, λιγότερο ή περισσότερο καθαρές, εικόνες οι οποίες μπορούν να αναπαραχθούν και να συνδυαστούν κατά βούληση... Υπάρχει βέβαια κάποια σχέση μεταξύ αυτών των στοιχείων και των σχετικών λογικών εννοιών...

διευκρινίζοντας αργότερα ότι «Το παιχνίδι με αυτά τα στοιχεία είναι ανάλογο με κάποιες λογικές συνδέσεις που κάποιος αναζητά» (ό.π. σ. 142-143). Αυτή η διαδικασία, σύμφωνα με τους ισχυρισμούς του Einstein, προηγείται της οποιασδήποτε λογικής κατασκευής σε λέξεις ή άλλα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για να επικοινωνήσει κάποιος την ιδέα του σε άλλους. Ο Einstein όμως αναφέρεται και σε μια ικανότητα να «οπτικοποιεί τις επιδράσεις, τις συνέπειες και τα ενδεχόμενα και τους τρόπους της σκέψης κατά τη διάρκεια των ανακαλύψεων των άλλων» και ότι αυτό ήταν πιο εύκολο και γρήγορο σε σχέση με την ικανότητά του στους μαθηματικούς υπολογισμούς.³⁴ Χρησιμοποιώντας αυτή την «ιδιαιτερή», όπως τη χαρακτηρίζει, ικανότητά του φαντάστηκε τι θα έβλεπε αν κινούνταν δίπλα σε μια ακτίνα φωτός με την ίδια ταχύτητα με αυτή. Το αποτέλεσμα όμως δεν ήταν σύμφωνο με τους νόμους του Maxwell και η ασυνέπεια άρθηκε με τη διατύπωση των νόμων της σχετικότητας (Holton, 1971).

Και άλλες αναφορές σχετίζονται με μια εμπειρία νοερών εικόνων. Ο Friedrich Kékule έλεγε ότι έβλεπε τα μόρια του άνθρακα να χοροπηδούν μπροστά του σχηματίζοντας αλυσίδες ώσπου φαντάστηκε αυτή την αλυσίδα σαν ένα φίδι που δαγκώνει την ουρά του και κατέληξε

³⁴ Σε μια πρόσφατη μελέτη φωτογραφιών του εγκεφάλου του Einstein παρατηρήθηκαν αυξημένες συνδέσεις μεταξύ των δύο ημισφαιρίων του εγκεφάλου του, γεγονός που πιθανόν να εξηγεί την αυξημένη ικανότητα του Einstein να εποπτικοποιεί αφηρημένες έννοιες (Men, W., Falk, D., Sun, T., Chen, W., Li, J., Yin, D., Zang, L. & Fan, M. (2014).

στην κυκλική αλυσίδα του βενζολίου (Shepard, 1978). Ο Nicola Tesla έλεγε ότι κατασκεύαζε τις μηχανές πρώτα στο μυαλό του και μπορούσε να τις λειτουργεί νοερά για να ελέγχει ποια μέρη τους υφίσταντο μεγαλύτερη φθορά (Ferguson, 1994).

Αυτές είναι ανέκδοτες ιστορίες για προσωπικές εμπειρίες, σίγουρα πραγματικές για αυτούς που τις βίωναν, που όμως δείχνουν ότι πίσω από κάθε ανακάλυψη ή νέα ιδέα υπάρχουν πολλές μη τυπικές νοητικές διαδικασίες οι οποίες όμως προκύπτουν από τις δυνατότητες του ίδιου του ανθρώπινου μυαλού. Αυτές οι εμπειρίες, αν και παρουσιάζονται αποσπασματικά, ήταν σίγουρα μέρος μιας ευρύτερης διαδικασίας στην ενασχόληση του επιστήμονα με ένα πρόβλημα. Η ευρεία χρήση των μηχανικών μοντέλων το 19^ο αιώνα πιθανόν να ήταν μια προσπάθεια αξιοποίησης της δυνατότητας για νοερή επεξεργασία διάφορων εικονικών αναπαραστάσεων. Τα μηχανικά μοντέλα ήταν ένα μέσο αναπαράστασης νέων αντιλήψεων σε ένα οικείο εννοιολογικό πλαίσιο, τα οποία οι επιστήμονες μπορούσαν να τα διαχειριστούν νοερά και να εξαγάγουν συμπεράσματα για το άγνωστο σύστημα. Ήταν δηλαδή βοηθήματα για την κατασκευή ενός νοητικού μοντέλου του άγνωστου πεδίου. Ενσωματωμένη σε αυτά τα μηχανικά μοντέλα ήταν η έννοια της αναλογίας. Η πιο ενδιαφέρουσα είναι σίγουρα η περίπτωση του James Clerk Maxwell και της θεωρίας για τον ηλεκτρομαγνητισμό, όχι διότι η θεωρία έχει μεγαλύτερη σημασία αλλά επειδή η πορεία προς την ανακάλυψη είναι καταγεγραμμένη στα ιστορικά αρχεία και έτυχε φιλοσοφικής ανάλυσης, υπό το πρίσμα της γνωστικής επιστήμης, στην υποδειγματική στον τομέα, δουλειά της Nersessian (1992, 2008b) με αυτό που η ίδια ονόμασε *γνωστικό-ιστορική ανάλυση* (cognitive-historical analysis). Ο Maxwell κατέληξε στις μαθηματικές του εξισώσεις για τον ηλεκτρομαγνητισμό χρησιμοποιώντας ως βοηθήματα στη σκέψη του μια σειρά από όλο και περισσότερο εξεζητημένα μηχανικά μοντέλα που βασιζόνταν στις αρχές της μηχανικής και της υδροδυναμικής με τις οποίες είχε μεγάλη εξοικείωση, από τα οποία στο τέλος έφτιαξε ένα εντελώς νέο εννοιολογικό πλαίσιο. Αυτά τα μοντέλα παρουσιάζονταν και με τη μορφή στατικών μηχανικών διαγραμμάτων τα οποία μπορούσε κάποιος να τα θέσει νοερά σε κίνηση. Οι σχηματικές απεικονίσεις τους μάλιστα περιλάμβαναν και οδηγίες προς τον αναγνώστη για το πώς να τα θέσει νοητικά σε κίνηση για να καταλάβει τις διαδικασίες που αναπαριστούσαν. Η διαδικασία επεξεργασίας αυτών των μοντέλων σε συνδυασμό με θεωρητικές αρχές από τη μηχανική των συνεχών μέσων, πειραματικά αποτελέσματα από τον ηλεκτρισμό και το μαγνητισμό, μαθηματικές τεχνικές, τεχνικές αναλογίας κ.ά. οδήγησαν σε εννοιολογική καινοτομία.

Κατά τη Nersessian, σε μια επιστήμη βασισμένη στα μοντέλα, η κατασκευή και η διαχείριση νοητικών μοντέλων, μαζί με άλλα είδη μοντέλων, όπως μαθηματικά, φυσικά, υπολογιστικά,

είναι μια από τις γνωστικές διαδικασίες που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες μαζί με τους αναλογικούς συλλογισμούς, την αφαίρεση, την εποπτικοποίηση και διαδικασίες νοερής προσομοίωσης. Αυτή η θέση προκύπτει από μια νατουραλιστική επιστημολογία που υποθέτει ότι οι τεχνικές που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες για τη λύση προβλήματος προκύπτουν αλλά και περιορίζονται από τις βασικές ικανότητες του μυαλού. Οι τεχνικές αυτές αν και βρίσκονται στο απώτερο άκρο ενός συνεχούς που ξεκινά από τις γνωστικές διαδικασίες που χρησιμοποιούν οι άνθρωποι για τη λύση καθημερινών προβλημάτων, δεν εξαρτώνται μόνο από αυτές. Διαφέρουν από τις περιπτώσεις της καθημερινής ζωής διότι περιλαμβάνουν πολλή εξειδικευμένη γνώση για το πεδίο του προβλήματος, είναι συνειδητά αναστοχαστικές, στοχεύουν σε ένα συγκεκριμένο είδος κατανόησης που αφορά στο φυσικό κόσμο και, στο τέλος, πρέπει να καταλήξουν σε ποσοτική κατανόηση και μια συνεπή μαθηματική περιγραφή (Nersessian, 2008b, σ. 12, 2008a, σ. 2).

Η Nersessian θεωρεί ότι οι διαδικασίες των συλλογισμών με μοντέλα και ειδικά αυτές που οδηγούν σε εννοιολογική καινοτομία, βασίζονται στη δυνατότητα του ανθρώπου για νοητική μοντελοποίηση, την οποία περιγράφει, ακολουθώντας τον Craik, ως συλλογισμούς προσομοίωσης με μοντέλα (*simulative model-based reasoning*). Η κατασκευή, διαχείριση, αξιολόγηση και η προσαρμογή των μοντέλων γίνεται με τη χρήση αναλογιών, νοητικών πειραμάτων και εικονιστικών αναπαραστάσεων. Στην πορεία για την κατασκευή του τελικού μοντέλου κατασκευάζονται μια σειρά από αναλογικά μοντέλα, με διαφορετικούς βαθμούς αφαίρεσης, τα οποία περιλαμβάνουν εξειδικευμένη γνώση για το πεδίο αλλά και γενικές αρχές. Τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν, ρητά ή υπόρρητα, τους περιορισμούς της πηγής της αναλογίας, του υπό εξέταση συστήματος καθώς και του ίδιου του μοντέλου. Παραδείγματα περιορισμών είναι η αιτιακή συνοχή και η φυσική και μαθηματική συνέπεια (Nersessian, 2008b, σ. 129). Τα συμπεράσματα για τις δυνατότητες ή τις αδυναμίες του κάθε μοντέλου εξάγονται με νοητική προσομοίωση της λειτουργίας του μοντέλου η οποία δείχνει τις νέες καταστάσεις του συστήματος και πιθανόν αναδεικνύει νέους περιορισμούς. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου το μοντέλο να καταστεί μια επαρκής αναπαράσταση του υπό εξέταση συστήματος, όποτε και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή μπορούν να μεταφερθούν στο στόχο. Στους συλλογισμούς με μοντέλα (*model based reasoning*) οι διαδικασίες αναλογίας, απεικόνισης (*imagery*) και προσομοίωσης συνυφαίνονται δημιουργικά. Στην επιστήμη το αποτέλεσμα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να επιδέχεται μαθηματική περιγραφή που θα επιτρέψει και την εξαγωγή ποσοτικών αποτελεσμάτων που θα πρέπει να συμφωνούν με υπάρχοντα ή με μελλοντικά πειραματικά δεδομένα. Αυτή η

διαδικασία, όταν είναι επιτυχής, μπορεί να οδηγήσει σε καινοτομία ως αποτέλεσμα μιας εκτεταμένης και σταδιακής διαδικασίας μοντελοποίησης.

Η επιτομή της κατασκευής της νοερής εικόνας μιας κατάστασης και η προσομοίωση της εξέλιξής της στο μυαλό είναι το νοερό πείραμα (thought experiment). Τα νοερά πειράματα είναι ένα εργαλείο που οι επιστήμονες φαίνεται να χρησιμοποιούν από τις απαρχές της επιστήμης, όπως φαίνεται από το ιστορικό αρχείο (Galili, 2009). Η διεξαγωγή τέτοιων “πειραμάτων”, κατά τη Nersessian (2008b σ. 173), απαιτεί την προηγούμενη κατασκευή ενός νοητικού μοντέλου το οποίο μέσω μιας νοερής προσομοίωσης εξετάζει τις συνέπειες που θα είχαν συγκεκριμένοι μετασχηματισμοί στο μοντέλο. Στην ίδια γραμμή ο Clement (2009 σ. 693), ως νοερό πείραμα θεωρεί κάθε περίπτωση στην οποία ένα νοητικό μοντέλο χρησιμοποιείται για να απαντηθεί μια νέα ερώτηση και ότι οι εικονιστικές προσομοιώσεις είναι σημαντικό μέρος της διαδικασίας του συλλογισμού. Τα νοερά πειράματα, όπως και τα νοητικά μοντέλα, είναι είδος συλλογισμού που στηρίζεται στην ικανότητα του ανθρώπου να φαντάζεται, να προβλέπει, να οπτικοποιεί νοερά και βιώνει ξανά εμπειρίες που υπάρχουν στη μνήμη (Nersessian, 2008b σ. 173). Αυτά τα χαρακτηριστικά τα καθιστούν “νοερά” αλλά αυτό που τα καθιστά “πειραματικά” είναι ότι μέσω της νοερής προσομοίωσης καταλήγουμε σε εννοιολογικά και εμπειρικά συμπεράσματα. Επειδή η κατάσταση στο μοντέλο προκύπτει από αφαιρέσεις από οικείες εμπειρίες και δραστηριότητες και από τη γνώση και τις υποθέσεις μας για τον κόσμο, το νοερό πείραμα κληρονομεί μια εμπειρική δύναμη τέτοια ώστε τα δεδομένα από την διεξαγωγή του “πειράματος” να έχουν εμπειρικές συνέπειες. Λόγω των αφαιρέσεων, οι συνέπειες αυτές επεκτείνονται πέρα από την συγκεκριμένη κατάσταση στο μοντέλο και καταδεικνύουν τις συνέπειες μιας αναπαράστασης στον πραγματικό κόσμο (Nersessian, 1992). Ένα νοερό πείραμα μπορεί να προσφέρει γνώση πέρα από την εμπειρία διότι επιτρέπει τη διαχείριση μεταβλητών πέρα από ότι θα ήταν εμπειρικά δυνατόν και αυτό προσφέρει νέα δεδομένα. Από αυτά τα νέα δεδομένα όμως δεν μαθαίνουμε για τον κόσμο αλλά για το εννοιολογικό πλαίσιο που χρησιμοποιούμε στο συγκεκριμένο νοερό πείραμα. Σε αυτό το χαρακτηριστικό έγκειται και η επιστημολογική τους αξία (Galili, 2009).

Όπως και τα πειράματα στον πραγματικό κόσμο, έτσι και τα νοερά πειράματα συνοδεύονται από οδηγίες ώστε να μπορούν να επαναληφθούν. Οι οδηγίες έχουν το χαρακτήρα μιας αφήγησης, κατάλληλα διαμορφωμένης ώστε να τονίζει τα υπό εξέταση χαρακτηριστικά του συστήματος και να εγείρει στον αναγνώστη ή ακροατή το κατάλληλο νοητικό μοντέλο, όπως και στην περίπτωση των μοντέλων αφηγηματικών κειμένων. Η προσομοίωση των συνεπειών της κατάστασης ή της διαδικασίας που περιγράφεται στο μοντέλο προσφέρει

επιστημική πρόσβαση στο συγκεκριμένο τρόπο αναπαράστασης του κόσμου και στην εξαγωγή συμπερασμάτων για συγκεκριμένες πτυχές της αναπαράστασης (Nersessian, 1992).

Η γενικότερη προσέγγιση της Nersessian είναι σημαντική διότι συνδέει δύο τομείς έρευνας που αφορούν στην επιστήμη, τη γνωστική επιστήμη και τη φιλοσοφία. Με την ανάλυσή της προσφέρει μια επιστημονική κατανόηση της επιστημονικής σκέψης και δημιουργικότητας χρησιμοποιώντας, μέσα από τις υπάρχουσες γνώσεις για τη λειτουργία του ανθρώπινου μυαλού, τα χαρακτηριστικά εκείνα που επιτρέπουν και διευκολύνουν τη διεξαγωγή της επιστήμης. Η εικόνα της επιστήμης, όπως αναδύεται μέσα από το γνωστικό φακό, έχει επιπτώσεις και στη φιλοσοφία διότι δείχνει ότι η ενασχόληση με τα θεωρητικά προϊόντα της επιστημονικής σκέψης αποκρύπτει πολλές δημιουργικές γνωστικές διαδικασίες που οδηγούν σε καινοτομία και οι οποίες μπορούν να εξηγήσουν τις αλλαγές σε ένα εννοιολογικό πλαίσιο. Η περιγραφή της Nersessian δείχνει πώς οι θεωρίες διαμορφώνονται από τις γνωστικές δραστηριότητες του επιστήμονα και πώς, μέσα από αυτές, η επιστήμη μπορεί να είναι συνεχής χωρίς στο σύνολό της να είναι αθροιστική.

3.5.1 Σύγκριση νοητικών και επιστημονικών μοντέλων

Τόσο τα νοητικά όσο και τα επιστημονικά μοντέλα προτάθηκαν, στην ψυχολογία και στην επιστήμη αντίστοιχα, ως μορφές οργάνωσης και διαχείρισης της γνώσης σε απάντηση στην περιγραφή της ανθρώπινης σκέψης, επιστημονικής ή μη, από την τυπική λογική. Τα επιστημονικά μοντέλα ήταν η απάντηση στη θέση του λογικού θετικισμού ότι η γνώση περικλείεται στις θεωρίες η εγκυρότητα των οποίων θα αξιολογούνταν από το βαθμό στον οποίο το περιεχόμενό της θα μπορούσε να διατυπωθεί με την τυπική λογική. Στην ψυχολογία τα νοητικά μοντέλα προτάθηκαν ως εναλλακτικές μορφές κωδικοποίησης της γνώσης στον αντίποδα των ισχυρισμών για την ύπαρξη κάποιας μορφής τυπικής νοητικής λογικής που υιοθετεί η υπολογιστική θεωρία του νου.

Αν έχουν δίκιο οι υποστηρικτές της ύπαρξης νοητικών μοντέλων, τότε, σε κάποιο επίπεδο της λειτουργίας του νου το ανθρώπινο μυαλό είναι εξελικτικά διαμορφωμένο έτσι ώστε να έχει την εγγενή ικανότητα στην κατασκευή και την επεξεργασία νοητικών μοντέλων. Τα μοντέλα αυτά είναι εσωτερικές αναπαραστάσεις δυναμικών οργανωμένων δομών γνώσης τις οποίες χρησιμοποιούν οι άνθρωποι στους συλλογισμούς τους. Από νατουραλιστική σκοπιά, μια επιστήμη βασισμένη στα μοντέλα θα πρέπει να είναι επέκταση αυτής της εγγενούς ικανότητας του ανθρώπου και συνεπώς εξηγεί και την επιτυχία της εφαρμογής της

μεθόδου στην επιστήμη. Αν ισχύει αυτό τότε θα πρέπει τα νοητικά μοντέλα να έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά με τα επιστημονικά.

Αυτό που είναι σημαντικό είναι ασφαλώς το γεγονός ότι και τα δύο είναι μορφές οργάνωσης της γνώσης οι οποίες υποστηρίζουν τους συλλογισμούς. Τόσο τα νοητικά όσο και τα επιστημονικά μοντέλα είναι αναπαραστάσεις πραγματικών ή φανταστικών καταστάσεων. Έχουν την ίδια δομή με το σύστημα που αναπαριστούν με την έννοια ότι διατηρούν τις ατομικότητες και τις σχέσεις μεταξύ των μερών του συστήματος. Για αυτό το λόγο μπορούμε με την επεξεργασία τους να καταλήξουμε σε συγκεκριμένα συμπεράσματα για το συγκεκριμένο σύστημα και να σχεδιάσουμε τα κατάλληλα πειράματα για τον έλεγχό τους.

Η επεξεργασία τους είναι δημιουργική και οδηγεί σε κάποια συμπεράσματα που στην περίπτωση των επιστημονικών μοντέλων μπορεί να είναι νέα γνώση. Όπως πολλά νοητικά μοντέλα για τον κόσμο καθορίζονται από την κοσμοθεωρία και τις πεποιθήσεις αυτού που τα κατασκευάζει έτσι και τα επιστημονικά μοντέλα κατασκευάζονται μέσα στο εννοιολογικό πλαίσιο μιας ή περισσότερων θεωριών. Λόγω των δύο τελευταίων χαρακτηριστικών, δηλαδή της εξάρτησης από τη γνώση και την κοσμοαντίληψη, τα μοντέλα μπορεί να είναι λανθασμένα και να αναθεωρούνται ή να αντικαθίστανται από άλλα υπό το φως νέων τεκμηρίων ή μιας νέας οπτικής στα πράγματα, δηλαδή να έχουμε εννοιολογική αλλαγή ή, για την επιστήμη, αλλαγή θεωρίας.

Οι διαφορές τους όμως είναι επίσης πολλές και καθοριστικές. Τα νοητικά μοντέλα είναι εσωτερικές αναπαραστάσεις ενώ τα επιστημονικά μοντέλα είναι και εξωτερικές αναπαραστάσεις αν και ο επιστήμονας πρέπει να έχει ένα αντίστοιχο νοητικό μοντέλο για να αναγνωρίζει μια νέα κατάσταση ως μια στην οποία ταιριάζει ένα συγκεκριμένο επιστημονικό μοντέλο (Giere, 2001 σ. 523). Τα επιστημονικά μοντέλα, αν και κατασκευάζονται από μεμονωμένους επιστήμονες ή ομάδες επιστημόνων, γίνονται δημόσια εργαλεία σκέψης και ελέγχονται, αξιολογούνται, διορθώνονται και αναθεωρούνται από τα τεκμήρια και την κριτική της επιστημονικής κοινότητας. Τα νοητικά μοντέλα αντίθετα είναι προσωπικά και ανήκουν στο γινώσκον υποκείμενο. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε άμεση πρόσβαση σε αυτά και μπορούμε να τα ερευνήσουμε μόνο έμμεσα από τα δεδομένα συμπεριφορικών ερευνών. Ακριβώς επειδή είναι προσωπικά, δεν γνωρίζουμε, τουλάχιστον όχι ακόμη, ούτε πώς ακριβώς κατασκευάζονται. Στην περίπτωση των επιστημονικών μοντέλων γνωρίζουμε τις τεχνικές κατασκευής τους αφού, συνήθως, ανήκουν σε έναν αναγνωρίσιμο αριθμό τεχνικών που υιοθετούνται στο πεδίο που ανήκει το μοντέλο αλλά και σε αυτά οι γνωστικές διαδικασίες από τις οποίες προκύπτουν δεν είναι πάντα τόσο

προφανείς, ιδίως στην περίπτωση της εφαρμογής καινοτομιών ή στην αλλαγή της οπτικής των πραγμάτων.

Μια βασική διαφορά είναι ασφαλώς ότι τα νοητικά μοντέλα είναι απλά ενώ τα επιστημονικά μοντέλα έχουν έναν υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας που καθιστά αδύνατη την πλήρη αναπαράστασή τους από νοητικά μοντέλα (Giere, 2002 σ. 293). Αντίθετα από τα μοντέλα στην καθημερινή ζωή που μπορεί να κατασκευαστούν από ένα συνδυασμό οικείων καταστάσεων από τη μνήμη, τα επιστημονικά μοντέλα αν και φανταστικά, απαιτούν πολλή νοητική εργασία για την κατασκευή τους γιατί χρησιμοποιούν πολλές εξειδικευμένες πηγές γνώσης και πρέπει να περιγράψουν τον κόσμο με έναν καθορισμένο τρόπο. Γι' αυτό και οι επιστήμονες χρησιμοποιούν και εξωτερικά βοηθήματα, όπως σχήματα και γραφικές παραστάσεις, που είναι εξωτερικές αναπαραστάσεις, οι οποίες βοηθούν στην απεικόνιση της πληροφορίας με έναν πιο οικονομικό γνωστικά τρόπο. Τα νοητικά μοντέλα είναι απλά με δύο τρόπους. Πρώτον, περιλαμβάνουν μόνο λίγους παράγοντες, συνήθως ως αποτέλεσμα της άγνοιας για άλλες πιθανές επιδράσεις στο σύστημα. Τα επιστημονικά μοντέλα επίσης χαρακτηρίζονται από αφαιρέσεις και εξιδανικεύσεις, δηλαδή απλουστεύσεις, σε σύγκριση όμως με την τεράστια πολυπλοκότητα του πραγματικού συστήματος που αναπαριστούν. Η σημαντική διαφορά είναι ότι οι απλουστεύσεις αυτές είναι, κυρίως, αποτέλεσμα μιας συνειδητής επιλογής του επιστήμονα που απορρέει από την υπάρχουσα γνώση για τον πιθανό βαθμό επίδρασης που κάποιοι παράγοντες μπορεί να έχουν στο συγκεκριμένο σύστημα που το μοντέλο αναπαριστά. Δεύτερον, τα νοητικά μοντέλα είναι ποιοτικά ενώ τα επιστημονικά μοντέλα είναι ποσοτικά διότι διαφορετικά θα ήταν αδύνατος ο πειραματικός έλεγχος των ισχυρισμών και των προβλέψεων που προκύπτουν από το μοντέλο. Και τα δύο όμως υπόκεινται σε έναν περιορισμό, τη δυνατότητα επεξεργασίας. Τα νοητικά μοντέλα από τις δυνατότητες της μνήμης εργασίας ενώ τα επιστημονικά από τη δυνατότητα της μαθηματικής επεξεργασίας, χωρίς αυτό βέβαια να σημαίνει ότι ο βαθμός αυτός είναι συγκρίσιμος, ειδικά με τις δυνατότητες που προσφέρουν σήμερα οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

Τέλος, πολλά νοητικά μοντέλα μπορεί να κατασκευάζονται *in vivo*, χωρίς ιδιαίτερους ελέγχους για τις συνέπειές τους και μπορεί να είναι προσωρινά. Ένα τέτοιο μοντέλο μπορεί να διατηρηθεί αν ο κάτοχος του μοντέλου το αξιολογήσει ως επιτυχημένο και γίνεται η βάση και για άλλους σχετικούς συλλογισμούς. Δεν αποκλείεται και η κατασκευή ενός επιστημονικού μοντέλου να ξεκινήσει από στοιχεία που προκύπτουν επίσης *in vivo* σε ερευνητικά εργαστήρια στις διαδικασίες ανάλυσης και σχεδιασμού (Dunbar, 1999). Συνήθως όμως τα επιστημονικά μοντέλα κατασκευάζονται στο πλαίσιο συγκεκριμένων

αναζήτησεων, αποσκοπούν σε έναν συγκεκριμένο τρόπο περιγραφής του φυσικού κόσμου και εκφράζουν συγκεκριμένες επιστημονικές υποθέσεις και, κυρίως, τις συνέπειές τους.

Αυτές οι ομοιότητες δεν αποτελούν το κύριο μέρος του επιχειρήματος για τη σχέση των νοητικών μοντέλων με τα επιστημονικά. Είναι μόνο ενδείξεις για τις πιθανές σχέσεις τους. Αυτό που επισημαίνουν οι φιλόσοφοι που έχουν στραφεί στη μελέτη των νοητικών μοντέλων για την κατανόηση της επιστήμης είναι ότι και τα δύο θα πρέπει να υποστηρίζονται από τις ίδιες νοητικές διαδικασίες και γνωστικές ικανότητες τις οποίες οι επιστήμονες αξιοποιούν και τελειοποιούν στο πλαίσιο της εργασίας τους.

3.5.2 Νοητικά μοντέλα, επιστημονικά μοντέλα και συλλογισμοί

Πολλοί φιλόσοφοι υποστηρίζουν την άποψη ότι μια πλήρης κατανόηση της επιστήμης και της επιστημονικής σκέψης είναι δυνατή μόνο με την κατανόηση των νοητικών εκείνων λειτουργιών που υποστηρίζουν τις γνωστικές διαδικασίες που χαρακτηρίζουν την επιστημονική πρακτική και πώς αυτές ταιριάζουν στη δομή του νου (Nersessian, 2008b· Waskan, in press· Carruthers, Stich & Siegal, 2002). Η Nersessian (2008a, b) και ο Waskan (in press), ειδικότερα, θεωρούν ότι αν η κυρίαρχη αντίληψη στη φιλοσοφία ότι η επιστήμη βασίζεται στα μοντέλα είναι σωστή, το πλαίσιο των νοητικών μοντέλων είναι κατάλληλο για την αναζήτηση σε αυτή την κατεύθυνση, διότι ο βασικός ρόλος των μοντέλων τόσο στην επιστήμη όσο και στην καθημερινή ζωή είναι να υποστηρίζουν τους συλλογισμούς.

Όπως είδαμε, ο Waskan προσπαθώντας να δώσει απαντήσεις για τη φύση των νοητικών μοντέλων κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τα νοητικά μοντέλα και τα μοντέλα σε κλίμακα που υποθέτει ο Craik μοιράζονται κάποια χαρακτηριστικά ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους ως αναπαραστάσεων και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να υποστηρίζουν το ίδιο είδος συλλογισμού. Το κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι και τα δύο είναι ενδογενείς αναπαραστάσεις (intrinsic representations), δηλαδή ότι πρώτον, κατασκευάζονται έτσι ώστε να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις που αφορούν στο συγκεκριμένο σύστημα και δεύτερον, όταν γίνονται τροποποιήσεις στο μοντέλο οι συνέπειες της τροποποίησης και οι αλλαγές στις σχέσεις μεταξύ των μερών του, σε ένα μεγάλο βαθμό, ενσωματώνονται αυτόματα σε αυτό. Για την εξαγωγή ενός συμπεράσματος κάποιος χρειάζεται μόνο να “διαβάσει” το μοντέλο. Αυτό σημαίνει ότι η πληροφορία βρίσκεται ήδη στο μοντέλο χωρίς όμως να είναι ρητά διατυπωμένη εξ’ αρχής. Ο Waskan ισχυρίζεται ότι αυτό είναι ένα άλλο είδος συλλογισμού που το ονομάζει *εξαγωγή* (exduction, ex-out+duce-lead) και είναι, όπως και οι παραγωγές, μονοτονική. Αυτό που κάνει τις παραγωγές μονοτονικούς συλλογισμούς είναι ότι το συμπέρασμα ενός έγκυρου συλλογισμού δεν μπορεί να ανατραπεί με την πρόσθεση

και άλλων προκειμένων. Κατά μία έννοια, σε μια έγκυρη παραγωγή, η πληροφορία που διατυπώνεται στο συμπέρασμα ήδη περιέχεται στις προκειμένες και η πρόσθεση και άλλης πληροφορίας δεν αναιρεί την υποστήριξη των υπαρχουσών προκειμένων προτάσεων σε αυτό. Το συμπέρασμα μπορεί να ανατραπεί μόνο με την απόρριψη μιας ή περισσότερων προκειμένων, δηλαδή το συμπέρασμα είναι λάθος μόνο αν μια προκειμένη είναι λανθασμένη. Είναι με αυτή την έννοια που οι συλλογισμοί με μοντέλα σε κλίμακα είναι μονοτονικοί. Επειδή είναι ενδογενείς αναπαραστάσεις η πληροφορία που εξάγεται αναφορικά με τις συνέπειες των τροποποιήσεων ήδη υπάρχει, υπόρρητα, στο μοντέλο. Αν το συμπέρασμα είναι λάθος, τότε και κατ' αναλογία με τις παραγωγές, θα πρέπει να τροποποιηθεί το μοντέλο. Οι εξαγωγές όμως, ως διαδικασίες εσωτερικού συλλογισμού, έχουν μια βασική διαφορά με τις παραγωγές. Οι τελευταίες είναι τυπικές, δηλαδή το βάρος της συναγωγής φέρουν τα λογικά στοιχεία και η δομή του επιχειρήματος. Στους συλλογισμούς με νοητικά μοντέλα αυτή τη δουλειά κάνει το συγκεκριμένο περιεχόμενο του μοντέλου.

Η ανάλυση της Nersessian ξεκινά από την ίδια βάση με αυτή του Waskan, ότι δηλαδή τα μοντέλα στην επιστήμη δεν είναι απλά βοηθήματα στους συλλογισμούς αλλά η χρήση τους αποτελεί ένα διακριτό είδος συλλογισμού. Έχουν όμως τα νοητικά μοντέλα, όπως τα περιγράφει η Nersessian, τουλάχιστον για την περίπτωση της καινοτομίας, εκείνα τα χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα για να θεωρηθούν επίσης εξαγωγές; Η έμφαση στην ανάλυση της Nersessian βρίσκεται στο ότι ο δημιουργικός χαρακτήρας των μοντέλων οφείλεται στους περιορισμούς που υπάρχουν στο μοντέλο από την κατασκευή του, λόγω των υποθέσεων στις οποίες βασίζονται και των χαρακτηριστικών των συνιστούντων μερών τους και από νέους περιορισμούς που προκύπτουν από την επεξεργασία τους. Οι περιορισμοί αυτοί είναι εγγενείς αφού «το μοντέλο ενσωματώνει και συμμορφώνεται με τους περιορισμούς των φαινομένων στα οποία αφορά ο συλλογισμός επιτρέποντας τις συναγωγές για αυτά τα φαινόμενα... Οι περιορισμοί είναι η αιτιακή συνοχή... και η φυσική και μαθηματική συνέπεια» (2008b, σ. 129). Δηλαδή, όπως και στην ανάλυση του Waskan, τα νοητικά μοντέλα αναπαριστούν συγκεκριμένα συστήματα και είναι ενδογενή αφού το συμπέρασμα καθορίζεται από δεδομένα που ήδη υπάρχουν στο μοντέλο από την κατασκευή του και ο συλλογισμός γίνεται με βάση τα συγκεκριμένα, εξειδικευμένα από το πεδίο, χαρακτηριστικά των μερών τους. Έτσι, η ανάλυση του Waskan συμπληρώνει αυτήν της Nersessian και ενισχύει τη βασική της θέση ότι η ανακάλυψη είναι μια λογική διαδικασία που όμως δεν στηρίζεται στην τυπική λογική. Όπως σημειώνει η Nersessian, διαφωνεί «με την εξίσωση των συλλογισμών με την τυπική λογική. Η έννοια του συλλογισμού με την

οποία λειτουργεί η φιλοσοφία είναι πολύ στενή και έχει οδηγήσει στη λανθασμένη άποψη ότι οι ανακαλύψεις δεν προκύπτουν από λογικές διαδικασίες». Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρει το χρυσό κανόνα των παραγωγικών συλλογισμών που εκφραζόταν με την υποθετικό-παραγωγική μέθοδο και που «δεν περιλάμβανε τις συναγωγικές διαδικασίες που δημιουργούσαν τις αρχικές υποθέσεις» (ο.π. σ. 11). Αυτή η λογική της ανακάλυψης υποστηρίζεται από ικανότητες του νου που υποστηρίζουν εκείνες τις γνωστικές διαδικασίες που πιθανόν να οδήγησαν και στην ανάπτυξη της ίδιας της τυπικής λογικής.

Ένα σημείο το οποίο ο Waskan δεν εξηγεί είναι το πώς παράγεται νέα γνώση και ειδικά καινοτόμα γνώση με αυτούς του συλλογισμούς αφού η πληροφορία για το συμπέρασμα βρίσκεται ήδη στο μοντέλο. Τα νοητικά μοντέλα, όπως και τα μοντέλα σε κλίμακα λύνουν το πρόβλημα της ρητής διατύπωσης των αρχικών συνθηκών και περιλαμβάνουν υπόρρητα όλη τη σχετική γνώση για τις επεξηγηματικές υποθέσεις οι οποίες έχουν αναρίθμητες επιπτώσεις, πέρα από αυτό που εξηγούν. Αυτό δεν είναι απαραίτητα παράληψη διότι αυτό που ο Waskan θέλει να καταδείξει είναι ότι νοητικές αναπαραστάσεις της μορφής των νοητικών μοντέλων είναι πιο κατάλληλες, από γνωστική σκοπιά, από τις προτασιακές αναπαραστάσεις για την περιγραφή της επιστημονικής σκέψης, αφού δεν υπόκεινται στο πρόβλημα του πλαισίου. Μια απάντηση όμως δίνει η Nersessian, αφού στο κέντρο της ανάλυσης της είναι η παραγωγή νέας γνώσης και πώς αυτή προκύπτει από επεξηγηματικές υποθέσεις που επιστρατεύονται για την εξήγηση του υπό μελέτη φαινομένου και αυτή η απάντηση είναι σε συμφωνία με τους ισχυρισμούς του Waskan. Σύμφωνα με τη Nersessian, η επεξηγηματική υπόθεση περιγράφεται από ένα εννοιολογικό μοντέλο που

κατασκευάζεται με αφαιρετικές διαδικασίες που επιτρέπουν την ενσωμάτωση πληροφορίας από πολλαπλές πηγές ειδικές για τη λύση του συγκεκριμένου προβλήματος, οι οποίες με τη σειρά τους επιτρέπουν την ανάδυση καινοτόμων συνδυασμών ως υποψήφιες λύσεις σε αναπαραστατικά προβλήματα... περιορισμοί από διάφορες πηγές μπορούν να αλληλεπιδράσουν με τέτοιους τρόπους ώστε να αναδυθεί ένα μοντέλο που αναπαριστά μια μέχρι εκείνη τη στιγμή άγνωστη δομή ή συμπεριφορά... Τα αποτελέσματα αυτών των ανασυνδυασμών μπορούν να εξερευνηθούν μόνο με τη φαντασία - ή σε συνδυασμό με φυσικές αναπαραστάσεις- και μέσω έκφρασής τους με άλλες αναπαραστατικές μορφές, όπως τα μαθηματικά και τη γλώσσα. (ό. π., σ. 130).

Οι επιστημονικοί συλλογισμοί μπορούν να θεωρηθούν απαγωγές, αφού το βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι αποτελούν εξηγήσεις των υπό μελέτη φαινομένων. Οι απαγωγές, αντίθετα από τις παραγωγές και τις εξαγωγές, δεν είναι μονοτονικές και, όπως οι επαγωγές,

οδηγούν σε συμπεράσματα που δεν είναι αναγκαία. Το ερώτημα που προκύπτει είναι πώς η έννοια της εξαγωγής εντάσσεται στο πλαίσιο της επιστήμης μαζί με την απαγωγή. Μια πιθανή απάντηση είναι ότι η ίδια η κατασκευή του μοντέλου είναι μια απαγωγική διαδικασία αφού περιλαμβάνει τις επεξηγηματικές υποθέσεις για τη λειτουργία του φαινομένου και πολλά διαφορετικά μοντέλα μπορεί να προταθούν ως εξηγήσεις για το ίδιο φαινόμενο. Οι συλλογισμοί με το μοντέλο όμως είναι εξαγωγικοί και πρέπει να οδηγούν σε ένα συμπέρασμα που είναι σύμφωνο με τα πειραματικά τεκμήρια που αφορούν στο φαινόμενο ή να οδηγεί σε νέα δεδομένα που πρέπει να ελεγχθούν πειραματικά. Αν αυτό δε συμβεί τότε το μοντέλο τροποποιείται ή ένα νέο μοντέλο κατασκευάζεται που σηματοδοτεί έναν νέο κύκλο απαγωγής και εξαγωγής.

Συνοψίζοντας, οι συλλογισμοί με μοντέλα στην επιστήμη υποστηρίζονται από την κατασκευή και διαχείριση νοητικών μοντέλων που έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά με τα μοντέλα σε κλίμακα που τα καθιστούν κατάλληλα για τους συλλογισμούς στην επιστήμη. Ο τρόπος κατασκευής τέτοιων αναπαραστάσεων δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης πολλών διαφορετικών πηγών γνώσης στο ίδιο μοντέλο, ο συνδυασμός των οποίων είναι δυνατόν να οδηγήσει σε καινοτομία. Η κατασκευή ενός μοντέλου είναι μια απαγωγική διαδικασία αφού αποτελεί εισήγηση για μια πιθανή εξήγηση του φαινομένου. Οι συλλογισμοί με αυτό το μοντέλο, όπως και αυτοί με τα νοητικά μοντέλα, μπορούν να χαρακτηριστούν ως ένα ειδικό είδος συλλογισμού, τις εξαγωγές, οι οποίες βασίζονται στον ενδογενή χαρακτήρα της αναπαράστασης που καθιστούν τη διαχείριση και την επεξεργασία του μοντέλου πιο εύκολη και οικονομική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑΣ ΣΤΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Η θέση για την ένταξη της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου και του ρόλου των μοντέλων στην επιστήμη, που υποστηρίζεται εδώ, σχετίζεται όχι μόνο με τις φιλοσοφικές αναλύσεις για τη δομή της επιστημονικής γνώσης και τη μεθοδολογία της επιστήμης αλλά και με τις σύγχρονες αντιλήψεις της διδακτικής των φυσικών επιστημών για το περιεχόμενο της διδασκαλίας της επιστήμης. Σύμφωνα με τις τελευταίες ο επιστημονικός εγγραμματισμός θα πρέπει να συνίσταται στη μάθηση των φυσικών επιστημών και στη μάθηση για τις φυσικές επιστήμες. Αν η επιστήμη διδάσκεται μόνο ως περιεχόμενο, στερούμενη των επιστημολογικών και φιλοσοφικών της διαστάσεων, είναι πολύ λιγότερο πιθανό τα θετικά αποτελέσματα της μάθησης αυτής να εμπλουτίσουν την ευρύτερη πολιτισμική κουλτούρα των μαθητών και να καρποφορήσουν στην κοινωνία (Matthews, 1994, σ. 1). Επιπλέον, αυτά τα στοιχεία μπορεί να έχουν θετική επίδραση στην κατανόηση του ίδιου του περιεχομένου και του τρόπου εφαρμογής του στον πραγματικό κόσμο.

Η μάθηση για την επιστήμη έχει δύο πτυχές. Η μία είναι επιστημολογική και αφορά στη φύση της επιστημονικής γνώσης και στους τρόπους επικύρωσής της. Η άλλη, με την οποία ασχολείται η φιλοσοφία, αφορά στις μεθόδους με τις οποίες χτίζεται η επιστημονική γνώση, τις διαδικασίες αλλαγής αυτής της γνώσης κλπ. Τα μοντέλα έχουν κύριο ρόλο και στις δύο. Άρα, τα μοντέλα είναι ένα βασικό συστατικό της γνώσης για την επιστήμη. Στη συνέχεια θα δούμε τις προσεγγίσεις που, μέχρι τώρα, προτείνονται στη σχετική βιβλιογραφία για την ενσωμάτωση και την αξιοποίηση στοιχείων από την επιστημολογία και τη φιλοσοφία στη διδακτική των φυσικών επιστημών και θα δούμε ότι τα μοντέλα παρά τη σημασία τους, είναι κατά κύριο λόγο, απόντα από τις προσεγγίσεις αυτές.

4.1 Η ένταξη επιστημολογικών ζητημάτων στη διδακτική των φυσικών επιστημών

Η βιβλιογραφία της διδακτικής των φυσικών επιστημών αλλά και οι εκπεφρασμένοι στόχοι πολλών αναλυτικών προγραμμάτων συμφωνούν στο ότι οι μαθητές πρέπει να μαθαίνουν όχι μόνο το περιεχόμενο της επιστήμης αλλά επίσης και για τη φύση της επιστήμης και τις διαδικασίες της. Το επιχείρημα για την ανάγκη της εισαγωγής τέτοιων ζητημάτων στη διδακτική προκύπτει σε ένα πραγματιστικό επίπεδο. Όπως έδειξαν οι σχετικές έρευνες, μαθητές και εκπαιδευτικοί φαίνεται να έχουν απλοϊκές αντιλήψεις για την επιστήμη και την

επιστημονική γνώση οι οποίες ενισχύονται και από την εικόνα που διαμορφώνεται για την επιστήμη από πολλά σχολικά εγχειρίδια. Οι πρώτες προσπάθειες για την καταγραφή των αντιλήψεων των μαθητών για το τι είναι επιστήμη και για τη φύση της γνώσης που μας προσφέρει άρχισαν ήδη από τα μέσα του περασμένου αιώνα και συνεχίζονται μέχρι σήμερα.³⁵ Παρά τις μεθοδολογικές αδυναμίες που είχαν οι έρευνες των δύο πρώτων δεκαετιών, κατέληγαν σε παρόμοια συμπεράσματα. Έδειξαν ότι οι μαθητές πίστευαν ότι στόχος της επιστήμης είναι η ανακάλυψη των νόμων της φύσης και ότι η γνώση που μας προσφέρει είναι απόλυτη (Wilson, 1954· Mead & Metraux, 1957· Cooley & Klopfer, 1961· Miller, 1963). Κατέστη επίσης φανερό ότι και η γνώση των μαθητών αναφορικά με βασικά ζητήματα που αφορούν στην επιστήμη, όπως η δημιουργικότητα, η λειτουργία των μοντέλων, η σχέση μεταξύ πειράματος, μοντέλων, θεωριών και αλήθειας, οι σχέσεις ανάμεσα στους διάφορους κλάδους της επιστήμης και τις διαφορές μεταξύ τους ήταν ανεπαρκής (Mackay, 1971).

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες αυτό το πεδίο έρευνας για θέματα που άπτονται επιστημολογικών και κοινωνιολογικών θεμάτων αναφορικά με την επιστήμη συστηματοποιήθηκε από τον Norman Lederman και τους συνεργάτες του (Fouad Abd-El-Khalick, Renée Schwartz κ.ά.) και χαρακτηρίζεται στη βιβλιογραφία με τον όρο «φύση της επιστήμης». Η ομάδα αυτή διαμόρφωσε την πιο σημαίνουσα κατεύθυνση της έρευνας στο θέμα στην οποία ο όρος «φύση της επιστήμης» αφορά «στις αξίες και στις επιστημολογικές υποθέσεις οι οποίες είναι εγγενείς στην επιστημονική γνώση και στην εξέλιξή της» και στις οποίες βασίζεται η επιστημονική δραστηριότητα (Lederman, 1992). Από την πλευρά της επιστημολογίας τα θέματα που περιλαμβάνονται στο ερευνητικό αυτό πρόγραμμα είναι η εμπειρική φύση της επιστήμης, η διάκριση παρατήρησης και συμπεράσματος, η διάκριση νόμου και θεωρίας, ο ρόλος της δημιουργικότητας και της φαντασίας στην επιστήμη σε αντιδιαστολή με το μύθο της επιστημονικής μεθόδου, ο εμποτισμός της παρατήρησης από τη θεωρία και ο αβέβαιος χαρακτήρας της επιστημονικής γνώσης ενώ από την πλευρά της κοινωνιολογίας, ο πολιτισμικός και κοινωνικός χαρακτήρας της επιστήμης (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002). Η ερευνητική δουλειά της ομάδας έχει προσφέρει ερευνητικά εργαλεία για την καταγραφή των σχετικών ιδεών των μαθητών αλλά και διδακτικό υλικό για την διαμόρφωση πιο έγκυρων ιδεών για τα πιο πάνω ζητήματα. Σύμφωνα με τους υποστηρικτές του ερευνητικού αυτού προγράμματος, αν και οι αντιλήψεις

³⁵ Μια ανασκόπηση των πρώτων αυτών των ερευνών υπάρχει στο άρθρο του Norman Lederman (1992).

για τη φύση της επιστήμης είναι δυναμικές και αλλάζουν ιστορικά, όπως και η ίδια η επιστήμη, οι θέσεις που περιλαμβάνει αναφορικά με τα ζητήματα που θίγει για την επιστήμη αποτελούν μια κοινή βάση η οποία, σε κάποιο βαθμό και στη βάση των σημερινών αντιλήψεων για την επιστήμη, είναι αποδεκτή τόσο από τους φιλόσοφους όσο και από τους ιστορικούς και τους κοινωνιολόγους της επιστήμης (Abd-El-Khalick, 2012, σ. 1045). Η υπόθεση ότι υπάρχει κοινό έδαφος στις αντιλήψεις των διάφορων εμπλεκόμενων ομάδων (φιλοσόφων, επιστημόνων, ιστορικών της επιστήμης και ειδικών της διδακτικής) βρίσκεται πίσω από δύο ακόμη ανάλογες προσπάθειες. Μια είναι αυτή των Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar, & Duschl (2003) οι οποίοι μέσα από μια οργανωμένη και ερευνητικά έγκυρη διαδικασία στην οποία συμμετείχαν ειδικοί της διδακτικής των επιστημών, ιστορικοί της επιστήμης, επιστήμονες, φιλόσοφοι και εκπαιδευτικοί συνέταξαν έναν κατάλογο με εμπειριστατωμένες απόψεις για τη φύση της επιστήμης. Στα περισσότερα από τα θέματα περιλαμβάνει πιο προσεγγισμένους ορισμούς από αυτούς της ομάδας του Lederman, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των διαβαθμίσεων της αβεβαιότητας της επιστημονικής γνώσης (Van Dijk, 2011). Ανάλογη είναι και η προσπάθεια των Wong και Hodson (2010) στην οποία συμμετείχαν επιστήμονες από θεωρητικά ή πειραματικά πεδία έρευνας. Τα σημεία στα οποία κατέληξαν οι δύο αυτές ομάδες είναι παρόμοια αλλά διαφέρουν από αυτά της ομάδας του Lederman διότι είχαν περισσότερες αναφορές στις διαδικασίες και τις μεθοδολογικές πτυχές της επιστήμης παρά στα θέματα που αφορούν στην επιστημονική γνώση. Αυτές οι προσπάθειες, λόγω του ότι το σκεπτικό πίσω από αυτές είναι ο καθορισμός ενός κοινού τόπου στις απόψεις των διάφορων κλάδων ενδιαφέροντος, χαρακτηρίζονται στη βιβλιογραφία ως η προσέγγιση των «συναινετικών απόψεων» (consensus view).

Οι θέσεις της ομάδας του Lederman συνιστούν την κυρίαρχη άποψη για τρεις τουλάχιστον λόγους. Πρώτον, διότι αποτελούν την πρώτη συστηματοποίηση του πεδίου, δεύτερον, διότι τα ζητήματα που θίγονται όντως απασχολούν τη φιλοσοφία και τρίτον, επειδή αντιμετωπίζουν τις καταγεγραμμένες λανθασμένες αντιλήψεις των μαθητών και συνεπώς αποτελούν ένα καλό σημείο εκκίνησης για την διδασκαλία αναφορικά με τη φύση της επιστήμης στο σχολικό πλαίσιο (Kampourakis, 2016). Παρόλα αυτά δεν είναι και χωρίς προβλήματα. Ένα από αυτά είναι η ίδια η βασική παραδοχή της ύπαρξης συναινετικών απόψεων για τα συγκεκριμένα ζητήματα. Ειδικοί από διάφορους κλάδους της φιλοσοφίας δεν συμφωνούν με όλες τις θέσεις που εκφράζονται στη βιβλιογραφία της διδακτικής των ΦΕ για τη φύση της επιστήμης ή τουλάχιστον με το βαθμό στον οποίο ισχύουν κάποιες από αυτές (Alters, 1997). Αυτό το πρόβλημα καταγράφουν και οι Osborn et al (2003) αφού, όπως

παρατηρούν οι ίδιοι, «καμία μέθοδος και καμία ομάδα ειδικών δεν μπορεί να προσφέρει μια καθολική λύση ως προς το ποια πρέπει να είναι τα ουσιώδη στοιχεία ενός σύγχρονου αναλυτικού προγράμματος». Δυστυχώς, η λύση που δόθηκε στην καταγραφή των συμπερασμάτων στο συγκεκριμένο πρόβλημα στη δική τους έρευνα ήταν τα σημεία διαφωνίας να εξαιρεθούν από τον τελικό κατάλογο.

Το πρόβλημα της συναίνεσης, αν και υπαρκτό, δεν φαίνεται να είναι ανυπέρβλητο, τουλάχιστον στο βαθμό που ισχυρίζεται ο Alters. Ειδικά στην περίπτωση των φιλοσόφων υπάρχουν αρκετά σημεία στα οποία υπάρχει συναίνεση αλλά και άλλα στα οποία διαφωνούν (Eflin, Glennan & Reisch, 1999). Μερικές από αυτές τις διαφωνίες φαίνεται να οφείλονται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν διάφορα πεδία της επιστήμης. Κάποια άλλα προβλήματα φαίνεται προκύπτουν όχι από το περιεχόμενο των θέσεων αυτό καθαυτό αλλά από τις σχέσεις μεταξύ τους και τις συνέπειες κάποιων από τους ισχυρισμούς που περιλαμβάνουν όσο και από όσα δεν περιλαμβάνονται σε αυτό. Πιο συγκεκριμένα, κάποιες από αυτές τις θέσεις φαίνεται να είναι ασύμβατες μεταξύ τους, όπως το ότι η επιστημονική γνώση είναι εμπειρική αλλά και επηρεάζεται από πολιτισμικές ιδέες και αξίες ή ότι οι επιστήμονες είναι δημιουργικοί, όταν η παρατήρηση χαρακτηρίζεται ως εμποτισμένη από τη θεωρία (Allchin, 2011). Επίσης, από τα στοιχεία που περιλαμβάνει απουσιάζει το σημαντικό στοιχείο της αξιοπιστίας της επιστημονικής γνώσης και το πώς η αξιοπιστία αυτή εξασφαλίζεται τόσο μέσα από τις μεθοδολογικές διαδικασίες στο πλαίσιο της έρευνας όσο και από τους κανόνες αξιολόγησης και κριτικού στοχασμού της επιστημονικής κοινότητας για τα αποτελέσματά της (ό.π.). Οι διαδικασίες αυτές στο ερευνητικό και στο κοινωνικό-θεσμικό πεδίο εξασφαλίζουν τον αντικειμενικό αλλά όχι απόλυτο χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης, ο οποίος απουσιάζει εντελώς από τις θέσεις του Lederman (Irzik & Nola, 2011, Van Dijk, 2011). Επίσης, κάποιες από τις θέσεις της ομάδας του Lederman εγείρουν ζητήματα, καίρια για το χαρακτήρα της επιστήμης, που παραμένουν ασχολίαστα. Για παράδειγμα, το πώς είναι δυνατόν να στηριχθεί ότι η επιστημονική γνώση είναι αξιόπιστη, αντικειμενική και έγκυρη για κάθε πολιτισμικό και κοινωνικό περιβάλλον αν θεωρείται παράγωγο εμποτισμένης από τη θεωρία παρατήρησης και χαρακτηρίζεται ως υποκειμενική και κοινωνικά κατασκευασμένη (Irzik & Nola, 2011). Επίσης, επειδή τα περισσότερα από τα ζητήματα που τίγονται αφορούν στην επιστημονική γνώση ίσως να τα χαρακτηρίζει καλύτερα ο όρος «φύση της επιστημονικής γνώσης». Υπάρχουν όμως και σημαντικά στοιχεία, πέρα από τη φύση της γνώσης, που θα πρέπει να τα γνωρίζουν οι μαθητές. Ένα τέτοιο είναι οι στόχοι της επιστήμης. Ένα άλλο είναι τα επιστημονικά μοντέλα. Όπως παρατηρούν οι Grandy και Duschl (2008, σ. 144) «[οι θέσεις του Lederman]

υπεραπλουστεύουν τη φύση της παρατήρησης και της θεωρίας και αγνοούν εντελώς το ρόλο των μοντέλων στην εννοιολογική δομή της επιστήμης». Τα επιστημονικά μοντέλα δεν έχουν όμως ρόλο μόνο στην εννοιολογική δομή της επιστήμης αλλά και στη μεθοδολογία της. Μια πιο πλήρης θεώρηση της επιστήμης θα πρέπει να περιλαμβάνει οπωσδήποτε τους στόχους της επιστήμης αλλά και αναφορές για τις μεθοδολογικές πτυχές της, για τις οποίες φαίνεται να υπάρχει ευρύτερο πεδίο συμφωνίας ανάμεσα στους ειδικούς. Για παράδειγμα, στην έρευνα των Osborn et al (2003) πέντε από τα οκτώ σημεία συμφωνίας αφορούσαν στις μεθόδους της επιστήμης και μόνο δύο στη φύση της γνώσης και ένα στους θεσμούς και στις κοινωνικές πρακτικές της επιστημονικής κοινότητας.

Αντίθετα, μόνο μια από τις θέσεις που προτείνει η ομάδα του Lederman αφορά στις μεθόδους και αναφέρεται στο «μύθο της επιστημονικής μεθόδου» όπου οι ερευνητές εξηγούν ότι:

Είναι αλήθεια ότι οι επιστήμονες παρατηρούν, συγκρίνουν, μετρούν, ελέγχουν, εικάζουν, διατυπώνουν υποθέσεις, εκφράζουν ιδέες, κατασκευάζουν εννοιολογικά εργαλεία, θεωρίες και εξηγήσεις. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει μία συγκεκριμένη σειρά διαδικασιών η οποία τους οδηγεί, χωρίς την πιθανότητα σφάλματος, σε λειτουργική ή έγκυρη λύση ή απάντηση, πόσο μάλλον σε βέβαιη ή αληθή γνώση.» (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002, σ. 501).

Το ότι δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη σειρά διαδικασιών στην επιστήμη σημαίνει άραγε ότι όλα γίνονται τυχαία και οδηγούν σε συμπεράσματα για τα οποία δεν υπάρχουν διαδικασίες εγκυροποίησης; Αν υπάρχουν τέτοιες διαδικασίες, τότε ποιες είναι αυτές; Μόνο αν συμπεριληφθούν και απαντηθούν και αυτά τα ερωτήματα τότε θα παρουσιάζεται μια σωστή και δίκαιη εικόνα για την επιστημονική γνώση. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί εδώ είναι η διαφορά ανάμεσα στο έγκυρο και το σωστό ή το αληθές. Την εγκυρότητα τη διασφαλίζει η διαδικασία, η οποία βέβαια δεν μπορεί να διασφαλίσει ταυτόχρονα και την ορθότητα ή την αλήθεια του συμπεράσματος. Αυτές τις λεπτές διαφορές μπορούν να τις κατανοήσουν οι μαθητές; Το πιο πιθανό είναι ότι οι μαθητές θα παρερμηνεύσουν αυτές τις ιδέες οι οποίες σε συνδυασμό με την άλλη θέση ότι η επιστημονική γνώση «είναι αβέβαιη, εμποτισμένη από τη θεωρία και υπό την επίδραση κοινωνικών και πολιτισμικών παραγόντων» δημιουργούν μια εικόνα που αδικεί την επιστημονική γνώση που είναι η πιο έγκυρη γνώση που έχει στη διάθεσή της σήμερα η κοινωνία.

Λόγω της απουσίας αυτών των στοιχείων από τη μεθοδολογία και τις διαδικασίες εγκυροποίησης της γνώσης η εικόνα της επιστημονικής γνώσης που προκύπτει είναι ελλιπής

και συνολικά η εικόνα της επιστήμης είναι μάλλον περιορισμένη. Επίσης, είναι και μονολιθική επειδή αγνοούνται και οι διαφορές ανάμεσα στα διάφορα επιστημονικά πεδία, οι οποίες εντοπίζονται κυρίως στις μεθόδους τους (Irzik & Nola, 2011). Τέλος, μερικές από αυτές τις θέσεις αφορούν σε επίμαχα ζητήματα, όπως ο βαθμός στον οποίο η κοινωνική και πολιτισμική ενσωμάτωση της επιστήμης επηρεάζει την επιστημονική γνώση, στα οποία η θεώρηση φαίνεται να υποθέτει συγκεκριμένες απαντήσεις ενώ στο σύνολό τους οι θέσεις που διατυπώνονται δημιουργούν την εντύπωση ότι το πρόβλημα της οριοθέτησης της επιστήμης έχει διευθετηθεί (Matthews, 2012).

Οι εναλλακτικές προτάσεις για τη φύση της επιστήμης που περιγράφονται στη βιβλιογραφία απαντούν σε μερικές από αυτές τις αδυναμίες του προγράμματος της ομάδας του Lederman και κυρίως στην ανεπάρκεια περιγραφής της φύσης της επιστήμης από έναν κατάλογο από, κυρίως, ασύνδετες δηλωτικές προτάσεις. Μια περισσότερο λειτουργική και λιγότερο δηλωτικού τύπου μάθηση αναφορικά με τη φύση της επιστήμης εισηγείται ο Allchin (2011). Σύμφωνα με τον Allchin, η θεμελιώδης αρχή που θα πρέπει να διέπει την έννοια του επιστημονικού εγγραμματισμού είναι «να αποκτήσουν οι μαθητές μια κατανόηση του πώς λειτουργεί η επιστήμη με σκοπό να ερμηνεύουν την αξιοπιστία των επιστημονικών ισχυρισμών στις περιπτώσεις λήψης απόφασης σε προσωπικό ή δημόσιο πλαίσιο» (η έμφαση στο πρωτότυπο).

Κεντρικός άξονας της θέσης του Allchin είναι ότι οι μαθητές πρέπει να αποκτήσουν τις απαραίτητες γνώσεις και δεξιότητες ώστε να εφαρμόζουν αρχές για την εκτίμηση της αξιοπιστίας και της αντικειμενικότητας των διάφορων ισχυρισμών που έχουν σχέση με επιστημονικά θέματα και με τους οποίους έρχονται συνεχώς αντιμέτωποι στην καθημερινή τους ζωή. Οι αρχές αυτές θα πρέπει να είναι ίδιες με αυτές με τις οποίες κρίνονται οι ισχυρισμοί στην ίδια την επιστήμη. Για να είναι αυτό δυνατόν θα πρέπει οι μαθητές να γνωρίζουν πώς λειτουργεί η επιστήμη και, μάλιστα, όλη η επιστήμη. Σε συμφωνία με τους Eflin et al (1999) και Van Dijk (2011), ο Allchin υπογραμμίζει την αξία των επεισοδίων από την ιστορία της επιστήμης αλλά επιπλέον, προτείνει και τρόπους με τους οποίους η δεξιότητα αυτή θα είναι δυνατόν να αξιολογηθεί αλλά και να αποτελέσει μέρος της αξιολόγησης του μαθητή στην επιστήμη γενικότερα.

Επειδή η επιστήμη δεν ορίζεται από ένα σύνολο ιδιοτήτων ή η φύση της δεν συνίσταται από ένα σύνολο ικανών και αναγκαίων συνθηκών η γνώση των οποίων είναι δυνατόν να αποτελεί και κριτήριο αξιολόγησης των απόψεων για τη φύση της επιστήμης, ο Matthews (2012) προτείνει μια αλλαγή στην προσέγγιση με μια ταυτόχρονη αλλαγή στην ορολογία.

Επειδή η επιστήμη έχει πολλά ακόμα χαρακτηριστικά, εκτός από αυτά που περιλαμβάνονται στην ανάλυση του Lederman, αλλά ακόμη και αυτά έχουν διάφορες αποχρώσεις, ο Matthews εισηγείται την αντικατάσταση της έννοιας της «φύσης της επιστήμης» από την πιο χαλαρή αλλά περισσότερο περιεκτική και ενσωματωμένη στο περιεχόμενο προσέγγιση την οποία ονομάζει «χαρακτηριστικά της επιστήμης». Ο Matthews προτείνει μια μετατόπιση από μια δηλωτικού τύπου γνώση για τη φύση της επιστήμης σε μια κριτική προσέγγιση ζητημάτων που άπτονται της επιστήμης και της επιστημονικής πρακτικής που μπορούν ταυτόχρονα να βοηθήσουν τους μαθητές να διαμορφώσουν μια πιο σύνθετη αλλά όχι απαραίτητα πολύπλοκη και σίγουρα όχι πλήρη, κατανόηση της επιστήμης. Στην εισήγησή του ο Matthews εντάσσει τα επτά στοιχεία της ομάδας του Lederman σε έναν διευρυμένο κατάλογο χαρακτηριστικών της επιστήμης που μπορούν να αποτελέσουν θέματα συζήτησης στις σχολικές τάξεις, όπως τα μοντέλα, η επιστημονική εξήγηση, η αφαίρεση και η εξιδανίκευση, η μαθηματικοποίηση, το πείραμα, η αλλαγή θεωρίας και ο ορθολογισμός, η τεχνολογία, ο ρεαλισμός και η κατασκευασιοκρατία και κάποια ακόμη κοινωνιολογικά ζητήματα, όπως ο φεμινισμός αλλά και η σχέση επιστημονικής κοσμοθεώρησης και θρησκείας. Τα πλεονεκτήματα της πρότασης του Matthews είναι πρώτον, τα ζητήματα αυτά τίθενται ως θέματα συζήτησης στην τάξη και όχι ως αποφάνσεις και δεύτερον, περιλαμβάνονται στα θέματα και τα επιστημονικά μοντέλα, η κατασκευή και η χρήση των οποίων αποτελεί μια βασική πρακτική στη διεξαγωγή της επιστημονικής έρευνας. Ένα μειονέκτημα, τουλάχιστον όπως παρουσιάζεται η θέση του Matthews σε αυτή την πρώτη αναφορά, είναι ότι δεν έχουν οργάνωση και, κυρίως, κάποια από αυτά ίσως να μην είναι κατάλληλα για συζήτηση στην τάξη. Για παράδειγμα ο ρεαλισμός, η κατασκευασιοκρατία και ο φεμινισμός δεν είναι χαρακτηριστικά της επιστήμης αλλά φιλοσοφικές θέσεις και η συζήτηση φιλοσοφικών θέσεων, ειδικά σε ζητήματα όπου υπάρχει διαφωνία, πρέπει να γίνεται με προσοχή αφού «μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε έναν ιδιαίτερα απλοϊκό πλουραλισμό στον οποίο όλες οι θέσεις είναι εξ' ίσου βιώσιμες» (Eflin et al, 1999).

Ένα πιο πλήρες και οργανωμένο πλαίσιο για την περιγραφή της επιστήμης, βασισμένο στην ιδέα της *οικογενειακής ομοιότητας* (family resemblance approach) που πρότεινε ο Wittgenstein ως απάντηση στο πρόβλημα των καθολικών εννοιών, εισηγούνται οι Irzik and Nola (2011, 2014). Η ιδέα αυτή χρησιμοποιείται για να εξηγήσει την ενότητα της επιστήμης αναγνωρίζοντας, ταυτόχρονα, τις διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στα διάφορα επιστημονικά πεδία ενώ προσφέρει και ένα πλαίσιο οργάνωσης των διάφορων στοιχείων που περιλαμβάνει. Το πλαίσιο αυτό το υιοθετούν και άλλοι φιλόσοφοι (Eflin, Glennan &

Reisch, 1999) αλλά και ειδικοί της διδακτικής (Van Dijk, 2011, Dagher & Erduran, 2016) οι οποίοι προτείνουν και επεκτάσεις του. Σύμφωνα με αυτό, η επιστήμη «είναι από τη μια ένα γνωστικό-επιστημικό σύστημα σκέψης και πρακτικής και ένα κοινωνικό-θεσμικό σύστημα από την άλλη» (Irzik & Nola, 2014, σ. 1004). Οι διάφορες επιστήμες αποτελούν τα μέλη του συνόλου που ονομάζουμε επιστήμη και που έχουν μεταξύ τους ομοιότητες και διαφορές που μπορούν να ταξινομηθούν σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Οι γνωστικο-επιστημικές κατηγορίες είναι: οι διαδικασίες διερεύνησης, οι στόχοι και οι αξίες, οι μέθοδοι και οι μεθοδολογικοί κανόνες και τέλος, το προϊόν τους, δηλαδή η επιστημονική γνώση. Οι κοινωνικο-θεσμικές κατηγορίες είναι: οι επαγγελματικές δραστηριότητες, το επιστημονικό ήθος, οι διαδικασίες πιστοποίησης από την επιστημονική κοινότητα, η διάχυση της επιστημονικής γνώσης και, τέλος, οι κοινωνικές αξίες της επιστημονικής κοινότητας (ό. π. σ. 1009). Το πλεονεκτήματα της προσέγγισης αυτής είναι ότι συνδέει μεταξύ τους τα διάφορα χαρακτηριστικά της επιστήμης σε ένα συνεκτικό σχήμα. Για παράδειγμα η εμπειρική φύση συνδέεται με τις δραστηριότητες (π.χ. την παρατήρηση και πείραμα) και είναι αποτέλεσμα του στόχου για την ελεγχιμότητα των ισχυρισμών. Σε αυτό το πλαίσιο η επιστήμη παρουσιάζεται ως μια ειδική μορφή κριτικής διερεύνησης η οποία θέτει τις προτεινόμενες υποθέσεις και θεωρίες σε εξονυχιστικό εμπειρικό έλεγχο πρώτα μέσω της μεθοδολογίας και των μεθοδολογικών κανόνων και κατόπιν μέσω των διαδικασιών πιστοποίησης από την κοινότητα. Αυτά καθιστούν την επιστήμη μια δραστηριότητα με μηχανισμούς ελέγχου και αυτοδιόρθωσης τόσο στην παραγωγή όσο και στην αξιολόγηση των ισχυρισμών της. Αυτό το χαρακτηριστικό της προσέγγισης της επιστήμης βοηθάει στη διαμόρφωση μιας πιο ολοκληρωμένης και συνεκτικής αντίληψης για την επιστήμη που δεν αδικεί την εγκυρότητα της καλά θεμελιωμένης επιστημονικής γνώσης και επίσης επιτρέπει και την ύπαρξη διαφορών ανάμεσα σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία (ό. π., σ. 602).

Σε σχέση με τη θέση που υποστηρίζεται εδώ, για την ένταξη της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου στη διδασκαλία, η πρόταση των Irzik and Nola έχει ακόμα δύο πλεονεκτήματα. Πρώτον, περιλαμβάνει τις μεθόδους και τους μεθοδολογικούς κανόνες της επιστήμης, σε αντίθεση με την παντελή απόρριψη της έννοιας της μεθόδου στις θέσεις ομάδας του Lederman, η οποία πιθανόν να έχει τις αρνητικές συνέπειες που περιγράψαμε πιο πάνω. Στην περιγραφή της επιστήμης ως μιας οικογένειας πεδίων έρευνας υπάρχει χώρος για τις μεθόδους και τις πρακτικές της επιστήμης που σχετίζονται με τη διεξαγωγή της έρευνας και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ως μεθοδολογίες αναγνωρίζει όχι μόνο την ύπαρξη τυπικών συλλογισμών στη μεθοδολογία της επιστήμης, όπως παραγωγικούς ή απαγωγικούς συλλογισμούς αλλά περιλαμβάνει και τους μεθοδολογικούς κανόνες που μπορούν να

εξασφαλίζουν την εγκυρότητα των επιστημονικών συμπερασμάτων. Δεύτερον, και ως συνέπεια του πρώτου, προβλέπει την ένταξη της κατασκευής επιστημονικών μοντέλων ως ενός μεθοδολογικού κανόνα και, υπό το πρίσμα της επιδίωξης αυτής της εργασίας, αυτό είναι ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση. Οι κανόνες που αναφέρουν οι Izrik & Nola (2014, σ. 1005) είναι:

1. η κατασκευή υποθέσεων/θεωριών/μοντέλων που είναι ελέγξιμα
2. η αποφυγή ad-hoc αναθεωρήσεων στις θεωρίες
3. η επιλογή της πιο επεξηγηματικής θεωρίας, με όλα τα υπόλοιπα σταθερά
4. η επιλογή της απλούστερης θεωρίας, με όλα τα υπόλοιπα σταθερά
5. η επιλογή της θεωρίας που κάνει τις περισσότερες νέες προβλέψεις, σε σχέση με αυτή που προβλέπει όσα είναι ήδη γνωστά
6. η απόρριψη ασυνεπών θεωριών
7. η αποδοχή μιας θεωρίας μόνο αν εξηγεί όλα όσα εξηγούσε η θεωρία που αντικαθιστά
8. η χρήση πειραμάτων για τον έλεγχο αιτιακών υποθέσεων
9. η χρήση «τυφλών» πειραματικών διαδικασιών όταν αυτές αφορούν σε ανθρώπινα υποκείμενα.

Αν και η έννοια του μοντέλου αναφέρεται μόνο στον πρώτο κανόνα, μπορεί να ενταχθεί εναλλακτικά ή και σε συνδυασμό με την έννοια της θεωρίας και στους κανόνες 2, 3, 4 και 7 που αφορούν στις θεωρίες αφού οι επιστήμονες πολύ πιο συχνά βρίσκονται αντιμέτωποι με την ανάγκη αποδοχής, επιλογής, αναθεώρησης ή απόρριψης ενός μοντέλου παρά μιας ολόκληρης θεωρίας.

Όλες αυτές οι εισηγήσεις, πέρα από το ότι προσφέρονται ως εναλλακτικές της προσέγγισης της φύσης της επιστήμης ως ενός αριθμού δηλωτικών προτάσεων, έχουν κοινή πρόταση αναφορικά με την εκπαιδευτική εφαρμογή τους. Συγκεκριμένα, έμμεσα ή άμεσα εισηγούνται τα ζητήματα να παρουσιάζονται στο πλαίσιο της διδασκαλίας και να διερευνώνται ως ερωτήματα που αφορούν στην επιστήμη και στις διαδικασίες της. Πρώτος ο Clough (2007) σημείωνε ότι το πρόβλημα με τις θέσεις του Lederman δεν είναι τόσο το περιεχόμενο όσο ο δηλωτικός τρόπος με τον οποίο διατυπώνονται οι συγκεκριμένες θέσεις. Ως αρχές ή δηλώσεις μπορεί να γίνουν κάτι ακόμα που χρειάζεται να μάθει ο μαθητής και όχι να καταλάβει ή ακόμα χειρότερα να παρερμηνευθούν. Όπως το εκφράζουν οι Eflin et al (1999), «Όπως ακριβώς οι ειδικοί της διδακτικής τονίζουν ότι η επιστήμη είναι περισσότερο από μια συλλογή δεδομένων, εμείς [οι φιλόσοφοι] υπογραμμίζουμε ότι μια φιλοσοφική θέση για τη φύση της επιστήμης είναι περισσότερο από έναν κατάλογο αρχών». Η πρόταση «η επιστημονική γνώση είναι αβέβαιη» παρότι ανακλά τις αλλαγές που συνέβησαν στην

επιστημονική γνώση στη διάρκεια της ιστορίας της, είναι όμως διατυπωμένη με έναν απόλυτο τρόπο, σε ύφος ίδιο με τις απόλυτες αντιλήψεις που προσπαθεί να ανατρέψει. Η πρόταση αυτή δεν αφορά σε όλα τα είδη γνώσης (για παράδειγμα το σφαιρικό σχήμα της Γης είναι βέβαιη γνώση) και αγνοεί τον ανθεκτικό χαρακτήρα της επιστημονικής γνώσης που θεμελιώνεται από ισχυρά δεδομένα. Αναλόγως, η πρόταση «η επιστημονική γνώση είναι εμποτισμένη από τη θεωρία και υποκειμενική» σημαίνει ότι η αντικειμενικότητα στην επιστήμη είναι αδύνατη; Δηλαδή, τελικά η Γη μπορεί και να μην είναι σφαιρική; Ο Clough προτείνει την ερωτηματική διατύπωση των προτάσεων. Για παράδειγμα, η πρώτη πρόταση μπορεί να διατυπωθεί «Με ποια έννοια είναι η επιστημονική γνώση αβέβαιη; Με ποια έννοια είναι ανθεκτική;» και θα μπορούσαμε να συμπληρώσουμε «Πού στέκεται η επιστημονική γνώση σε σχέση με οποιαδήποτε άλλο είδος γνώσης;» Αυτές οι ερωτήσεις, μέσα από μια κριτική συζήτηση και με κατάλληλα ιστορικά παραδείγματα θέτουν το χαρακτηριστικό αυτό της επιστημονικής γνώσης στο κατάλληλο πλαίσιο και επιτυγχάνεται η κατανόηση της φύσης της επιστήμης στο πεδίο εφαρμογής της, όπως τονίζει ο Allchin.

4.2 Η επίδραση της φιλοσοφίας της επιστήμης στη διδακτική των φυσικών επιστημών

Για τη σύγχρονη διδακτική των φυσικών επιστημών, που διακηρύσσει ως στόχο της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες την παρουσίαση μιας αυθεντικής εικόνας της επιστήμης, η φιλοσοφία αποτελεί μια από τις πηγές γνώσης η οποία μπορεί να προσφέρει θεωρητικά πλαίσια για τις έρευνες στον τομέα αλλά και μέσο υποστήριξης διαφόρων εισηγήσεων για διδακτικές προσεγγίσεις. Με αυτό το σκεπτικό, οι Adúriz-Bravo και Izquierdo-Aymerich (2005) περιγράφουν ένα μοντέλο της διδακτικής των φυσικών επιστημών στο οποίο «ο κλάδος προσαρμόζει και μετασχηματίζει θεωρητικές προσεγγίσεις από διαφορετικά ακαδημαϊκά πεδία», συγκεκριμένα, την φιλοσοφία, την ψυχολογία και την παιδαγωγική.

Διάφορες φιλοσοφικές θέσεις έχουν αξιοποιηθεί στη θεωρητική έρευνα της διδακτικής, ειδικά στην περίπτωση των μοντέλων που βρίσκεται στον πυρήνα του ενδιαφέροντος αυτής της εργασίας. Μια τέτοια είναι η θεωρητική ανάλυση των Gilbert, Pietrocola, Zylbersztajn, & Franco (2000) με την οποία προσπαθούν να διαμορφώσουν ένα φιλοσοφικά ενημερωμένο πλαίσιο για τη διδασκαλία της έννοιας του μοντέλου και της θεωρίας στα πλαίσια του ρεαλισμού από τις ιδέες του Kuhn (1962) της Nerssesian (1992) και του Bunge (1974). Με ανάλογο τρόπο η θεωρία μοντελοποίησης για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες που περιγράφει ο Halloun (2004) είναι διαρθρωμένη γύρω από την έννοια του «παραδείγματος»

του Kuhn (1962) και τις φιλοσοφικές ιδέες για τα μοντέλα των Giere (1990) και Bunge (1973, 1974).

Η σύγκριση των ερευνητικών ευρημάτων της διδακτικής με τις θεωρητικές προσεγγίσεις της φιλοσοφίας είναι μια άλλη προσέγγιση στο πεδίο. Η Snyder (2000) σύγκρινε την ιεραρχία των μοντέλων, με την οποία περιγράφει ο Giere (1994) τη δομή των θεωριών με την κατηγοριοποίηση προβλημάτων της μηχανικής από ειδικούς, αρχάριους και από άτομα με ενδιάμεσο επίπεδο εξειδίκευσης. Ο Giere κατατάσσει τα μοντέλα της κλασικής μηχανικής σε μια ιεραρχική δομή, την οποία ονομάζει γνωστική δομή των θεωριών, με τα πιο αφηρημένα μοντέλα στην κορυφή και τα πιο συγκεκριμένα στο βασικό επίπεδο. Στην έρευνα της Snyder, η ταξινόμηση των προβλημάτων από τους αρχάριους μπορούσε να προβλεφθεί από την ανάλυση του Giere αφού η ομαδοποίηση αυτής της ομάδας συμμετεχόντων ήταν βασισμένη σε μια ιεραρχία μοντέλων με κριτήριο την οπτική ομοιότητα. Οι αρχάριοι δεν μπορούσαν να φτάσουν σε υψηλό επίπεδο αφαίρεσης και χρησιμοποιούσαν τα αντικείμενα στα προβλήματα ως κριτήριο για την ομαδοποίηση. Οι δύο άλλες ομάδες επίσης είχαν στοιχεία από αυτήν την ιεραρχία αλλά είχαν περισσότερα επίπεδα κατάταξης και στα υψηλότερα επίπεδα χρησιμοποιούσαν όχι μόνο ιδιότητες από τα μοντέλα αλλά και από τις θεωρίες.

Άλλες θεωρητικές προσεγγίσεις που βασίζονται στη φιλοσοφία οδηγούν σε συγκεκριμένες εισηγήσεις για την ανάπτυξη των αναλυτικών προγραμμάτων και τη διδασκαλία. Η ανάλυση των θεωριών ως οργανωμένων δομών, αυτές που ο Lakatos ονομάζει επιστημονικά ερευνητικά προγράμματα και η περιγραφή της αλλαγής των θεωριών μέσα από αυτές τις δομές, αποτέλεσε το θεωρητικό πλαίσιο σε έρευνες των Justi και Gilbert για την περιγραφή της εξέλιξης των μοντέλων. Οι ερευνητές δείχνουν πώς η εξέλιξη, η χρήση και η αντικατάσταση συγκεκριμένων μοντέλων συνιστά τον πυρήνα των επιστημονικών προγραμμάτων στην περίπτωση της κινητικής των χημικών αντιδράσεων (1999) και της δομής του ατόμου (2000). Αντίθετα από αυτό που συμβαίνει στην πραγματική επιστήμη, παρατηρούν οι ερευνητές, ο τρόπος που πολλά σχολικά εγχειρίδια παρουσιάζουν τα ιστορικά μοντέλα για τη δομή του ατόμου οδηγεί σε υβριδικά μοντέλα. Τέτοια μοντέλα όχι μόνο δεν ανακλούν την πραγματική επιστημονική γνώση για το άτομο αλλά ούτε προσφέρουν μια εύλογη ερμηνεία της εξέλιξης των ιδεών στην επιστήμη ενώ ταυτόχρονα αποκρύπτουν και τις διαδικασίες της επιστήμης. Με βάση αυτά τα ευρήματα προτείνουν μια ιστορική, μοντελοκεντρική προσέγγιση στη στρατηγική ανάπτυξης των αναλυτικών προγραμμάτων των φυσικών επιστημών και στην εκπαίδευση των εκπαιδευτικών, κυρίως σε θεμελιώδη επιστημονικά θέματα. Η διδασκαλία, όταν είναι δομημένη στη βάση της

ιστορικής εξέλιξης των ιδεών, αναδεικνύει το δυναμισμό της επιστήμης αλλά και διευκολύνει όχι μόνο τη διδασκαλία του περιεχομένου αλλά και των διαδικασιών της επιστήμης ενώ παράλληλα βοηθάει στην καλύτερη κατανόηση της φύσης της επιστήμης.

Οι διαδικασίες διδασκαλίας και μάθησης που βασίζονται στα μοντέλα και κυρίως στη μοντελοποίηση, που είναι οι κυρίαρχες σήμερα στη διδακτική, είναι αποτέλεσμα των επιδράσεων τόσο από τη γνωστική ψυχολογία και τη θεωρία των νοητικών μοντέλων όσο και των αναλύσεων από τη φιλοσοφία της επιστήμης, στις οποίες η επιστήμη περιγράφεται ως ένα μοντελοκεντρικό εγχείρημα (Jonassen, Strobel & Gottdenker, 2005, Gilbert & Boutler, 2012). Κάποιοι ειδικοί της διδακτικής που υποστηρίζουν τη μοντελοκεντρική προσέγγιση στην εκπαίδευση για τις φυσικές επιστήμες δίνουν έμφαση στο γνωστικό και στο διαδικαστικό κομμάτι της επιστημονικής πρακτικής, π.χ. στη χρήση μοντέλων (Raghavan, Sartoris & Glaser, 1998) ή στην κατασκευή και χρήση μοντέλων (Schwarz, et al, 2009· Schecker, 1993· White & Frederiksen, 1998· Wells, Hestenes & Swackhamer, 1995· Hestenes, 1992, 2006) χωρίς όμως να αναφέρονται σε συγκεκριμένες φιλοσοφικές προσεγγίσεις. Άλλοι στηρίζονται κυρίως σε γνωστικώς προσανατολισμένες φιλοσοφικές αναλύσεις, όπως αυτές του Giere (1990, 1999) και της Nerssesian (1992), συνήθως όμως χρησιμοποιούν πολύ γενικές έννοιες από το φιλοσοφικό αυτό υπόβαθρο (Halloun, 2004· Clement, 2000, 2008· Gilbert, 2004· Gobert & Buckley, 2000). Ο Clement (2000, 2008), του οποίου η έρευνα επικεντρώνεται στις γνωστικές διαδικασίες που σχετίζονται με την κατασκευή των μοντέλων, στηρίζεται στις απόψεις των Campbell (1957), Harré (1961), Hesse (1966) και Nagel (1961), για το ρόλο και τη σημασία των εννοιολογικών μοντέλων στην εννοιολογική κατανόηση του περιεχομένου της επιστήμης. Ο Clement (2000) υποστηρίζει ότι η “εννοιολογική κατανόηση”, που είναι το αποτέλεσμα της μοντελοποίησης, βοηθάει τους μαθητές όχι μόνο να αντιληφθούν ότι η επιστήμη “έχει νόημα” αφού προσφέρει εξηγήσεις αλλά και να αποκτήσουν γνώση την οποία μπορούν να μεταφέρουν και να αξιοποιήσουν για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν σε ένα μεγαλύτερο εύρος καταστάσεων.

Άλλοι ερευνητές περιγράφουν τυπολογίες των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην εκπαίδευση και που είναι χρήσιμες είτε για την έρευνα που αφορά στα μοντέλα που περιλαμβάνονται στα αναλυτικά προγράμματα ή που χρησιμοποιούνται στην τάξη και στην ανάπτυξη των νοητικών μοντέλων των μαθητών (Boutler and Buckley, 2000) είτε για χρήση από τους εκπαιδευτικούς ώστε να αξιολογούν τις εννοιολογικές απαιτήσεις διαφορετικών ειδών μοντέλων ή αναπαραστάσεων και να επιλέγουν την κατάλληλη ακολουθία αναπαραστάσεων έτσι ώστε να βοηθούν τους μαθητές τόσο στην εννοιολογική κατανόηση

όσο και στην απόκτηση δεξιοτήτων μοντελοποίησης (Harrison and Treagust, 2000). Αυτές οι τυπολογίες όμως δεν σχετίζονται συνήθως με φιλοσοφικές απόψεις αλλά έχουν έναν περισσότερο χρηστικό χαρακτήρα στα πλαίσια της εκπαίδευσης.

Σε πρόσφατες σχετικές δημοσιεύσεις οι προσεγγίσεις έχουν ένα πιο ξεκάθαρο φιλοσοφικό αποτύπωμα το οποίο, στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι αυτό της σημασιολογικής ανάλυσης των θεωριών και κυρίως του γνωστικού μοντέλου της επιστήμης που εισηγείται ο Giere στη μοντελοθεωρητική εκδοχή για τη δομή των θεωριών. Η περιγραφή της επιστήμης που προσφέρει ο Giere (1999, σ. 54) ως της γνωστικής δραστηριότητας που περιλαμβάνει την κατασκευή και ερμηνεία μοντέλων και η οποία βασίζεται στη γνωστική ικανότητα του ανθρώπινου μυαλού να αναπαριστά νοητικά τον κόσμο, ταιριάζει σε πολλές από τις πτυχές της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Με βάση αυτές τις υποθέσεις ο Giere δείχνει, χρησιμοποιώντας ως υπόδειγμα την κλασική μηχανική, πώς η δομή μιας θεωρίας είναι δυνατόν να περιγραφεί από μια ιεραρχία οικογενειών θεωρητικών μοντέλων όπου κάθε μία από τις οποίες προκύπτει από το συνδυασμό του θεμελιώδους νόμου της δυναμικής με διαφορετική συνάρτηση για τη δύναμη. Η Develaki (2007) εφαρμόζει αυτή τη μέθοδο οργάνωσης μιας θεωρίας στην κβαντική μηχανική και δείχνει πώς και αυτή μπορεί να ανασυγκροτηθεί ως μια τέτοια οικογένεια θεωρητικών μοντέλων από το συνδυασμό της θεμελιώδους συνάρτησης του Schrödinger (στην περίπτωση που αυτή είναι ανεξάρτητη του χρόνου) με διαφορετικές συναρτήσεις για τη δυναμική ενέργεια ενός σωματιδίου. Η Develaki προχωρά ένα βήμα παραπέρα και προτείνει την οργάνωση του περιεχομένου των αναλυτικών προγραμμάτων, αλλά και των εγχειριδίων της φυσικής, στη λογική των οικογενειών μοντέλων έτσι ώστε το περιεχόμενο να αποκτήσει συνοχή και νόημα και να είναι πιο προσιτό στους μαθητές. Για τη διδακτική προσέγγιση του περιεχομένου η Develaki προτείνει τη μέθοδο που περιγράφει ο Halloun (2004). Σύμφωνα με αυτή τα μοντέλα θα παρουσιάζονται στη διδασκαλία διαδοχικά για την εξήγηση νέων φαινομένων, δηλαδή διευρύνοντας το πεδίο εφαρμογής της θεωρίας. Οι νέες έννοιες της φυσικής (στην περίπτωση της μηχανικής η ταχύτητα, η επιτάχυνση ή η ορμή) θα εισάγονται, όταν και όπου αυτό είναι απαραίτητο, ως εργαλεία για τη μοντελοποίηση των νέων φαινομένων, στην οποία οι μαθητές θα έχουν ενεργό ρόλο. Μια τέτοια προσέγγιση όμως απαιτεί, όχι μόνο κατανόηση των διαδικασιών μοντελοποίησης αλλά και την κατανόηση της έννοιας του θεωρητικού μοντέλου και της μαθηματικής του αναπαράστασης καθώς η όλη ανασυγκρότηση της θεωρίας με βάση τα μοντέλα της βασίζεται στη συνάρτηση που περιγράφει τη δύναμη σε κάθε περίπτωση. Αυτό ταιριάζει και με έναν ορισμό του μοντέλου ως μέσο εφαρμογής των νόμων στα φυσικά συστήματα αλλά ταυτόχρονα δίνει και βάρος

στη μαθηματική περιγραφή των φυσικών συστημάτων. Αν και, συνήθως, οι προσεγγίσεις της διδακτικής δίνουν έμφαση στην εννοιολογική κατανόηση, τα μοντέλα της φυσικής αναπαρίστανται με μαθηματικές εκφράσεις οι οποίες προσφέρουν πιο ακριβείς απαντήσεις με λιγότερη νοητική προσπάθεια ή τουλάχιστον σε λιγότερο χρόνο. Ο Grandy (2003) τονίζει αυτά τα πλεονεκτήματα της μαθηματικής περιγραφής των μοντέλων βασισμένος στα αποτελέσματα της έρευνας των Profitt and Gilden (1989). Σε αυτή την έρευνα ειδικοί οι οποίοι καλούνταν να δώσουν γρήγορες απαντήσεις σε προβλήματα με δύο παραμέτρους έκαναν λάθος στο ίδιο ποσοστό με μη ειδικούς που είχαν τη δυνατότητα να απαντήσουν χωρίς χρονικό περιορισμό. Όπως συμπέραναν οι ερευνητές, όταν στους ειδικούς δεν δίνεται η δυνατότητα να κάνουν υπολογισμούς παρουσιάζουν τα βασικά στοιχεία σύγχυσης των μη ειδικών. Η σημασία της ποσοτικής περιγραφής είναι εμφανής στην περίπτωση που δύο μεταβλητές προκαλούν μεταβολές σε μία τρίτη σε διαφορετικές διευθύνσεις. Χωρίς ποσοτική επεξεργασία είναι αδύνατον να εξαχθεί συμπέρασμα για την τελική μεταβολή της τρίτης μεταβλητής (Markman, 1999, σ. 262). Οι μαθηματικές περιγραφές μπορούν όμως να δώσουν σαφείς λύσεις στα προβλήματα σε ένα βαθμό ακρίβειας που εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της μαθηματικής τους περιγραφής (Grandy, 2003).

Οι μαθηματικές περιγραφές και τα θεωρητικά μοντέλα, όπως αυτά περιγράφονται από τις ΣΗΑ, έχουν ένα βαθμό αφαίρεσης ο οποίος προϋποθέτει ότι οι μαθητές μπορούν να σκέφτονται θεωρητικά. Η ικανότητα για θεωρητική σκέψη βρίσκεται στο κέντρο του θεωρητικού πλαισίου που περιγράφουν οι Izquierdo-Aymerich και Adúriz-Bravo (2003) για αυτό που ονομάζουν σχολική επιστήμη (school science), δηλαδή την επιστήμη όπως αυτή διδάσκεται στο σχολείο. Ο στόχος της επιστήμης είναι η θεωρητική περιγραφή του κόσμου που μας βοηθάει να τον κατανοήσουμε και μας δίνει τη δυνατότητα να παρεμβαίνουμε σε αυτόν και η ικανότητα για θεωρητική σκέψη θα πρέπει να είναι ο στόχος για την επιστήμη, όπως διδάσκεται στο σχολείο. Σύμφωνα με τους ερευνητές, αυτό μπορεί να επιτευχθεί εντός του θεωρητικού πλαισίου των σημασιολογικών αναλύσεων των θεωριών για τις οποίες ο ρόλος των θεωριών και των μοντέλων τους είναι η κατανόηση του κόσμου και όχι η διατύπωση αληθών προτάσεων για αυτόν. Αυτός ο γνωστικός στόχος, υποστηρίζουν, μπορεί να επιτευχθεί μέσω του γνωστικού μοντέλου των θεωριών του Giere (1990) στο οποίο πολλά είδη αναπαραστάσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θεωρητικά μοντέλα εφ' όσον συνδέονται με την πραγματικότητα μέσω των θεωρητικών υποθέσεων. Οι θεωρητικές υποθέσεις είναι οι προτάσεις με εμπειρικά περιεχόμενο που συνδέουν τα μοντέλα με τα γεγονότα (ό. π. σ. 32) και εξασφαλίζουν τη σχέση της ομοιότητας μεταξύ του μοντέλου και του πραγματικού κόσμου. Αυτή η θεώρηση, ισχυρίζονται οι Izquierdo-Aymerich και

Adúriz-Bravo (2003), προσφέρει ένα κατάλληλο πλαίσιο για την διαμόρφωση μιας σχολικής επιστήμης που έχει ως σκοπό να διδάξει τους μαθητές πώς να σκέφτονται θεωρητικά. Ως αποτέλεσμα της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών οι μαθητές θα πρέπει να καταλάβουν ότι ο φυσικός κόσμος έχει κάποια χαρακτηριστικά που μπορούν να μοντελοποιηθούν θεωρητικά. Για να γίνει αυτό θα πρέπει η διδασκαλία να περιλαμβάνει «τα κατάλληλα θεωρητικά μοντέλα» τα οποία θα παρουσιάζονται ως *θεωρητικώς ερμηνευμένα παραδειγματικά γεγονότα* (theoretically interpreted paradigmatic facts) (η έμφαση στο πρωτότυπο) για την κατανόηση των φαινομένων. Τα μοντέλα αυτά θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να απαντούν σε ερωτήσεις που έχουν νόημα για τους μαθητές και τα οποία οι μαθητές θα καταλαβαίνουν και θα μπορούν να διαχειριστούν. Η διαχείριση των μοντέλων είναι κύριο συστατικό της διαδικασίας μάθησης στην πρόταση των Izquierdo-Aymerich and Adúriz-Bravo διότι εξασφαλίζει ένα βαθμό αυτονομίας στη σκέψη των μαθητών και βοηθάει στην καλλιέργεια μεταγνωστικών ικανοτήτων. Επειδή αυτή είναι μόνο μια προκαταρκτική εισήγηση για τη δημιουργία ενός θεωρητικού και επιστημολογικού πλαισίου για το περιεχόμενο της σχολικής επιστήμης και για να συγκεκριμενοποιηθεί χρειάζεται περαιτέρω θεωρητική έρευνα, για παράδειγμα δεν είναι σαφές εάν τα παραδειγματικά γεγονότα είναι τα μοντέλα που ήδη υπάρχουν στα αναλυτικά προγράμματα ή και άλλα τα οποία θα πρέπει να επιλεγούν με κάποια κριτήρια, κρατάμε το κεντρικό σημείο της πρότασης, ότι δηλαδή οι μαθητές πρέπει να μάθουν να περιγράφουν τα φαινόμενα μέσω μοντέλων που κατασκευάζονται για την ερμηνεία και τη μελέτη του κόσμου.

Σε ένα πρόσφατο άρθρο, το οποίο συνδέεται με όσα προαναφέρθηκαν, ο Adúriz-Bravo (2013) υποστηρίζει ότι η έννοια του θεωρητικού μοντέλου, όπως αυτή περιγράφεται στις ΣΗΑ, έχει κάποια χαρακτηριστικά που την καθιστούν ως την πιο κατάλληλη για τη διδασκαλία του μοντέλου στις φυσικές επιστήμες. Το επιχειρήμα του έχει δύο πτυχές. Η πρώτη αφορά στην καταλληλότητα των επιστημολογικών ισχυρισμών των ΣΗΑ και η δεύτερη στην καταλληλότητα της έννοιας του μοντέλου σε αυτές τις αναλύσεις. Αναφορικά με το πρώτο εντοπίζει πέντε πλεονεκτήματα των ΣΗΑ τα οποία είναι σχετικά με την εκπαίδευση τις φυσικές επιστήμες. Αυτά είναι: (α) η προτεραιότητα σε μια σημασιολογική και πραγματιστική προσέγγιση της επιστήμης (β) η περιγραφή των θεωριών ως οικογενειών μοντέλων το περιεχόμενο των οποίων είναι περισσότερο από το απλό άθροισμα των μοντέλων που τις συνιστούν αφού οι θεωρίες περιλαμβάνουν εκτός από τα μοντέλα και τις λογικές και πειραματικές σχέσεις μεταξύ τους αλλά και τα γεγονότα που αυτά ερμηνεύουν (γ) η έμφαση στην κατανόηση των μοντέλων (δ) η άποψη ότι δεν είναι οι προτάσεις αντιστοιχούν στα φαινόμενα αλλά ότι στη σχέση μεταξύ προτάσεων και φαινομένων

μεσολαμβάνουν τα μοντέλα, τα οποία δεν μπορούν να ταυτιστούν με κανένα από αυτά και (ε) η άρση των περιορισμών που έθετε η ΣΥΑ στη γλωσσική περιγραφή της θεωρίας, η οποία επιτρέπει την έκφραση της θεωρητικής γνώσης με διάφορα μέσα όπως: μοντέλα σε κλίμακα, σχεδιαγράμματα, παραδειγματικά γεγονότα, μεταφορές, χειρονομίες κ.ά., δηλαδή σε οτιδήποτε μπορεί να παρουσιάζει με απλό τρόπο τα κύρια συστατικά μιας κατάστασης, αρκεί να διατηρούν την επεξηγηματική της δύναμη.

Κάποια από τα στοιχεία που ο Bravo αναφέρει ως πλεονεκτήματα έχουν όμως κάποια προβλήματα, κυρίως σε σχέση με τη διδασκαλία. Το σημείο (γ) για παράδειγμα είναι ορθό. Το (β) είναι επίσης ορθό αλλά δεν είναι σαφές πώς οι λογικές σχέσεις μεταξύ των μοντέλων που προτείνονται από τις ΣΗΑ, όπως, το να είναι εμπειρικές υποδομές της θεωρίας (van Fraassen) ή να προκύπτουν από χώρους φάσεων (Suppes) ή χώρους καταστάσεων (Suppe), που είναι τεχνικές έννοιες μπορούν να αξιοποιηθούν στην εκπαίδευση. Κάποια άλλα από τα χαρακτηριστικά που θεωρεί ως πλεονεκτήματα όμως είναι μόνο εν μέρει ορθά. Για παράδειγμα και αναφορικά με το (α), οι ΣΗΑ όντως δίνουν προτεραιότητα στο σημασιολογικό περιεχόμενο και διατυπώθηκαν για να είναι πιο πραγματιστικές από τη ΣΥΑ που αντικατέστησαν αλλά έχουν πολλά κανονιστικά χαρακτηριστικά (Suppe, 2000) και σήμερα υπάρχουν άλλες προσεγγίσεις που είναι περισσότερο πραγματιστικές. Σχετικά με το σημείο (δ), οι ΣΗΑ δεν χρησιμοποιούν τον όρο «μεσολάβηση» για να περιγράψουν το ρόλο των μοντέλων. Ο ρόλος των μοντέλων είναι να αναπαριστούν τα φαινόμενα και η κάθε εκδοχή περιγράφει μια συγκεκριμένη σχέση, συνήθως τυπική, που καθιστά το μοντέλο αναπαράσταση του στόχου. Οι σχέσεις αυτές που προτείνονται, πρώτον έχουν δεχθεί ισχυρή κριτική στη φιλοσοφία της επιστήμης και δεύτερον, με εξαίρεση αυτή της ομοιότητας του Giere, δεν φαίνεται να μπορούν να αξιοποιηθούν στην εκπαίδευση και ούτε θα ήταν σκόπιμο κάτι τέτοιο. Τέλος, το σημείο (ε) είναι μάλλον μια πολύ ελεύθερη απόδοση της έννοιας της ανεξαρτησίας της διάκρισης μιας θεωρίας από τη γλώσσα διατύπωσης της που πρεσβεύουν οι ΣΗΑ και αυτή η ανεξαρτησία δεν εκφράζεται μέσα από αντικείμενα τα οποία μπορούν να θεωρηθούν μοντέλα. Αναφορικά με το τι είναι μοντέλο, μόνο στη μοντελοθεωρητική εκδοχή του Giere, όπου τα μοντέλα χαρακτηρίζονται ως αφηρημένα αντικείμενα (abstract objects), κάποια από τα παραδείγματα που αναφέρει ο Bravo ανήκουν σε αυτή την κατηγορία αλλά όχι όλα. Για παράδειγμα, είναι πιθανό ο Giere να μη συμφωνεί ότι οι χειρονομίες μπορεί να είναι ένα από αυτά.

Το βασικό επιχείρημα του Bravo όμως είναι ότι οι ιδιότητες των επιστημονικών μοντέλων, όπως αυτές προκύπτουν από τις σημασιολογικές αναλύσεις, είναι οι κατάλληλες για τα σχολικά επιστημονικά μοντέλα, δηλαδή τις εκδοχές των επιστημονικών μοντέλων που

περιλαμβάνονται στα σχολικά αναλυτικά προγράμματα των φυσικών επιστημών. Μερικές από αυτές είναι ότι: μετατοπίζουν το βάρος από το φορμαλισμό στο περιεχόμενο και στην κατανόησή του και θεωρούν ότι ο ρόλος των θεωριών γίνεται κατανοητός μέσα από τα μοντέλα τους. Ερμηνεύοντας αυτό το χαρακτηριστικό για τη διδακτική ο Brano συμπεραίνει ότι οι ΣΗΑ επιτρέπουν τη χρήση πολλών συμβολικών μέσων, όπως εικόνες, πίνακες, γραφικές παραστάσεις, αναλογίες κ.ά., εφόσον επιτρέπουν στο χρήστη να περιγράψει, να εξηγήσει ή να προβλέψει τη συμπεριφορά ενός συστήματος. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να έχουν διπλό ρόλο, ως αναπαραστάσεις συγκεκριμένων συστημάτων αλλά και ως πρότυπα για την περιγραφή ενός τύπου συστημάτων. Για την περιγραφή του τρόπου με τον οποίου τα μοντέλα αναπαριστούν, δηλαδή τη σχέση τους με τον κόσμο, ο Brano επικαλείται, από τη σχετική βιβλιογραφία την αναλογία του χάρτη. Όπως στην κατασκευή ενός χάρτη επιλέγονται κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της περιοχής του ενδιαφέροντος που εξυπηρετούν το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζεται ο χάρτης και αυτά παρουσιάζονται με μια σειρά από συμβάσεις (χρώματα, γραμμές, σύμβολα κλπ), έτσι και σε ένα μοντέλο επιλέγονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του συστήματος που θεωρείται ότι σχετίζονται με συγκεκριμένες συμπεριφορές και αυτά εκφράζονται σύμφωνα με τις συμβάσεις της θεωρίας. Ως αναπαραστάσεις συγκεκριμένων συστημάτων τα μοντέλα επιτρέπουν επίσης την εξαγωγή συμπερασμάτων από θεωρητικές ιδέες που εμπεριέχονται σε αυτά και τη σύγκρισή τους με τα δεδομένα από τις παρατηρήσεις και τα πειράματα, με το τελευταίο να εκφράζει την ιδέα της εμπειρικής επιβεβαίωσης που επικαλούνται κάποιες ΣΗΑ. Αυτά τα χαρακτηριστικά όμως δεν αποδίδονται στα μοντέλα μόνο από τις ΣΗΑ και κάποια από αυτά δεν συνάδουν με όλες τις εκδοχές τους.³⁶ Ένα τέτοιο είναι η εμπειρική επιβεβαίωση που εκφράζει τον οικοδομιστικό εμπειρισμό (constructive empiricism) του Van Fraassen και μόνο τη μια πτυχή του οικοδομιστικού ρεαλισμού του Giere.

Η σχέση των ισχυρισμών του μοντέλου με τα χαρακτηριστικά του φυσικού κόσμου στον οποίο προορίζεται να εφαρμοστεί είναι μία ακόμη πτυχή των μοντέλων. Οι ΣΗΑ «[α]νάλογα με τη σχέση απεικόνισης [μεταξύ μοντέλων και φαινομένων] που απαιτούνται για την θεωρητική επάρκεια, επιδέχονται ρεαλιστικές, ημιρεαλιστικές και αντιρεαλιστικές ερμηνείες» (Suppe, 2000, σ. S105). Άρα, οι ΣΗΑ δεν δεσμεύονται σε μία επιστημολογική θέση αναφορικά με την αλήθεια των ισχυρισμών των μοντέλων. Από την άλλη, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι συγγραφείς της διδακτικής των φυσικών επιστημών αναπτύσσουν τις θέσεις τους μάλλον ανεξάρτητα από τέτοιες φιλοσοφικές τοποθετήσεις

³⁶ Αυτά τα σημεία θα συζητηθούν πιο διεξοδικά στο πέμπτο κεφάλαιο.

(Harrison & Treagust, 2000· Justi & Gilbert, 2000, 2002) ή τουλάχιστον δεν τις αναφέρουν ρητά. Σε κάποιες εργασίες η τοποθέτηση υποδηλώνεται από το περιεχόμενο και τις παραδοχές που τίθενται σε αυτό και που εκφράζουν συνήθως μια ρεαλιστική αντίληψη, όπως, η περιγραφή του στόχου της διαδικασίας ως «η διερεύνηση των φαινομένων του πραγματικού κόσμου» (Crawford & Cullin, 2004) ή η έμφαση στην επαλήθευση των ισχυρισμών των μοντέλων (Hestenes, 1992). Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις που ο ρεαλισμός, ως φιλοσοφική τοποθέτηση αναφορικά με το σκοπό της επιστήμης και την σχέση των μοντέλων με τον κόσμο, είτε υποστηρίζεται ρητά (Matthews, 2012· Nola, 1997, 2004) είτε επιλέγεται ως η κατάλληλη για την εκπαίδευση (Eflin et al, 1999· Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo 2003) ή και τα δύο (Gilbert, Pietrocola, Zylbersztajn, & Franco, 2000). Ο Halloun (2004, σ. xi) θέτει ως έναν από τους στόχους της εφαρμογής της θεωρίας των μοντέλων στη διδακτική μέσω μιας μοντελοκεντρικής διδασκαλίας «τον περιορισμό του απλοϊκού ρεαλισμού των μαθητών και την εξέλιξή του σε επιστημονικό ρεαλισμό σε κάποιο ρεαλιστικό επίπεδο». Ο ρεαλισμός του Halloun είναι αυτός που υιοθετούν οι Giere (1990) και Bunge (1973). Η προτίμηση της ανάλυσης του Giere στη διδακτική, εκτός των άλλων, μπορεί και να σχετίζεται και με τη ρεαλιστική τοποθέτησή του αναφορικά με τη σχέση των μοντέλων με το κόσμο η οποία εκφράζει έναν νατουραλιστικό ρεαλισμό (naturalized realism) (Koronen, 2007).

Μόνη ίσως εξαίρεση στην προτίμηση στο ρεαλισμό ως της κατάλληλης θέσης για τη διδασκαλία αποτελεί ο Koronen (2007) ο οποίος υποστηρίζει ότι η πιο κατάλληλη και πιο κοντά στην επιστημονική πραγματικότητα είναι εμπειρική επάρκεια του van Fraassen. Αυτή λέει ο Koronen, ισοδυναμεί με έναν μετριοπαθή ρεαλισμό που περιλαμβάνει, πρωταρχικά, τις υποθέσεις ενός ρεαλισμού της κοινής λογικής. Αυτές είναι ότι η πραγματικότητα και οι οντότητες σε αυτή υπάρχουν ανεξάρτητα από τον παρατηρητή και ότι οι ισχυρισμοί για την ύπαρξη οντοτήτων έχουν τιμές αληθείας. Το μόνο όμως που χρειάζεται η φυσική είναι οι θεωρίες και τα μοντέλα της να έχουν εμπειρική αξιοπιστία και συνεπώς η γνώση της φυσικής είναι εμπειρικά αξιόπιστη. Αυτό που προτείνει ο Koronen είναι στην ουσία είναι «ένα μίγμα ελάχιστου ρεαλισμού και μεθοδολογικού εμπειρισμού το οποίο αντιστοιχεί καλύτερα σε μια αυθεντική εικόνα της επιστήμης» αφού, όπως υποστηρίζει, «στη φυσική δεν υπάρχουν τρόποι για την αξιολόγηση δηλώσεων για την αλήθεια και την πραγματικότητα που να πηγαίνουν πέρα από την εμπειρική αξιοπιστία και την εμπειρική επιτυχία».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΜΑΘΗΤΩΝ, ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

Από μια απόφαση για την ένταξη της έννοιας του μοντέλου στα αναλυτικά προγράμματα των φυσικών επιστημών και για την αξιοποίησή του στην ανάδειξη των χαρακτηριστικών της επιστήμης προκύπτουν νέα ερευνητικά ερωτήματα, όπως: (α) Ποιες είναι οι αντιλήψεις των μαθητών για τα μοντέλα; (β) Ποιες είναι οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τα μοντέλα και είναι αυτές οι αντιλήψεις μια καλή βάση για τη διδασκαλία; (γ) Πώς περιγράφουν οι επιστήμονες το ρόλο των μοντέλων στην επιστημονική πρακτική; (δ) Τι θα ήταν χρήσιμο να γνωρίζουν οι μαθητές για τα μοντέλα; (ε) Ποια θα ήταν η ενδεδειγμένη διδακτική προσέγγιση; Απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα θα δοθούν σε αυτό και στα κεφάλαια που θα ακολουθήσουν

5.1 Ιδέες των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα

Τι είναι και τι κάνουν τα μοντέλα

Οι έρευνες για τις ιδέες των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα εστιάζουν σε πέντε πτυχές κατανόησης για τα μοντέλα: (α) τι είναι μοντέλο και στη σχέση του με αυτό για το οποίο είναι μοντέλο, (β) τα είδη των μοντέλων (γ) την κατασκευή και τη χρήση τους (δ) τη δυνατότητα αλλαγής τους και (ε) την πολλαπλότητα των μοντέλων. Εν συντομία, οι μαθητές πιστεύουν ότι τα μοντέλα είναι αντίγραφα της πραγματικότητας (Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991· Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2002· Krell, zu Belzen, & Krüger, 2012), και έχουν κυρίως περιγραφικό χαρακτήρα (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2004), ότι η έννοια αφορά μόνο στις φυσικές και στις οπτικές αναπαραστάσεις των φαινομένων ή των συστημάτων Ν Β που χρησιμοποιούνται κυρίως στην επικοινωνία και στη μάθηση, ότι τα μοντέλα είναι δυνατόν να αλλάζουν και ότι μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα μοντέλα για το ίδιο “αντικείμενο” (Grosslight et al, 1991, Treagust, et al, 2002).

Η πρώτη έρευνα για την καταγραφή των ιδεών των μαθητών για τα μοντέλα ήταν αυτή των Grosslight, et al (1991) τα αποτελέσματα της οποίας θα παρουσιαστούν πιο διεξοδικά επειδή αποτέλεσε τη βάση σύγκρισης για μεταγενέστερες έρευνες οι οποίες με λίγες μόνο διαφοροποιήσεις οδήγησαν στα ίδια συμπεράσματα. Η έρευνα έγινε με τη μέθοδο των προσωπικών συνεντεύξεων και το δείγμα αποτελούσαν 13χρονοι και 17χρονοι μαθητές (33 και 22 μαθητές αντίστοιχα).

Τι είναι μοντέλο. Οι αντιλήψεις για το τι είναι μοντέλο είναι οι πιο σημαντικές διότι διαμορφώνουν το πλαίσιο εντός του οποίου απαντώνται και τα υπόλοιπα ερωτήματα που αφορούν στα μοντέλα. Σχεδόν όλοι οι μαθητές θεωρούσαν ως μοντέλα, εκτός από τους επαγγελματίες στο χώρο της διαφήμισης, τα διάφορα υλικά αντικείμενα που ήταν αντίγραφα άλλων υλικών αντικειμένων, όπως αεροπλάνα και κτήρια, ή τις κατασκευές που παριστούν ιδέες για τη μελλοντική κατασκευή τέτοιων αντικειμένων. Για την πλειοψηφία των μαθητών τα αντικείμενα αυτά ήταν ίδια με τα πραγματικά αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Μόνο το 14% των μεγαλύτερων μαθητών πίστευαν ότι τα μοντέλα αναπαριστούν τις σχέσεις μεταξύ των μερών του συστήματος για τα οποία είναι μοντέλα, μάλλον όμως με τη μηχανιστική αντίληψη ότι δούλευαν με τον ίδιο τρόπο όπως και τα πραγματικά αντικείμενα ενώ ελάχιστοι έκαναν μια αυθόρμητη αναφορά σε αυτόν που κατασκευάζει το μοντέλο. Ελάχιστοι από τους μεγαλύτερους μαθητές χαρακτήρισαν ως μοντέλα αφηρημένα αντικείμενα, όπως για παράδειγμα μαθηματικά ή θεωρητικά μοντέλα. Περισσότεροι από τους μισούς 17χρονους και πολύ λιγότεροι 13χρονοι, αναφέρθηκαν και σε εικόνες, σχέδια ή γραφικές παραστάσεις.

Πολλαπλά μοντέλα. Οι περισσότεροι μαθητές συμφωνούσαν ότι είναι δυνατόν να υπάρχουν πολλά μοντέλα για το ίδιο πράγμα αλλά στη συντριπτική τους πλειοψηφία τα μοντέλα αυτά είναι διαφορετικές χωρικές όψεις του ίδιου πράγματος. Κάποιοι από τους 17χρονους μαθητές είχαν πιο επεξεργασμένες απόψεις και θεωρούσαν ότι οι διαφορετικές εκδοχές ενός μοντέλου μπορεί να οφείλονται και στο ότι δίνουν έμφαση σε διαφορετικές πτυχές του αντικειμένου τονίζοντας ή παραλείποντας κάποιες. Κανένας όμως, όπως παρατηρούν οι ερευνητές, δεν αναφέρεται στην περίπτωση πολλαπλών μοντέλων ως εναλλακτικών υποθέσεων για την εξήγηση του ίδιου φαινομένου οι οποίες προέρχονται από διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις.

Κατασκευή και χρήσεις των μοντέλων. Ο παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν στην κατασκευή ενός μοντέλου για όλους τους μαθητές ήταν η ομοιότητά του με το πραγματικό αντικείμενο ή σύστημα. Οι μεγαλύτεροι μαθητές αναφέρθηκαν και σε άλλους παράγοντες, όπως το να είναι κατανοητό σε όλους, να είναι έγκυρο, ή να ταιριάζει με το σκοπό. Ο σκοπός για τον οποίο κάποιος κατασκευάζει ένα μοντέλο είναι για τους μισούς συμμετέχοντες και από τις δύο ομάδες να παρουσιάσει πώς είναι, ή πώς θα είναι, το πραγματικό αντικείμενο και για πολύ λιγότερους το πώς δουλεύει. Για τους υπόλοιπους σκοπός της κατασκευής είναι η παρατήρηση, η μάθηση και η κατανόηση (21% των 13χρονων και 86% των 17χρονων) σε σχέση κυρίως με το πώς δουλεύει μια συσκευή με το μοντέλο να έχει ρόλο υποδείγματος ή επίδειξης (58% των 13χρονων και 41% των

17χρονων). Λιγότεροι έκαναν αναφορά στη χρήση των μοντέλων στον έλεγχο (36% και 41% αντίστοιχα) αλλά ο έλεγχος αφορούσε στα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου και στις συνθήκες που αυτό λειτουργεί. Ελάχιστοι αναφέρθηκαν στο ρόλο των μοντέλων στον έλεγχο ιδεών και κανένας στη διατύπωση συμπερασμάτων και προβλέψεων ή στη σχέση τους με το πείραμα. Αντίθετα, κάποιοι από τους μεγαλύτερους μαθητές ταύτιζαν τα μοντέλα με τα πειράματα. Είναι φανερό ότι οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται τα μοντέλα ως μέσα περιγραφής ιδεών για τον κόσμο που στόχο έχουν την απόκτηση νέας γνώσης αλλά μόνο ως βοηθήματα στη μάθηση και στην κατανόηση της υπάρχουσας γνώσης, αντίληψη συνεπή με αυτή των μοντέλων ως αντίγραφων της πραγματικότητας.

Η ομοιότητα με αυτό για το οποίο είναι μοντέλο και ο ρόλος του μοντέλου στην κατανόηση ήταν και τα κριτήρια που χρησιμοποίησαν οι μαθητές για να αποφασίσουν αν ένα παιχνιδι-αεροπλάνο, μια φωτογραφία ενός σπιτιού, ένας χάρτης σιδηρόδρομου και ένα διάγραμμα του κύκλου του νερού είναι μοντέλο. Αν και οι μισοί από τους μαθητές και των δύο ομάδων δεν χρησιμοποιούσαν συστηματικά ένα κριτήριο για το χαρακτηρισμό των πιο πάνω ως μοντέλων, από τους υπόλοιπους, οι μικρότεροι μαθητές είχαν ως κριτήριο την ομοιότητα του μοντέλου με το πραγματικό αντικείμενο ενώ οι μεγαλύτεροι έδιναν έμφαση στο ρόλο του στη μάθηση, κυρίως στο πλαίσιο της διδασκαλίας, εύρημα κοινό και με άλλες έρευνες (Treagust, et al, 2002· Chittleborough & Treagust, 2009).

Αλλαγή των μοντέλων. Η συντριπτική πλειοψηφία των μαθητών συμφωνούσε ότι τα μοντέλα αλλάζουν, για τους μικρότερους όταν αυτά δεν «είναι σωστά» και τους μεγαλύτερους όταν υπάρχουν νέες πληροφορίες από έρευνες, πειράματα ή νέες ανακαλύψεις που αφορούν το αντικείμενο. Κανένας όμως μαθητής δεν φαίνεται να θεωρεί ότι το ίδιο το μοντέλο είναι μέρος αυτής της επιστημονικής έρευνας. Η άποψη ότι τα μοντέλα μπορεί να αλλάξουν βρίσκεται σε αντίθεση με την αντίληψη των μοντέλων ως αντίγραφων της πραγματικότητας. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι το μοντέλο για τους μαθητές μια απεικόνιση ή μια κατασκευή σε κλίμακα ενός αντικειμένου που πρόκειται να κατασκευαστεί, όπως μια μακέτα ενός αρχιτέκτονα. Το “μοντέλο” αυτό μπορεί να αλλάξει έως ότου να βρεθεί η βέλτιστη εκδοχή του ή υπό το φως νέων ανακαλύψεων. Σε αυτή την περίπτωση όμως δεν είναι το μοντέλο που είναι αντίγραφο της πραγματικότητας αλλά η πραγματικότητα είναι αυτή που αντιγράφει το μοντέλο.

Στην έρευνα των Treagust, Chittleborough and Mamiala (2002) περίπου το 70% από τους 228 μαθητές (13-15 χρονών) επίσης συμφωνεί με τις δηλώσεις ότι «ένα μοντέλο αλλάζει όταν υπάρχουν νέα ευρήματα», «τα μοντέλα αλλάζουν αν νέες θεωρίες ή τεκμήρια

αποδείξουν κάτι διαφορετικό» ή «αν αλλάξουν τα δεδομένα ή οι πεποιθήσεις». Οι ερευνητές καταλήγουν στο, μάλλον υπερβολικό, συμπέρασμα ότι «οι μαθητές έχουν πλήρη κατανόηση του γεγονότος ότι τα μοντέλα αλλάζουν λόγω αλλαγών στην επιστημονική σκέψη». Το συμπέρασμα προκύπτει από τα αποτελέσματα δεδομένου ότι θεωρούμε πως μαθητές 13-15 χρονών κατανοούν τη σημασία των λέξεων «θεωρία», «τεκμήριο», «δεδομένα» και «πεποιθήσεις» στο πλαίσιο της επιστήμης, κάτι για το οποίο δεν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι. Το υψηλό ποσοστό συμφωνίας με τις προτάσεις είναι πιθανόν να εκφράζει μόνο τη συμφωνία των μαθητών με το πρώτο μέρος της δήλωσης, ότι δηλαδή ότι τα μοντέλα αλλάζουν, χωρίς απαραίτητα να κατανοούν την αλλαγή στο αφηρημένο πλαίσιο της αλλαγής της επιστημονικής σκέψης. Το πρόβλημα προκύπτει από τη φύση του εργαλείου που χρησιμοποιήθηκε, ένα ερωτηματολόγιο 27 ερωτήσεων σε 5βαθμια κλίμακα Likert και είναι μια εγγενής αδυναμία εργαλείων αυτού του τύπου. Επειδή οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους μόνο τις συγκεκριμένες δηλωτικές προτάσεις οι απαντήσεις τους εξαρτιόνταν από το βαθμό που οι μαθητές κατανοούσαν το νόημα των προτάσεων αλλά και των εννοιών που υπήρχαν σε αυτές. Οι ίδιοι οι ερευνητές εντόπισαν ένα τέτοιο πρόβλημα στην περίπτωση της λέξης «φαινόμενο». Οι τρεις προτάσεις που περιείχαν τον όρο παρουσίαζαν υψηλό ποσοστό απαντήσεων στη βαθμίδα 3, δηλαδή «δεν είμαι σίγουρος», γεγονός που και οι ίδιοι οι συγγραφείς ερμήνευσαν ως ελλιπή κατανόηση της έννοιας της λέξης.

Δύο άλλες παρατηρήσεις σε σχέση με τα συμπεράσματα της ίδιας έρευνας έχουν σχέση με διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις. Η πρώτη αφορά στα μοντέλα ως πολλαπλές αναπαραστάσεις. Οι ερευνητές, με βάση τις απαντήσεις των μαθητών στις προτάσεις του ερωτηματολογίου, ορθά συμπεραίνουν ότι «οι μαθητές αναγνωρίζουν ότι τα εναλλακτικά μοντέλα προσφέρουν μια ποικιλία από προοπτικές και τρόπους παρουσίασης» και ότι «τα πολλαπλά μοντέλα είναι χρήσιμα για να δείχνουν διαφορετικές προοπτικές, απόψεις και εκδοχές ενός αντικειμένου» (ό.π.) και θεωρούν ότι τα συμπεράσματά τους δεν συμφωνούν με αυτά των Grosslight et al (1991) που βλέπουν ότι «πολλοί λίγοι μαθητές έχουν κάποια ιδέα για τη σημασία των πολλαπλών μοντέλων». Οι Chittleborough, Treagust, Mamalia & Mocerino (2005) εξηγούν τη διαφορά στα αποτελέσματα ανάμεσα στις δύο έρευνες ως συνέπεια της «μεγαλύτερης ποικιλίας των αναπαραστάσεων και μοντέλων που είναι διαθέσιμα, ειδικά μέσω των νέων τεχνολογιών που επιτρέπουν την πιο συχνή χρήση πολλαπλών μοντέλων». Τι εννοούν όμως οι ίδιοι και τι αντιλαμβάνονται οι μαθητές ως «απόψεις», «προοπτικές» ή «εκδοχές» ενός «αντικειμένου»; Ο Treagust και οι συνεργάτες του φαίνεται ότι συστηματικά αντιλαμβάνονται την έννοια της πολλαπλότητας των

μοντέλων ως τους διαφορετικούς τρόπους αναπαράστασης της ίδιας ιδέας ή του ίδιου αντικειμένου, δηλαδή την «ποικιλότητα των τύπων των μοντέλων» (Chittleborough & Treagust, 2009). Αυτή η αντίληψη βρίσκεται σε διάσταση με αυτή της φιλοσοφίας, την οποία υιοθετούν και οι Grosslight et al (1991) όπου ως «πολλαπλά μοντέλα» θεωρούνται οι εναλλακτικές και ανταγωνιστικές εξηγήσεις φαινομένων που πολλές φορές οφείλονται και σε διαφορετικά εννοιολογικά πλαίσια. Συνεπώς, τα αποτελέσματα των δύο ερευνών δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα. Η πολλαπλότητα των μοντέλων ως εναλλακτικών εξηγήσεων άγνωστων φαινομένων απουσιάζει γενικότερα από τις σχετικές έρευνες για τις αντιλήψεις των μαθητών για τα μοντέλα.

Η δεύτερη αφορά στον επεξηγηματικό ρόλο των μοντέλων τον οποίο οι ερευνητές φαίνεται να ταυτίζουν με τον περιγραφικό. Από τον ψηλό βαθμό συμφωνίας των μαθητών στις προτάσεις «ένα μοντέλο μπορεί να είναι ένα διάγραμμα, μια ζωγραφιά, ένας χάρτης, μια γραφική παράσταση ή μια φωτογραφία», «τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να αναπαριστούν κάτι φυσικά ή οπτικά», «πολλά μοντέλα δείχνουν διαφορετικές πλευρές ή καταστάσεις ενός αντικειμένου», «ένα μοντέλο δείχνει τι κάνει και πώς είναι το πραγματικό αντικείμενο», «τα μοντέλα μπορεί να δείχνουν μια ιδέα» συμπεραίνουν ότι οι μαθητές «κατανοούν το ρόλο των μοντέλων ως επεξηγηματικών εργαλείων» τη στιγμή που οι περισσότεροι μαθητές διαφωνούν ή δεν είναι σίγουροι αν «τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να εξηγήσουν ένα επιστημονικό φαινόμενο». Οι πιο πολλές από αυτές τις προτάσεις συνάδουν με κάθε απεικόνιση και όχι μόνο με τις επιστημονικές αναπαραστάσεις. Η ταύτιση του περιγραφικού με τον επεξηγηματικό χαρακτήρα είναι λανθασμένη διότι ενώ μια οπτική απεικόνιση είναι οπωσδήποτε περιγραφική μια περιγραφή δεν είναι απαραίτητα επεξηγηματική, που είναι ένα από τα στοιχεία που διακρίνει τα επιστημονικά από τα άλλα είδη μοντέλων. Το συμπέρασμα που βγαίνει από τις απαντήσεις των μαθητών είναι μάλλον ότι αναφέρονται στο ρόλο των οπτικών αναπαραστάσεων και άλλων υλικών κατασκευών ως βοηθημάτων στη μάθηση παρά στο ρόλο των μοντέλων στην επιστήμη.

Αν και ο επεξηγηματικός χαρακτήρας των μοντέλων είναι σημαντικός, ο σημαντικότερος είναι ότι υποστηρίζουν τους συλλογισμούς και τη διατύπωση προβλέψεων. Ο ρόλος των μοντέλων στις προβλέψεις είτε απουσιάζει εντελώς από τις απαντήσεις των μαθητών (Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2004) είτε αναφέρεται από ελάχιστους μαθητές (Grosslight et al, 1991· Chittleborough et al, 2005· Krell, et al, 2012). Φαίνεται ότι οι μαθητές δύσκολα αντιλαμβάνονται αυτή τη λειτουργία πιθανόν διότι στη διδασκαλία αξιοποιείται κυρίως ο περιγραφικός χαρακτήρας των μοντέλων (Danusso, Testa & Vicentini, 2010).

5.1.1 Οι αντιλήψεις κυπρίων μαθητών για τα μοντέλα

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας διεξάχθηκε μια μικρής κλίμακας έρευνα για τις αντιλήψεις Κυπρίων μαθητών για τα μοντέλα.

Δείγμα: Το δείγμα αποτελούσαν 23 μαθητές, 13 ενός τμήματος επιλογής φυσικής και 10 ενός τμήματος επιλογής βιολογίας της Γ΄ τάξης Γενικού Λυκείου της Λευκωσίας στο οποίο υπηρετούσε η ερευνήτρια. Κανένας από τους συμμετέχοντες μαθητές δεν παρακολουθούσε και τα δύο μαθήματα επιλογής.

Εργαλείο και μέθοδος: Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα ερωτηματολόγιο δεκατριών (13) ερωτήσεων ανοικτού τύπου το οποίο διαμορφώθηκε με βάση την έρευνα των Grosslight et al (1991). Το ερωτηματολόγιο ήταν χωρισμένο σε πέντε μέρη στα οποία οι μαθητές απαντούσαν διαδοχικά και αφού είχαν ολοκληρώσει και επιστρέψει στην ερευνήτρια το προηγούμενο μέρος. Αυτό έγινε ώστε οι μαθητές να μην αλλάζουν τις προηγούμενες απαντήσεις τους καθώς οι ερωτήσεις γινόντουσαν σταδιακά πιο συγκεκριμένες. Πριν απαντήσουν στις ερωτήσεις οι μαθητές έγραφαν σε κατάλληλο χώρο τα υπόλοιπα μαθήματα επιλογής τους. Στο πρώτο μέρος οι μαθητές καλούνταν να περιγράψουν τι νομίζουν ότι είναι μοντέλο, να αναφέρουν παραδείγματα μοντέλων και να εξηγήσουν ποιος νομίζουν ότι είναι ο σκοπός των μοντέλων. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάστηκαν στους μαθητές πέντε «αντικείμενα», ένα αεροπλάνο-παιχνίδι, η φωτογραφία ενός σπιτιού, ένας χάρτης του υπόγειου σιδηρόδρομου της Αθήνας, ένα διάγραμμα του κύκλου του νερού και μια εικόνα στην οποία αναγραφόταν η καταστατική εξίσωση των ιδανικών αερίων συνοδευόμενη από την ερμηνεία των όρων της (τα ιδανικά αέρια δεν είναι μέρος του αναλυτικού της φυσικής στην Κύπρο). Το τρίτο μέρος αφορούσε στα κριτήρια για την κατασκευή μοντέλων. Στην τελευταία ερώτηση αυτού του μέρους οι μαθητές έπρεπε να αναφέρουν αν πίστευαν ότι χρησιμοποιούνται μοντέλα στην επιστήμη και να εξηγήσουν την απάντησή τους. Στο τέταρτο μέρος οι μαθητές έπρεπε να αναφέρουν αν χρησιμοποίησαν μοντέλα σε κάποιο από τα διδακτικά αντικείμενα του σχολείου και να αναφέρουν κάποια από αυτά τα μοντέλα. Το πέμπτο και τελευταίο μέρος του ερωτηματολογίου ξεκινούσε με τη δήλωση ότι «οι επιστήμονες χρησιμοποιούν μοντέλα στο πλαίσιο της έρευνάς τους» και αποτελείτο από δύο ερωτήσεις που αφορούσαν στη δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων και στα πολλαπλά μοντέλα αντίστοιχα. Στο τέλος οι μαθητές θα έπρεπε να αναφέρουν παραδείγματα επιστημονικών μοντέλων, αν γνώριζαν κάποια.

Αποτελέσματα: Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα ήταν σε συμφωνία με αυτά των Grosslight et al (1991). Οι αυθόρμητες αρχικές απαντήσεις σχεδόν όλων των μαθητών για το τι είναι μοντέλο περιλάμβαναν πρόσωπα και αντικείμενα, όπως και στην έρευνα των Grosslight et al, με τη διαφορά ότι στα αντικείμενα εκτός από τα αυτοκίνητα και τα αεροπλάνα συμπεριλαμβάνονταν και καταναλωτικά προϊόντα που δεν υπήρχαν την εποχή της αρχικής έρευνας, όπως οι τύποι των έξυπνων τηλεφώνων, χαρακτηριστικό της έντονης κοινωνικής επίδρασης στις απαντήσεις των μαθητών. Μόνο μια μαθήτρια ανέφερε τα «επιστημονικά και τα οικονομικά μοντέλα» ως παραδείγματα μοντέλων. Ως σκοπό των μοντέλων θεωρούσαν την επίδειξη του πώς είναι κάτι ή το πώς θα είναι ένα αντικείμενο όταν κατασκευαστεί. Οι μαθητές που είχαν επιλέξει και το μάθημα της τεχνολογίας χρησιμοποιούσαν ως παραδείγματα τις μακέτες που κατασκεύαζαν στο μάθημα της τεχνολογίας, ενώ οι μαθητές της βιολογίας τα φυσικά μοντέλα των μερών του ανθρώπινου σώματος που χρησιμοποιούν στο μάθημα. Για τους πρώτους ο σκοπός του μοντέλου ήταν ο έλεγχος και η βελτίωση της λειτουργίας της μελλοντικής κατασκευής ενώ για τους δεύτερους η μεταφορά και η κατανόηση της γνώσης για το συγκεκριμένο αντικείμενο. Μόνο μία μαθήτρια της φυσικής αναφέρθηκε στη σχέση του μοντέλου με επεξηγηματικές υποθέσεις για το υπό μελέτη φαινόμενο.

Στο δεύτερο μέρος όλοι χαρακτήρισαν ως μοντέλο το παιχνίδι-αεροπλάνο και επτά (30%) χαρακτήρισαν μόνο αυτό ως μοντέλο. Το κυρίαρχο κριτήριο για το χαρακτηρισμό των περισσότερων από τα «αντικείμενα» ήταν αν ήταν αντίγραφο σε μικρότερη κλίμακα ή προσομοιώσεις υπαρκτών αντικειμένων ή προσχέδια για τέτοια αντικείμενα. Κάποιοι ανέφεραν τη χρησιμότητά τους για σκοπούς επίδειξης ενώ μόνο τρεις αναφέρθηκαν στη δυνατότητά τους να περιγράψουν τη λειτουργία αυτού που αναπαριστούν. Λίγοι μαθητές στην περίπτωση του χάρτη έκαναν λόγο για συμβολική αναπαράσταση της πραγματικότητας («δείχνει συμβολικά τη διαδρομή» ή «είναι μια μικρογραφία», ή διότι «είναι απόλυτα αληθής»). Στην περίπτωση το κύκλου του νερού δεκατέσσερις μαθητές είπαν ότι δεν είναι μοντέλο, μεταξύ άλλων επειδή «δεν το έφτιαξε ο άνθρωπος και δεν μπορεί να βελτιωθεί», «απλώς εξηγεί πώς γίνεται η βροχή», «το φαινόμενο συμβαίνει ούτως ή άλλως» ή, «είναι απλά ένα σχεδιάγραμμα».

Όσον αφορά στην καταστατική εξίσωση των αερίων, που ήταν ένα στοιχείο που δεν υπήρχε στην αρχική έρευνα, πέντε από τους μαθητές της βιολογίας τη χαρακτήρισαν ως μοντέλο με έναν να αιτιολογεί ότι «με αυτή βρίσκουμε την κατάσταση των αερίων» ενώ κάποιες εξηγήσεις για τις αρνητικές απαντήσεις ήταν: «είναι απλά ένας μαθηματικός τύπος», «έχει σταθερή τιμή», «μας δείχνει απλώς τη συμπεριφορά που έχει ή θα έπρεπε να έχει κάποιο

αέριο», «απλώς τον εφαρμόζουμε διότι δεν μπορούμε από αυτόν να βελτιώσουμε κάτι». Από την ομάδα της φυσικής μόνο τρεις από τους μαθητές τον χαρακτήρισαν ως μοντέλο «διότι αν τον εφαρμόσουμε υπολογίζουμε τα ιδανικά αέρια» ενώ οι αρνητικές απαντήσεις στηρίζονταν στο σκεπτικό ότι μια μαθηματική σχέση δεν μπορεί να είναι μοντέλο, αντίληψη που είναι συνεπής με μια υλιστική αντίληψη για τα μοντέλα.

Αυτές οι αντιλήψεις προέρχονται τόσο από το πολιτισμικό περιβάλλον όσο και από την εκπαίδευση, όπως φαίνεται και από τις απαντήσεις των μαθητών στο τρίτο και στο πέμπτο μέρος του ερωτηματολογίου. Οι μαθητές ανέφεραν ότι χρησιμοποιούσαν μοντέλα στη βιολογία (του ανθρώπινου σώματος και των μερών του, του DNA), στην τεχνολογία (τις κατασκευές σε κλίμακα), στη χημεία (τα φυσικά μοντέλα της δομής των μορίων), στα μαθηματικά (τα γεωμετρικά στερεά) και στα θρησκευτικά (τις εικόνες των διαφόρων τύπων εκκλησιών). Οι μαθητές της φυσικής ταύτιζαν τα μοντέλα με το σχεδιασμό και τη διεξαγωγή των πειραμάτων ή τις επιδείξεις φυσικών φαινομένων στο εργαστήριο, ως μικρογραφίες των φυσικών φαινομένων, όπως η συμβολή κυμάτων στο δοχείο νερού) ή τα μοντέλα γεφυρών σε κλίμακα για τον έλεγχο της συμπεριφοράς γεφυρών στις δονήσεις, τα υλικά ή τα όργανα που χρησιμοποιούσαν στα εργαστήρια της φυσικής, όπως αμαξίδια, αμπερόμετρα κ.ά.

Αναφορικά με την πολλαπλότητα και τη δυνατότητα αλλαγής των μοντέλων όλοι απάντησαν θετικά αλλά συνήθως συσχέτιζαν και τα δύο με τις εξελίξεις στην τεχνολογία ή με την προσπάθεια βελτίωσης μιας κατασκευής, κυρίως στην ομάδα της βιολογίας. Από την ίδια ομάδα μόνο ένας μαθητής ανέφερε τα πολλαπλά μοντέλα ως διαφορετικές ιδέες που μπορούν να εξεταστούν. Αυτές οι ιδέες ήταν κυρίαρχες και στους μαθητές της φυσικής αλλά υπήρχαν μικρές διαφοροποιήσεις. Δύο μαθητές συνέδεσαν την αλλαγή των μοντέλων με την ανακάλυψη, ενώ άλλοι με τα πειράματα και με την εξαγωγή των σωστών συμπερασμάτων.

Περιορισμοί της έρευνας. Τα αποτελέσματα της έρευνας δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά των κυρίων μαθητών, όχι μόνο λόγω το μικρού δείγματος αλλά και διότι οι μαθητές προέρχονταν από το ίδιο σχολείο. Δύο άλλοι περιορισμοί είναι ότι οι ερωτήσεις ήταν διατυπωμένες σε ένα γενικό επίπεδο και όχι εντός ενός συγκεκριμένου νοητικού πλαισίου εφαρμογής και ότι στους μαθητές δεν διατυπώθηκε από την αρχή το θέμα της έρευνας. Η επιλογή αυτή έγινε ώστε οι μαθητές να διατυπώσουν αυθόρμητα τις πρώτες σκέψεις τους για το περιεχόμενο της λέξης μοντέλο. Όμως το ερωτηματολόγιο χορηγήθηκε και στις δύο ομάδες στη διδακτική περίοδο του αντίστοιχου μαθήματος, ειδικά για την ομάδα της φυσικής από τη διδάσκουσα στο τμήμα και έγινε σαφές από την αρχή ότι τα ερωτηματολόγια ήταν μέρος της διδασκαλίας του συγκεκριμένου μαθήματος στην

προσπάθεια δημιουργίας ενός κατάλληλου πλαισίου σκέψης. Επίσης, οι ερωτήσεις γινόντουσαν σταδιακά πιο συγκεκριμένες τόσο όσον αφορά στις εκπαιδευτικές τους εμπειρίες όσο και στην επιστήμη. Τέλος, τα δύο ερωτήματα του τέταρτου μέρους που αφορούσαν σε παραδείγματα ή αναφορές στα μοντέλα στα διάφορα μαθήματα αφ' ενός περιόριζαν το πεδίο των απαντήσεων και αφ' ετέρου αποκάλυπταν τι είχαν στο μυαλό τους οι μαθητές όταν απαντούσαν στις ερωτήσεις.

5.1.2 Επίπεδα κατανόησης

Σε όλες τις έρευνες που προαναφέρθηκαν γίνεται μια προσπάθεια κατάταξης των μαθητών με βάση τις αντιλήψεις τους σε διάφορα επίπεδα κατανόησης των μοντέλων (Πίνακας 1). Η Grosslight και οι συνεργάτες της (1991) διακρίνουν τρία επίπεδα που είναι εννοιολογικά παράλληλα με αυτά των Carey, Evans, Honda, Jay, & Unger (1989) για τις αντιλήψεις των μαθητών αναφορικά με την απόκτηση επιστημονικής γνώσης. Οι Chittleborough et al, (2005) με ανάλογο σκεπτικό, χρησιμοποιούν την κατηγοριοποίηση των Songer & Linn (1991) για τις απόψεις των μαθητών για την επιστήμη και τις διακρίνουν σε στατικές, μικτές και δυναμικές. Οι αντιλήψεις, παρ' ότι φαίνεται να εξελίσσονται, δεν φτάνουν στο τελευταίο στάδιο στα γυμνασιακά χρόνια. Στον πίνακα 1 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα διάφορων ερευνών ως προς τα επίπεδα κατανόησης των μαθητών για τα μοντέλα. Με πλάγια γραφή εμφανίζεται ο χαρακτηρισμός του επιπέδου στη συγκεκριμένη έρευνα. Με βάση τα επίπεδα κατανόησης, όπως περιγράφονται στον πίνακα 1, οι κύπριοι μαθητές που συμμετείχαν στην έρευνα ανήκουν στο πρώτο επίπεδο και λίγοι βρίσκονται μεταξύ των επιπέδων A και B.

Σε πιο πρόσφατες έρευνες η δυνατότητα περιγραφής τέτοιων γενικών επιπέδων κατανόησης για τα μοντέλα τίθεται σε αμφισβήτηση. Οι Krell, zu Belzen & Krüger (2014) παρατηρούν ότι τα συμπεράσματα των ερευνών για την κατανόηση των μαθητών για τα μοντέλα είναι αμφίσημα ως προς το αν τα επίπεδα είναι γενικά ή εξαρτώνται από την πτυχή στην κατανόηση του μοντέλου καθώς υπάρχουν και έρευνες που δεν μπορούσαν να κατατάξουν τους συμμετέχοντες στο ίδιο επίπεδο σε όλες τις πτυχές (Crawford & Cullin 2005· Justi & Gilbert, 2003). Ως απάντηση σε αυτό το πρόβλημα εισηγούνται ένα πιο πολύπλοκο θεωρητικό πλαίσιο ανάλυσης το «μοντέλο γνώσης για τα μοντέλα». Το μοντέλο τους προβλέπει επίσης πέντε πτυχές (φύση, πολλαπλότητα, σκοπός έλεγχος και αλλαγή των μοντέλων) και τρία επίπεδα κατανόησης ανά πτυχή το οποίο ισχυρίζονται ότι επιτρέπει μια πιο ακριβή ανάλυση των αντιλήψεων των μαθητών για τα μοντέλα.

Επίπεδα Έρευνες	A	B	Γ
Grosslight et al (1991)	(I) αντίγραφα της πραγματικότητας, δείχνουν πώς είναι ή τι κάνει το αντικείμενο	(II) αναπαραστάσεις της πραγματικότητας που μεταφέρουν πληροφορία. Διαφορετικά μοντέλα είναι διαφορετικές χωροχρονικές όψεις του αντικειμένου.	(III) κατασκευάζονται για την παρουσίαση ιδεών οι οποίες ελέγχονται με τη διαχείριση του μοντέλου
Chittleborough et al (2005)	Στατική Μοναδικά, αληθή και αμετάβλητα αντίγραφα της πραγματικότητας	Μικτή Περιλαμβάνει στοιχεία και από τις δύο ομάδες αντιλήψεων	Δυναμική Αναπαραστάσεις ιδεών που εξηγούν τα φαινόμενα και που αλλάζουν με το χρόνο
Krell et al (2012)	(I) περιγράφουν το πραγματικό	(II) εξηγούν το πραγματικό	(III) προβλέπουν για το πραγματικό

Πίνακας 1: Επίπεδα κατανόησης των μαθητών για τα μοντέλα σε διάφορες έρευνες

Το επίπεδο κατανόησης φαίνεται επίσης να επηρεάζεται από το είδος των ερωτήσεων και από το επιστημονικό αντικείμενο. Οι Krell, et al (2012) βρήκαν ότι το επίπεδο κατανόησης των μαθητών για τα μοντέλα στη βιολογία φαίνεται να είναι ψηλότερο όταν οι ερωτήσεις αφορούν σε συγκεκριμένα μοντέλα (*contextualised tasks*), αν και όχι το ίδιο για όλα τα παραδείγματα μοντέλων, από αυτό που προκύπτει από ερωτήσεις για τα μοντέλα σε ένα αφηρημένο επίπεδο (*decontextualized tasks*). Αυτό το εύρημα έθεσε και σε αμφισβήτηση τα αποτελέσματα ερευνών όπως αυτές των Grosslight et al (1991) και Treagust et al (2002)

επειδή ακριβώς γίνονται εκτός πεδίου εφαρμογής (“contextual vacuum”), και δεν μπορούμε αν γνωρίζουμε τι είχαν οι μαθητές στο μυαλό τους όταν απαντούσαν στις ερωτήσεις (Guerra-Ramos, 2012). Κάποιοι μαθητές μπορεί να είχαν πιο επεξεργασμένες αντιλήψεις σε πιο συγκεκριμένα νοητικά πλαίσια αλλά να μην μπορούσαν να τις εκφράσουν σε ένα γενικότερο επίπεδο (Sins, Savelsberg, van Joling & van Hout-Wolters, 2009). Οι τελευταίοι αξιολόγησαν τις επιστημολογικές αντιλήψεις των μαθητών μετά από ένα έργο μοντελοποίησης για την τριβή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και τα αποτελέσματα έδειξαν ψηλότερα επίπεδα κατανόησης από αυτά των αρχικών ερευνών. Μια ερμηνεία για τη διαφορά αυτή είναι ότι το συγκεκριμένο έργο διευκόλυνε τους μαθητές διότι λειτουργούσε ως πλαίσιο για τις απαντήσεις τους (Krell, Reinisch & Krüger, 2015). Είναι πιθανό όμως είτε το έργο να συνεισέφερε στην αλλαγή κάποιων αντιλήψεων των μαθητών είτε κάποιοι μαθητές να είχαν, εξ’ αρχής, πιο επεξεργασμένες αντιλήψεις οι οποίες και τους βοήθησαν να διεκπεραιώσουν το έργο. Αυτή η τελευταία συνάδει και με τα αποτελέσματα της έρευνας για τη σχέση των επιστημολογικών αντιλήψεων των μαθητών με το βάθος της γνωστικής επεξεργασίας κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης (Sins et al. 2009). Στις βαθύτερες γνωστικές επεξεργασίες οι ερευνητές ενέτασσαν τη συσχέτιση ιδεών, την αναζήτηση μοτίβων και αρχών και την ενσωμάτωση νέας με την υπάρχουσα επιστημονική γνώση και την εμπειρία. Ως επιφανειακή γνωστική επεξεργασία χαρακτήριζαν τη απλή συγκέντρωση πληροφοριών από την οποία απουσίαζε η σύνδεση των πληροφοριών αυτών μεταξύ τους και με την υπάρχουσα γνώση. Οι διαδικασίες αυτές χαρακτηρίζονταν από έλλειψη αναστοχασμού και από αναφορές μόνο στην καθημερινή εμπειρία. Η συσχέτιση βρέθηκε να είναι θετική με τις βαθύτερες γνωστικές επεξεργασίες και αρνητική με επιφανειακές γνωστικές επεξεργασίες.

Αναφορικά με το επιστημονικό αντικείμενο, οι αντιλήψεις των μαθητών της φυσικής, της χημείας και της βιολογίας για τα μοντέλα βρίσκονται σε ελαφρώς διαφορετικά επίπεδα (Gobert, O’ Dwyer, Horwitz, Buckley, Levy & Wilenky, 2011), με τους μαθητές της βιολογίας να διατηρούν σε μεγαλύτερο ποσοστό την αντίληψη ότι τα μοντέλα έχουν έναν περιγραφικό ρόλο ενώ κάποιοι μαθητές της χημείας και της φυσικής αντιλαμβάνονται και το ρόλο των μοντέλων στις εξηγήσεις και στις προβλέψεις για το φυσικό σύστημα (Krell, et al, 2015). Μια πιθανή ερμηνεία των διαφορών είναι ότι απορρέουν από τον διαφορετικό τρόπο χρήσης των μοντέλων στη διδασκαλία στα αντίστοιχα μαθήματα και τα συμπεράσματα που απορρέουν από τις διδακτικές δραστηριότητες. Μπορεί όμως να οφείλονται και στο περιεχόμενο του διδακτικού αντικειμένου αφού στη χημεία και ειδικά

στη φυσική οι μαθητές έχουν πιο συχνά να αντιμετωπίσουν αφηρημένες έννοιες και διαδικασίες.

Συνοψίζοντας τις αντιλήψεις των μαθητών για τα μοντέλα, βλέπουμε ότι οι μαθητές ταυτίζουν τα μοντέλα με υλικές κατασκευές σε κλίμακα που αναπαριστούν άλλα γνωστά αντικείμενα ή διαδικασίες αντί με αφηρημένες νοητικές κατασκευές που αναπαριστούν υποθέσεις και που έχουν στόχο να εξηγήσουν άγνωστα φαινόμενα ή καταστάσεις του φυσικού κόσμου. Για αυτό και βλέπουν το ρόλο των μοντέλων να εστιάζεται κυρίως στην απεικόνιση και στην κατανόηση ή στη μεταφορά της υπάρχουσας γνώσης μέσω παρατήρησης του μοντέλου ή της χρήσης του ως παραδείγματος ή αναφοράς και πολύ λιγότερο, ή καθόλου, στην εξήγηση, στον έλεγχο υποθέσεων και στη διατύπωση προβλέψεων. Οι αναφορές κάποιων μεγαλύτερων μαθητών στη χρήση των μοντέλων για έλεγχο κάποιων ιδεών αφορούν κυρίως σε δοκιμές μετατροπών στις λειτουργίες μηχανικών συστημάτων. Αν και πιστεύουν ότι τα μοντέλα αλλάζουν από νέες ανακαλύψεις δεν θεωρούν ότι τα ίδια τα μοντέλα μπορεί να είναι μέρος αυτής της διαδικασίας ανακάλυψης. Όσο για την πολλαπλότητα των μοντέλων ακόμα και οι πιο επιτηδευμένες απόψεις αφορούν σε διαφορετικές εκδοχές ενός πραγματικού αντικειμένου ώστε «να δουλεύει καλύτερα» και όχι ως εναλλακτικές εξηγήσεις του υπό μελέτη φαινομένου. Οι απλοϊκές αυτές επιστημολογικές αντιλήψεις των μαθητών για τη φύση και το ρόλο των μοντέλων βελτιώνονται με την ηλικία και με τις εκπαιδευτικές εμπειρίες. Οι φοιτητές σε τμήματα επιστήμης φαίνεται να διαμορφώνουν πιο επεξεργασμένες αντιλήψεις και προς τη σωστή κατεύθυνση. Αναγνωρίζουν μια σχέση μεταξύ θεωριών και μοντέλων, μετακινούνται από την αντίληψη του μοντέλου ως μια κατασκευή σε κλίμακα στο ρόλο του ως αναπαράσταση και στο ρόλο των μοντέλων στην περιγραφή και διερεύνηση νέων ιδεών (Chittleborough, et al, 2005). Αυτό που φαίνεται να είναι πιο δύσκολο να κατανοήσουν είναι ο ρόλος των μοντέλων στις προβλέψεις και στις νέες ανακαλύψεις και το συμβολικό και αφηρημένο χαρακτήρα που έχουν κάποιοι τρόποι αναπαράστασης των ιδεών που εκφράζονται στα μοντέλα, όπως συμβαίνει με τη χρήση των μαθηματικών.

5.1.3 Μια άλλη ανάγνωση των αποτελεσμάτων των ερευνών

Το γενικό συμπέρασμα από την πιο πάνω επισκόπηση είναι ότι το επίπεδο κατανόησης των μαθητών για τα επιστημονικά μοντέλα είναι χαμηλό. Μια άλλη όμως ανάγνωση των δεδομένων είναι ότι οι μαθητές έχουν σωστές και συνεπείς αντιλήψεις για τα φυσικά μοντέλα σε κλίμακα και τις χρήσεις τους στην έρευνα, στη διδασκαλία ή στην καθημερινή ζωή. Τα επιστημονικά μοντέλα, αν και έχουν μερικά κοινά χαρακτηριστικά με κάποια μοντέλα σε κλίμακα δεν είναι αυτά τα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν επιστημονικά.

Έτσι, με κάποιο βαθμό βεβαιότητας, μπορούμε να πούμε ότι η εξοικείωση με το περιεχόμενο ενός επιστημονικού αντικειμένου και η συμμετοχή σε πειραματικές δραστηριότητες δεν οδηγεί αυτόματα και στην διαμόρφωση μιας πιο ενημερωμένης αντίληψης για το ρόλο και τη σημασία των μοντέλων στην επιστήμη. Οι αναφορές των μαθητών στις εκπαιδευτικές δραστηριότητες δείχνουν ότι οι μαθητές ενσωματώνουν αυτές τις εμπειρίες στο εννοιολογικό πλαίσιο που έχουν διαθέσιμο, που είναι αυτό των φυσικών μοντέλων σε κλίμακα. Αυτό δείχνει ότι για να έχουν οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες το επιθυμητό αποτέλεσμα αναφορικά με τις επιστημολογικές αντιλήψεις των μαθητών θα πρέπει να εντάσσονται στο κατάλληλο θεωρητικό πλαίσιο.

Αν θεωρούμε ότι η γνώση για τα *επιστημονικά μοντέλα* είναι σημαντική για την απόκτηση από τους μαθητές μιας πιο αυθεντικής εικόνας για την επιστήμη, τις μεθόδους της και την επιστημονική γνώση, τότε η διδασκαλία των επιστημονικών μοντέλων θα πρέπει να αποτελέσει και μέρος του περιεχομένου του αναλυτικού προγράμματος των φυσικών επιστημών. Ειδικότερα στη φυσική, στα μοντέλα της οποίας κάποια χαρακτηριστικά των επιστημονικών μοντέλων, όπως η εξιδανίκευση και η μαθηματικοποίηση, είναι ιδιαίτερα εμφανή υπάρχει το πλεονέκτημα ότι μοντέλα στα οποία υποδειγματοποιούνται τα χαρακτηριστικά των μοντέλων περιλαμβάνονται στα αναλυτικά και μπορούν να αξιοποιηθούν για σχετικές με τα μοντέλα διδακτικές δραστηριότητες.

5.2 Αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τα επιστημονικά μοντέλα

Οι έρευνες για την καταγραφή των ιδεών των μαθητών για τα μοντέλα ξεκίνησαν στο πλαίσιο της προσπάθειας διαμόρφωσης έγκυρων επιστημολογικών αντιλήψεων μέσα από τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Σε αυτό το πλαίσιο οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών είναι ίσως περισσότερο σημαντικές καθώς είναι αυτοί που καλούνται να εφαρμόσουν τις διδακτικές πρακτικές για την επίτευξη αυτού του στόχου. Αυτό απαιτεί, πρώτα απ' όλα, επιστημολογικά ενήμερους εκπαιδευτικούς οι οποίοι θα μπορέσουν να εφαρμόσουν αποτελεσματικά τις όποιες σχετικές αλλαγές στο περιεχόμενο ή τους στόχους των αναλυτικών προγραμμάτων. Τα ερωτήματα που εγείρονται με αυτή την προοπτική είναι: (α) ποιες είναι οι αντιλήψεις των εκπαιδευτικών για τα μοντέλα; (β) υπάρχουν διαφορές σε αυτές ανάμεσα σε εκπαιδευτικούς στις διάφορες βαθμίδες και στις διάφορες ειδικότητες; (γ) πώς μπορούν αυτές να βελτιωθούν και να προσαρμοστούν στις νέες ανάγκες; Εδώ θα απαντήσουμε στα δύο πρώτα ερωτήματα.

Από τις έρευνες που έχουν διεξαχθεί σχετικά με το πρώτο ερώτημα φαίνεται ότι οι εκπαιδευτικοί γενικά έχουν μια επαρκή αντίληψη αναφορικά με το τι είναι ένα μοντέλο.

Αντιλαμβάνονται τα μοντέλα ως απλοποιημένες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας που μπορούν να παρουσιαστούν με πολλούς τύπους αναπαράστασης, μεταξύ των οποίων και τη μαθηματική περιγραφή. Αναγνωρίζουν τη σχέση μεταξύ μοντέλου και στόχου και το ρόλο τους στην παρατήρηση και την κατανόηση (Grosslight et al, 1991· van Driel & Verloop, 1999· Justi & Gilbert, 2003, Danusso et al, 2010). Στις άλλες πτυχές που εξετάζονται αναφορικά με τα μοντέλα οι αντιλήψεις φαίνεται να είναι πιο ελλιπείς και ασυνεπείς. Κάποιοι αναγνωρίζουν τη δυνατότητα ύπαρξης ανταγωνιστικών μοντέλων ως εναλλακτικές εξηγήσεις αυτού που αναπαριστούν και την αλλαγή των μοντέλων ως αλλαγή στον τρόπο που ο επιστήμονας ερμηνεύει την πραγματικότητα (Grosslight et al, 1991). Αν και περιγράφουν την κατασκευή των μοντέλων ως μια νοητική διαδικασία που απαιτεί δημιουργικότητα και φαντασία δεν κάνουν συχνά αναφορά στη χρήση τους ως εργαλεία για την απόκτηση πληροφορίας για το στόχο ή για τη διατύπωση προβλέψεων (van Driel & Verloop, 1999). Σε πολλές περιπτώσεις γινόταν αναφορά μόνο σε ποιοτικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας των μοντέλων, όπως το να είναι «σαφή και κατανοητά» (Danusso et al, 2010). Όπως και στις περιπτώσεις των ιδεών των μαθητών, κάποιοι ερευνητές σημειώνουν ότι δεν ήταν δυνατόν να καθορίσουν γενικά επίπεδα γνώσης των εκπαιδευτικών για τα μοντέλα (Justi & Gilbert, 2003).

Σε κάποιες έρευνες αναδεικνύεται μια εξάρτηση των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών για τα μοντέλα από την επιστημονική ειδικότητα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων στην έρευνα των Van Driel και Verloop (1999) έδειξε ότι οι εκπαιδευτικοί με ειδίκευση στη χημεία διατηρούσαν σε μεγαλύτερο ποσοστό από αυτούς της φυσικής την αντίληψη ότι η αξιολόγηση των μοντέλων γίνεται με κριτήριο την αλήθεια τους και όχι τη χρησιμότητά τους ενώ το ποσοστό των εκπαιδευτικών με ειδίκευση στη βιολογία ήταν ενδιάμεσο των δύο αυτών ομάδων. Οι Justi και Gilbert (2003) των οποίων το δείγμα αποτελείτο από εκπαιδευτικούς με ειδίκευση στη φυσική, τη χημεία και τη βιολογία, βρήκαν πιο εμφανείς διαφορές. Οι φυσικοί και οι χημικοί ήταν αυτοί που είχαν πιο περιεκτικές και συνεπείς αντιλήψεις για τα μοντέλα. Στη μεγάλη τους πλειοψηφία περιέγραφαν τα μοντέλα ως αναπαραστάσεις ιδεών ενώ όλοι οι φυσικοί και το 86% των χημικών ανέφεραν το ρόλο τους στις προβλέψεις. Αντίθετα, οι εκπαιδευτικοί της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης διατηρούσαν τις πιο απλοϊκές αντιλήψεις για τα μοντέλα, συνήθως στενά συνδεδεμένες με την καθημερινή έννοια της λέξης. Υποστήριζαν ότι τα μοντέλα είναι αντίγραφα της πραγματικότητας (80%), είναι πρότυπα που πρέπει να ακολουθούνται (75%), δεν αναπαριστούν ιδέες (50%), είναι μοναδικά (25%) δεν αλλάζουν (50%) και ότι η αναγνώρισή τους οφείλεται στο πρόσωπο που το κατασκευάζει. Παραδόξως όμως αναγνώρισαν το ρόλο

των μοντέλων στις προβλέψεις (50%). Παρόμοια αποτελέσματα με λίγο πιο βελτιωμένα ποσοστά προέκυψαν και από την ομάδα των βιολόγων.

Σε συμφωνία με τα πιο πάνω βρίσκονται και τα ευρήματα άλλων ερευνών με προπτυχιακούς φοιτητές της πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης (Νικολάου & Κωνσταντίνου, 2006). Αυτοί πίστευαν ότι για την κατασκευή ενός μοντέλου είναι απαραίτητη η πλήρης κατανόηση σε σχέση με αυτό που αναπαριστά και ότι η εγκυρότητά του καθορίζεται και από τον αριθμό των πληροφοριών που περιέχει. Η αντίληψη αυτή ταυτίζεται με την άποψη ότι το μοντέλο είναι αντίγραφο του υπό μελέτη συστήματος που εποπτικοποιεί την πραγματικότητα. Συνέπεια αυτής της αντίληψης είναι ότι αξιολογούσαν ένα μοντέλο με κριτήριο την ομοιότητα των επιφανειακών του χαρακτηριστικών με αυτά του πραγματικού συστήματος και όχι με βάση την αναπαράσταση του τρόπου λειτουργίας. Αυτή η προσέγγιση τους εμπόδιζε να αντιληφθούν την κυκλική διαδικασία που απαιτείται για τη βελτίωση του μοντέλου με τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της λειτουργίας του μοντέλου με αυτά του πραγματικού συστήματος.

Αυτές οι επιστημολογικές αντιλήψεις και ασυνέπειες που παρουσιάζονται στο μεγαλύτερο αριθμό των μάχιμων και υποψήφιων εκπαιδευτικών πιθανόν να μεταφέρονται και στην τάξη συνεισφέροντας στη διατήρηση των αρχικών αντιλήψεων των μαθητών για τα μοντέλα ή διαμόρφωση άλλων εσφαλμένων αντιλήψεων.

5.3 Τι λένε οι επιστήμονες

Σε συμφωνία με τις κυρίαρχες μοντελοκεντρικές αναλύσεις της επιστήμης από τη φιλοσοφία, οι επιστήμονες περιγράφουν την ερευνητική τους δουλειά στη βάση της χρήσης μοντέλων, αν και όχι όλοι με τον ίδιο τρόπο. Κάποιοι περιγράφουν την ερευνητική τους δουλειά αποκλειστικά ως κατασκευή μοντέλων ενώ άλλοι ως τη χρήση υφιστάμενων μοντέλων (Van Der Valk, Van Driel, & De Vos, 2007). Σύμφωνα με έναν αστροφυσικό «ουσιαστικά όλη η φυσική... είναι στην πραγματικότητα μια συνεχής κατασκευή μοντέλων» ενώ ένας ειδικός στη σωματιδιακή φυσική σημειώνει ότι σήμερα «υπάρχει μεγαλύτερη επίγνωση της χρήσης των μοντέλων» από ότι στις προηγούμενες γενιές φυσικών (Bailer-Jones, 2002).

Στη σχετική βιβλιογραφία το ερώτημα που έχει το μεγαλύτερο εύρος απαντήσεων είναι αυτή που αφορά στο τι είναι μοντέλο. Οι επιστήμονες ορίζουν τα μοντέλα ως περιγραφές ή εξηγήσεις καταστάσεων ή συστημάτων που βοηθούν στην κατανόησή τους, ως τρόπους οργάνωσης της πληροφορίας, ως μέσο με το οποίο συγκεκριμενοποιούνται αφηρημένες έννοιες (Schwartz & Lederman, 2005), ως προσομοιώσεις διαδικασιών (Van Der Valk, et

al, 2007) ως υποθέσεις ή ως απλοποιημένες περιγραφές των υπό μελέτη συστημάτων (Schwartz & Lederman, 2005· Bailer-Jones, 2002). Πολλοί σημειώνουν επίσης τη σημασία της μαθηματική διατύπωσης των μοντέλων για την ποσοτικοποίηση των συμπερασμάτων ενώ μερικοί ταυτίζουν ένα μοντέλο με το μαθηματικό του φορμαλισμό (Schwartz & Lederman, 2005, Karnaou, Nicolaou, & Constantinou, 2015). Αυτοί οι ορισμοί, παρά τις διαφορές τους, δεν είναι αντικρουόμενοι, αντίθετα, σε κάποιες περιπτώσεις είναι μάλλον συμπληρωματικοί μεταξύ τους. Για παράδειγμα ένα μοντέλο είναι μια υπόθεση για την εξήγηση ενός φαινομένου βάσει της οποίας μπορούν να οργανωθούν κάποιες παρατηρήσεις και η οποία περιγράφεται από μια μαθηματική εξίσωση. Ένας αστρονόμος μάλιστα είπε ότι δεν μπορούσε δώσει έναν ορισμό αλλά έδωσε μια πολύ περιεκτική περιγραφή για το ρόλο του μοντέλου στη μεθοδολογία της επιστήμης λέγοντας ότι «ένα μοντέλο είναι ο τρόπος που “στήνεις” ένα πρόβλημα για να το μελετήσεις» (Bailer-Jones, 2002). Το ερώτημα που προκύπτει αβίαστα από αυτή τη δήλωση είναι «πώς “στήνεις” το πρόβλημα;» ή με άλλα λόγια «πώς κατασκευάζεται ένα μοντέλο;». Οι περισσότεροι επιστήμονες συμφωνούν ότι τα μοντέλα δεν περιγράφουν τα συστήματα σε όλη τους τη λεπτομέρεια (Schwartz & Lederman, 2005· Bailer-Jones, 2002· Der Valk et al, 2007). Στα μοντέλα περιλαμβάνονται τα στοιχεία εκείνα που ο επιστήμονας πιστεύει ότι είναι πιο σημαντικά στη διαδικασία επιλέγοντας τα από γνωστές αρχές και νόμους για να δείξει πώς αυτά είναι δυνατόν να συνεργούν ώστε να προκύπτουν τα εμπειρικά τεκμήρια. Με αυτό τον τρόπο ένα μοντέλο επιτρέπει στον επιστήμονα να απομονώσει και να εξηγήσει κάποιες πτυχές ενός άγνωστου συστήματος. Τα στοιχεία που παραλείπονται είναι αυτά που αξιολογούνται ως άσχετα ή προβληματικά και ασφαλώς κάποιες παραλείψεις οφείλονται σε άγνοια (Bailer-Jones, 2002). Κάποιοι επιστήμονες σημειώνουν ότι ένας λόγος των απλοποιήσεων ή των προσεγγίσεων είναι να γίνουν οι εξισώσεις που περιγράφουν τα μοντέλα μαθηματικά επιλύσιμες (Schwartz & Lederman, 2005). Σε πιο εμπειρικές επιστήμες τα μοντέλα μπορεί να έχουν ως αφετηρία τα δεδομένα, όπως στη φυσική της ατμόσφαιρας ή στη βιοχημεία (Schwartz & Lederman, 2005· Bailer-Jones, 2002). Σε αυτή την περίπτωση όταν τα δεδομένα φαίνεται να υπόκεινται σε κάποια σχέση και η σχέση επιβεβαιώνεται από στατιστικές αναλύσεις η σχέση ενσωματώνεται στο μοντέλο και γίνεται προσπάθεια να διατυπωθούν υποθέσεις για την υποκείμενη διαδικασία. Όπως παρατηρεί μια βιοχημικός στην έρευνα της Bailer-Jones (2002), αυτό το τελευταίο στάδιο είναι που εισαγάγει την αιτιότητα στα εμπειρικά/υπολογιστικά μοντέλα. Εκτός από αυτό όμως το νέο και πιο πολύπλοκο, μοντέλο περιλαμβάνει αιτιακές υποθέσεις που πιθανόν να μπορούν να ελεγχθούν πειραματικά συνήθως μέσω του πιο απλού μοντέλου και συνεπώς να υπάρχει ανατροφοδότηση μεταξύ των μοντέλων. Αν και όλα τα μοντέλα μπορούν να γίνουν πιο

πολύπλοκα, η πολυπλοκότητα δεν είναι πάντοτε το ζητούμενο διότι μπορεί να επιδράσει αρνητικά στη δυνατότητα του επιστήμονα να κάνει προβλέψεις με βάση το μοντέλο (Schwartz and Lederman, 2005). Σχεδόν ομόφωνα, οι επιστήμονες δηλώνουν ότι τα μοντέλα κατασκευάζονται για να οδηγούν σε προβλέψεις και αξιολογούνται από τη δυνατότητα αυτή αλλά και από το βαθμό στον οποίο αυτές οι προβλέψεις συμφωνούν με τα τεκμήρια (Schwartz & Lederman, 2005· Karnaou et al, 2015· Bailer-Jones, 2002· Der Valk et al, 2007). Τα τεκμήρια είναι τα πειραματικά αποτελέσματα, όπου αυτό είναι δυνατόν, όπως στη φυσική. Σε άλλες περιπτώσεις όμως οι πειραματικοί έλεγχοι είναι αδύνατοι, όπως στην περίπτωση της βιολογίας, της γεωλογίας ή της κοσμολογίας οπότε τα τεκμήρια προκύπτουν από μια νέα ματιά στο ιστορικό αρχείο ή νέες ανακαλύψεις και παρατηρήσεις (Bailer-Jones, 2002).

Οι περισσότεροι επιστήμονες συμφωνούν ότι τα μοντέλα αλλάζουν είτε διότι μπορεί να γίνονται πιο πολύπλοκα σε έναν κύκλο ελέγχου και βελτίωσης του μοντέλου με την πρόσθεση σε αυτά νέων παραμέτρων (Der Valk et al, 2007) είτε λόγω νέων δεδομένων που δεν μπορούν να εξηγηθούν από το μοντέλο (Schwartz & Lederman, 2005). Αντιμέτωποι με τέτοιες ανωμαλίες οι μισοί επιστήμονες δήλωσαν ότι θα βελτίωναν το υφιστάμενο μοντέλο ενώ πολύ λιγότεροι ότι θα κατασκεύαζαν ένα καινούργιο (Schwartz & Lederman, 2005).

Αναφορικά με τις απόψεις των επιστημόνων για τη σχέση των μοντέλων με τις άλλες δομές της επιστημονικής γνώσης, τις θεωρίες και τους νόμους, οι έρευνες δείχνουν ότι αυτές φαίνεται να ποικίλουν σημαντικά. Ένας φυσικός υποστήριζε ότι δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά ανάμεσα σε μια θεωρία και ένα μοντέλο. Άλλοι όμως διακρίνουν τις θεωρίες από τα μοντέλα, τοποθετώντας τις θεωρίες σε ένα ψηλότερο επίπεδο διότι είναι πιο γενικές από τα μοντέλα. Τα μοντέλα είναι εφαρμογές της θεωρίας σε συγκεκριμένες καταστάσεις και για αυτό περιλαμβάνουν εσκεμμένες απλοποιήσεις και παραλήψεις (Bailer-Jones, 2002· Schwartz & Lederman, 2005). Αντίθετα, ένας παλαιοντολόγος θεωρούσε ότι τα μοντέλα είναι υποθέσεις που γίνονται θεωρίες καθώς επιβιώνουν τους ελέγχους και αυξάνουν την επεξηγηματική τους ισχύ (Bailer-Jones, 2002) και, σύμφωνα με έναν εντομολόγο, μια επιτυχημένη θεωρία καθίσταται τελικά νόμος (Schwartz & Lederman, 2005). Αυτές οι σημαντικά διαφορετικές απόψεις πιθανότατα οφείλονται στις ιδιαιτερότητες των συγκεκριμένων επιστημονικών πεδίων τα οποία είναι περισσότερο περιγραφικά αφού τα συμπεράσματά τους προκύπτουν περισσότερο από την οργάνωση των παρατηρήσεων, οφείλονται δηλαδή ανωφερείς διαδικασίες, σε αντίθεση με τη φυσική η οποία βασίζεται σε ευρύτερα εννοιολογικά πλαίσια περιγραφής του κόσμου.

Ένα μοντέλο είναι μοντέλο για κάτι και οι περισσότεροι επιστήμονες χαρακτηρίζουν τη σχέση μεταξύ των δύο ως αναπαράσταση (Bailer-Jones, 2002) ή αποδέχονται αυτόν το χαρακτηρισμό (Der Valk et al, 2007) χωρίς όμως περισσότερες διευκρινίσεις³⁷. Άλλοι χρησιμοποίησαν χαρακτηρισμούς όπως το μοντέλο «φαίνεται το ίδιο» ή «αντιστοιχεί» σε αυτό που υπάρχει στην πραγματικότητα ή «εναρμονίζεται με την πραγματικότητα» τουλάχιστον σε κάποια χαρακτηριστικά που είναι σημαντικά, είναι δηλαδή ρεαλιστικό σε κάποιες πτυχές αλλά όχι σε άλλες. Αυτές οι απόψεις όμως αφήνουν ανοιχτό το πρόβλημα της σχέσης του μοντέλου με την πραγματικότητα, δηλαδή το ζήτημα του ρεαλισμού, του αντιρεαλισμού ή της εμπειρικής επάρκειας. Κατά την άποψη ενός αστρονόμου αν και ένα μοντέλο είναι διακριτό από την πραγματικότητα τη συναντά με τρεις τρόπους, (α) μέσω των υποθέσεων, που οφείλουν να είναι ρεαλιστικές, (β) μέσω των εισροών στο μοντέλο και (γ) μέσω των παρατηρήσεων και όσο αυτή η σύνδεση εξασφαλίζεται τόσο πιο “πραγματικό” μπορεί να θεωρηθεί το μοντέλο (Bailer-Jones, 2002). Αν και η σημασία που δίνουν οι επιστήμονες στη συμφωνία με τις παρατηρήσεις υπονοεί μόνο εμπειρική επάρκεια και οι εξιδανικεύσεις και οι απλοποιήσεις απομακρύνουν το μοντέλο από τον κόσμο, οι απόψεις των επιστημόνων φαίνεται να κλίνουν προς το ρεαλισμό. Αν και οι επιστήμονες διστάζουν να χαρακτηρίσουν τα μοντέλα ως αληθή ή ψευδή, σωστά ή λάθος, πραγματικά ή φανταστικά, όπως το θέτει ένας φυσικός στερεάς κατάστασης στη Bailer-Jones (2002) για έναν επιστήμονα «το ότι τα μοντέλα αφορούν στην πραγματικότητα είναι το ακατανίκητο κίνητρο» για την κατασκευή τους.

Σε γενικές γραμμές, όλοι οι επιστήμονες αναγνωρίζουν τη σημασία των μοντέλων στην ερευνητική τους δουλειά και όλοι τονίζουν το ρόλο τους στη διατύπωση προβλέψεων. Διαφορές εμφανίζονται στις απαντήσεις που δίνουν οι επιστήμονες στην ερώτηση τι είναι επιστημονικό μοντέλο. Οι διαφορές φαίνεται να οφείλονται στο επιστημονικό πεδίο, τον τομέα ειδίκευσης στο πεδίο αυτό και από την ερευνητική προσέγγιση στο αντικείμενο, αν δηλαδή είναι θεωρητική, πειραματική ή περιγραφική. Μια τέτοια περίπτωση είναι αυτή των θεωρητικών φυσικών στην έρευνα των Schwartz και Lederman (2005) οι οποίοι είναι η μόνη ομάδα που δεν θεωρούσε ότι οι σχέσεις που περιγράφει ένα μοντέλο πρέπει να οδηγούν σε προβλέψεις που μπορούν να ελεγχθούν και δεν συσχέτισαν τη χρήση του μοντέλου με την άρση των ανωμαλιών, στο βαθμό που το έκαναν οι άλλες ομάδες. Επίσης, οι περιγραφές των συμμετεχόντων δεν είναι τυπικά διατυπωμένες αλλά είναι περισσότερο αποστάγματα

³⁷ Όπως είδαμε, ούτε στη φιλοσοφία υπάρχει συμφωνία για έναν ορισμό της επιστημονικής αναπαράστασης.

της εμπειρίας τους. Είναι φανερό ότι οι επιστήμονες δεν διατυπώνουν κάποιες γενικές αρχές ειδικά για την κατασκευή των μοντέλων. Αυτό μπορεί να σημαίνει δύο πράγματα. Το πρώτο είναι ότι μπορεί να μην υπάρχουν τέτοιες γενικές αρχές αλλά η μεθοδολογία να καθορίζεται από τις καθιερωμένες σε ένα πεδίο πρακτικές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι στις περιγραφές που δίνουν διαφορετικοί επιστήμονες για την κατασκευή των μοντέλων σε κάποιες περιπτώσεις η κατασκευή ξεκινάει από τα δεδομένα και σε άλλες από κάποιες θεωρίες. Το δεύτερο είναι ότι λόγω του υψηλού βαθμού εξειδίκευσης στη σύγχρονη επιστήμη διαφορετικά χαρακτηριστικά των μοντέλων είναι περισσότερο εμφανή σε διαφορετικά πεδία της ερευνητικής δραστηριότητας.

Είναι σημαντικό ότι τα περισσότερα από τα στοιχεία που αναφέρονται στη βιβλιογραφία της διδακτικής των φυσικών επιστημών και που αφορούν στα μοντέλα και στη σχέση τους με την επιστημονική πρακτική καταγράφονται και στις αντιλήψεις των επιστημόνων. Η διαφορά είναι ότι ίσως αυτά τα χαρακτηριστικά να μην πρέπει να θεωρούνται ως καθολικά αλλά ως ενδεικτικά χαρακτηριστικά μιας επιστήμης βασισμένης στα μοντέλα.

Και η σχέση αυτών με όσα λέει η φιλοσοφία; Οι περισσότερες απαντήσεις στις πιο πάνω έρευνες δεν είναι και ίσως δεν θα έπρεπε να είναι, φιλοσοφικά προσανατολισμένες. Περιγράφουν τις ιδιαίτερες εμπειρίες του συγκεκριμένου επιστήμονα με τα συγκεκριμένα μοντέλα της έρευνάς του. Αν και δεν είναι ευθυγραμμισμένες με τις πιο κανονιστικές φιλοσοφικές προσεγγίσεις, όπως τη μοντελοθεωρητική προσέγγιση, ταιριάζουν με τις πιο πραγματιστικές αναλύσεις των μοντελοκεντρικών πρακτικών της επιστήμης, όπως αυτή των μοντέλων ως διαμεσολαβητών. Αυτό, για τη συγκεκριμένη ανάλυση, σημαίνει ότι πραγματικά αντικατοπτρίζει βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής πρακτικής αλλά και ταυτόχρονα προβλέπει και τα απαραίτητα περιθώρια ευελιξίας και δημιουργικότητας για να ενσωματώνει και τις λεπτές διαφορές που οφείλονται στις ιδιαιτερότητες κάθε επιστημονικού πεδίου ή εξειδίκευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως έγινε σαφές από όσα ειπώθηκαν κεφάλαιο 4 οι φιλοσοφικές και επιστημολογικές αναλύσεις για τα μοντέλα στην επιστήμη έχουν άμεση επίδραση στις εισηγήσεις στη διδακτική των φυσικών επιστημών και στις εισηγήσεις για πιο αποτελεσματικές διδακτικές διαδικασίες. Η θέση του υποστηρίζεται σε αυτή η εργασία είναι ότι στη διδασκαλία πρέπει να υιοθετηθεί μια μοντελοκεντρική προσέγγιση, αλλά ακόμη και στις περιπτώσεις που υιοθετούνται άλλες προσεγγίσεις, η έννοια του επιστημονικού μοντέλου πρέπει να περιλαμβάνεται στο περιεχόμενο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, διότι αυτή είναι απαραίτητη για αναστοχαστικές διαδικασίες που θα πρέπει να συνοδεύουν τις μαθησιακές δραστηριότητες. Μια τέτοια θέση μπορεί να υποστηριχθεί από επιχειρήματα που μπορούν να αντληθούν από τη φιλοσοφία, την επιστημολογία, την ψυχολογία και τη διδακτική και τα οποία θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

6.1 Επιχειρήματα από τη φιλοσοφία

Ότι η επιστήμη είναι ένα μοντελοκεντρικό εγχείρημα είναι η βάση όλων των σύγχρονων φιλοσοφικών αναλύσεων. Μια αυθεντική εικόνα της επιστήμης ως μιας ορθολογικής δραστηριότητας με την οποία οι επιστήμονες προσπαθούν να εξηγήσουν το φυσικό κόσμο και όχι ως ενός καταλόγου δογματικών αρχών και δεδομένων απαιτεί την περιγραφή των δραστηριοτήτων που την υποστηρίζουν. Η επιστημονική δραστηριότητα και οι διαδικασίες που την υποστηρίζουν είναι άρρηκτα συνυφασμένες με τα μοντέλα. Αν τα αναλυτικά προγράμματα στοχεύουν στην διαμόρφωση μιας αυθεντικής και πραγματιστικής εικόνας της επιστήμης, στόχος που ταυτίζεται με αυτόν της σύγχρονης φιλοσοφίας, τότε θα πρέπει να περιλαμβάνουν όχι μόνο τη διδασκαλία των μοντέλων, που αναπόφευκτα περιλαμβάνονται στα αναλυτικά προγράμματα αφού αποτελούν το περιεχόμενο της διδασκαλίας της επιστήμης, αλλά και τη διδασκαλία για τα μοντέλα.

Η διδασκαλία της έννοιας του μοντέλου και της διαδικασίας μοντελοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε αντικατάσταση της παλαιότερης προσπάθειας περιγραφής μιας «επιστημονικής μεθόδου». Στη βιβλιογραφία καταγράφονται δύο σχετικές εισηγήσεις. Μία είναι αυτή των Irzik and Nola (2011) οι οποίοι, στην πρότασή τους για μια διδακτική προσέγγιση αναφορικά με τη φύση της επιστήμης, εντάσσουν την κατασκευή μοντέλων στους μεθοδολογικούς κανόνες της επιστήμης. Η άλλη είναι η θέση του Hestenes (1992)

σύμφωνα με την οποία η επιστημονική μέθοδος μπορεί να περιγραφεί ως η αναπαράσταση του πραγματικού κόσμου από τον θεωρητικό κόσμο της επιστήμης μέσω των μοντέλων. Αυτό είναι δυνατόν διότι η κατασκευή μοντέλων είναι συνυφασμένη και με άλλες διαδικασίες της επιστήμης και συγκεκριμένα τη διατύπωση υποθέσεων για την εξήγηση των φαινομένων και με τα πειράματα που αποτελούν τον έλεγχο των ισχυρισμών και των προβλέψεων των μοντέλων. Ο πειραματικός έλεγχος των ισχυρισμών που περιλαμβάνουν τα μοντέλα είναι μια αμφίδρομη διαδικασία. Το μοντέλο καθοδηγεί το σχεδιασμό των πειραμάτων και τα αποτελέσματα των πειραμάτων μπορεί να είναι τα αναμενόμενα, δηλαδή σε συμφωνία με τις προβλέψεις του μοντέλου αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να είναι αναπάντεχα οπότε οδηγούν στην αναθεώρηση ή και στην απόρριψη του μοντέλου και στην κατασκευή κάποιου άλλου. Δηλαδή, αυτά τα βήματα είναι οπωσδήποτε μέρος της επιστημονικής μεθόδου χωρίς όμως με μία αυστηρώς καθορισμένη σειρά. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να γίνονται σήμερα από διαφορετικές ομάδες επιστημόνων με τους θεωρητικούς να χτίζουν τον θεωρητικό κόσμο (τον κόσμο το *δυνατού*) και τους πειραματικούς να εξερευνούν τον φυσικό κόσμο (τον κόσμο του *πραγματικού*)» αλλά «η [θεωρία] κατασκευή μοντέλων και το πείραμα είναι συμπληρωματικές συνιστώσες μιας κυκλικής διαδικασίας για την παραγωγή έγκυρης γνώσης για τον φυσικό κόσμο, δηλαδή της επιστημονικής γνώσης.» (Hestenes, 1992), η έμφαση στο πρωτότυπο).

Η πρόταση του Hestenes συμφωνεί και με τη φιλοσοφική ανάλυση του ρόλου των μοντέλων ως διαμεσολαβητών μεταξύ του θεωρητικού και του φυσικού κόσμου, δηλαδή μεταξύ θεωρίας και πειράματος, αφού το πείραμα συνιστά την “εμπειρία” του επιστήμονα.

6.2 Επιχειρήματα από την επιστημολογία

Από την επισκόπηση των ερευνών για αυτό που στη διδακτική χαρακτηρίζεται ως φύση της επιστήμης έγινε φανερό ότι τα επιστημολογικά ζητήματα έχουν βαρύνουσα σημασία, ειδικότερα στο πρόγραμμα του Lederman. Όπως όμως ήδη έχει τονιστεί, η απουσία της έννοιας του μοντέλου από τον κατάλογο του Lederman είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα του προγράμματος, δεδομένων των σύγχρονων αντιλήψεων για την επιστήμη. Οι πιο πρόσφατες αναλύσεις, όπως αυτή των Irzik και Nola (2011, 2014) προσφέρουν μια πιο συνεκτική εικόνα για όλες τις πτυχές της επιστημονικής δραστηριότητας. Η πρόταση του Matthews (2012) επίσης εμπλουτίζει τον κατάλογο του Lederman και συμπεριλαμβάνει περισσότερα χαρακτηριστικά της επιστημονικής δραστηριότητας αν και με λιγότερο συνεκτικό τρόπο. Αν και ο εμπλουτισμένος κατάλογος του Matthews περιλαμβάνει τα μοντέλα ως ένα από τα χαρακτηριστικά της επιστήμης, ο ρόλος τους είναι πιο κεντρικός και

περισσότερο συνυφασμένος με κάποια από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, από όσο μια συμπερίληψη σε έναν κατάλογο αφήνει να εννοηθεί. Τα μοντέλα, καθώς συνιστούν τον πυρήνα της επιστημονικής μεθοδολογίας, είναι σημαντικότερα από κάποια άλλα φιλοσοφικά και επιστημολογικά ζητήματα που περιλαμβάνει ο Matthews στον κατάλόγό του, όπως την κατασκευασιοκρατία ή το φεμινισμό. Επειδή αυτό που διακρίνει την επιστήμη από τους άλλους φορείς γνώσης είναι η μεθοδολογία της και είναι αυτή η μεθοδολογία που καθιστά την επιστημονική γνώση πρότυπο της έγκυρης γνώσης, είναι σε αυτή είναι που πρέπει να δίνει βάρος η εκπαίδευση.

Ο ισχυρισμός που υποστηρίζεται εδώ είναι ότι λόγω του θεμελιώδους ρόλου των μοντέλων στην επιστημονική μεθοδολογία είναι στα μοντέλα που υποστασιοποιούνται, εκδηλώνονται ή εφαρμόζονται τα περισσότερα από εκείνα τα στοιχεία που συνιστούν τη φύση της επιστήμης, δηλαδή τα χαρακτηριστικά της. Στη συνέχεια θα δείξουμε πώς τα μοντέλα συνδέονται όχι μόνο με τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά της επιστήμης που περιλαμβάνονται στον κατάλογο του Matthews, αλλά και με άλλα που απουσιάζουν από αυτόν, όπως, για παράδειγμα, τον υποκαθορισμό της θεωρίας από την παρατήρηση.

Πιο συγκεκριμένα:

Εξιδανίκευση και αφαίρεση: Τα μοντέλα κατασκευάζονται ως αναπαραστάσεις των φυσικών συστημάτων που καλούνται να εξηγήσουν, και με τη χρήση εξιδανικεύσεων και αφαιρέσεων είτε να μετασχηματίσουν το φαινόμενο καθ' υπαγόρευση των αναγκών της θεωρίας στην οποία υπάγεται, είτε να προσαρμόσουν τη θεωρία στις ανάγκες της εξήγησης του φαινομένου.

Δημιουργικότητα και φαντασία: Αν και κάποιες από τις εξιδανικεύσεις και αφαιρέσεις υπαγορεύονται από τη θεωρία, ο επιστήμονας χρειάζεται να επιλέξει ποιες από αυτές είναι οι κατάλληλες για το φαινόμενο αλλά και ποια άλλα στοιχεία, όπως νόμους ή εμπειρικά δεδομένα χρειάζεται να συμπεριλάβει. Είναι δυνατόν όμως να εισηγηθεί και θεωρητικές οντότητες ή ενδεχόμενες διαδικασίες που θεωρεί απαραίτητες για την εξήγηση του φαινομένου. Σε αρκετές δε περιπτώσεις η επιστήμη οδηγείται στην κατασκευή μοντέλων των οποίων η συμβατότητα με τη θεωρία δεν είναι αυτονόητη, δηλαδή δεν ανακύπτουν λογικά από τη θεωρία αλλά απαιτείται ιδιαίτερη δημιουργικότητα για να οδηγηθεί κανείς στη κατασκευή τους.

Επιστημονική εξήγηση: Τα μοντέλα διατυπώνονται ως δυνητικές εξηγήσεις των φαινομένων αφού περιγράφουν μηχανισμούς που εξηγούν τις παρατηρήσιμες συμπεριφορές των

φαινομένων αυτών. Οι εξηγήσεις όμως αυτές δεν είναι τυχαίες ούτε ad-hoc εικασίες αλλά προκύπτουν από ένα συγκεκριμένο ευρύτερο εννοιολογικό πλαίσιο ή, πιο σπάνια, προτείνουν στοιχεία που εμπλουτίζουν το εννοιολογικό πλαίσιο.

Μαθηματικοποίηση: Το μοντέλο περιγράφεται και από ένα μαθηματικό φορμαλισμό. Το βήμα αυτό είναι απαραίτητο όχι μόνο διότι οι περισσότερες θεωρίες περιγράφονται από ένα μαθηματικό φορμαλισμό αλλά επειδή η μαθηματικοποίηση επιτρέπει την ποσοτική επεξεργασία των ισχυρισμών για το φαινόμενο και αυτό καθιστά την επικύρωση πιο αξιόπιστη. Η ανάγκη για μαθηματικοποίηση είναι, που σε πολλές περιπτώσεις, καθοδηγεί τις διαδικασίες εξιδανίκευσης και αφαίρεσης οι οποίες στοχεύουν στην κατασκευή επιλύσιμων εξισώσεων για την περιγραφή του συστήματος.

Πείραμα: Το μοντέλο είναι αυτό που συνδέει τη θεωρία με το πείραμα. Οι ισχυρισμοί των μοντέλων υπαγορεύουν το σχεδιασμό των πειραμάτων μέσω των οποίων γίνεται ο έλεγχος των υποθέσεων, των προβλέψεων και τελικά των θεωριών από τις οποίες προέρχονται. Τα πειράματα είναι αυστηρά ελεγχόμενες διαδικασίες, τα αποτελέσματα των οποίων συνιστούν τη διυποκειμενική εμπειρία από την οποία προκύπτουν τα επιστημονικά τεκμήρια.

Η εμπειρική βάση της επιστήμης: Η εμπειρική βάση της επιστήμης δεν είναι η απλή αισθητηριακή εμπειρία η οποία είναι σχεδόν αδύνατη για τα περισσότερα από τα φαινόμενα που μελετά η επιστήμη. Εμπειρική βάση για την επιστήμη είναι τα τεκμήρια που προκύπτουν από το πείραμα, το οποίο σχεδιάζεται έτσι ώστε να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο τις συνθήκες που υπαγορεύει το μοντέλο.

Ο υποκαθορισμός της θεωρίας από την παρατήρηση: Το ότι τα εμπειρικά τεκμήρια δεν οδηγούν σε μία μοναδική θεωρία είναι ένα χαρακτηριστικό ιδιαίτερα εμφανές στην περίπτωση ασύμβατων μεταξύ τους μοντέλων που προτείνονται για την εξήγηση του ίδιου φαινομένου. Ενώ η συζήτηση αυτού του χαρακτηριστικού της επιστήμης με αναφορά στις επιστημονικές θεωρίες είναι αφηρημένη και διεξάγεται κυρίως στο επίπεδο της λογικής του ζητήματος, όταν διεξάγεται με αναφορά στα επιστημονικά μοντέλα γίνεται σε μεγάλο βαθμό απτή αφού μπορεί να συσχετιστεί με την επιστημονική εμπειρία.

Εμποτισμός της παρατήρησης από τη θεωρία: Η ερμηνεία των δεδομένων που προκύπτουν από το πείραμα γίνεται πάντοτε υπό το πρίσμα του εννοιολογικού πλαισίου στο οποίο ανήκει το μοντέλο, αυτό όμως δε σημαίνει ότι είναι υποκειμενική, διότι το εννοιολογικό πλαίσιο είναι συνήθως αποδεκτό από την κοινότητα, χωρίς αυτό να σημαίνει αυτό ότι όλα τα μοντέλα οδηγούνται σε επιτυχία.

Ορθολογισμός και αλλαγή θεωρίας: Τα αποτελέσματα των πειραμάτων, αν συμφωνούν με τις προβλέψεις, μπορεί να οδηγήσουν στην αποδοχή ενός μοντέλου. Σε αντίθετη περίπτωση και υπό τον έλεγχο της επιστημονικής κοινότητας τα μοντέλα βελτιώνονται, αναθεωρούνται ή και απορρίπτονται. Ενίοτε μπορεί να αναθεωρηθούν και στοιχεία από τις θεωρίες από τις οποίες προέρχονται αλλά και σε ιστορικά χρονικά πλαίσια μπορεί και να απορριφθούν ολόκληρες θεωρίες. Ο ορθολογισμός όμως της επιστήμης δεν εκδηλώνεται μόνο στην τελική αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων. Ο ορθολογισμός διέπει και την ίδια την κατασκευή των μοντέλων αφού ο επιστήμονας θα πρέπει να αιτιολογήσει πειστικά τις επιλογές του για τις υποθέσεις, τις εξιδανικεύσεις και τις αφαιρέσεις που χρησιμοποίησε στην κατασκευή του.

Η αβεβαιότητα της επιστημονικής γνώσης: Το γεγονός ότι τα μοντέλα μπορούν να τροποποιηθούν ή να αντικατασταθούν από άλλα, όταν δεν συμφωνούν με νέα τεκμήρια ή όταν προκύψουν νέες προσεγγίσεις για τα φαινόμενα, είναι μια ένδειξη της ιδιαίτερης μορφής αβεβαιότητας της επιστήμης. Αυτή η αβεβαιότητα όμως είναι η κινητήρια δύναμη πίσω από την ίδια την επιστημονική πρόοδο διότι οι επιστήμονες έχοντας επίγνωση των περιορισμών και των αδυναμιών των μοντέλων τους κάνουν μια συνειδητή προσπάθεια για την άρση αυτών των αδυναμιών. Αυτή η προσπάθεια στόχο έχει τη νέα γνώση η οποία όμως μπορεί να σημαίνει και σημαντικές αλλαγές στα μοντέλα από τα οποία προέκυψε ή ακόμη και στην απόρριψή τους.

Άλλα θέματα που εγείρονται είναι ο επιστημονικός ρεαλισμός με αφορμή την αναφορά σε θεωρητικές οντότητες που περιλαμβάνονται στα μοντέλα και η σχέση τεχνολογίας και επιστήμης, τουλάχιστον στο επίπεδο των πειραμάτων, όπου η τεχνολογία επιδρά καθοριστικά όχι μόνο στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων αλλά και στη δυνατότητα διεξαγωγής του ίδιου του πειράματος.

Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι όλα τα προηγούμενα θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στη διδασκαλία των επιστημών. Η συζήτηση που προηγήθηκε έχει περισσότερο φιλοσοφικό χαρακτήρα και λιγότερο εκπαιδευτικό αφού ο στόχος της δεν είναι τόσο να υποδείξει θέματα που αφορούν στην επιστήμη και που θα έπρεπε να γίνονται θέματα συζήτησης στην τάξη όσο για να δείξει πόσο συνυφασμένα είναι τα μοντέλα με τις διαδικασίες της επιστήμης αλλά και τα επιστημολογικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής γνώσης. Με άλλα λόγια, τα μοντέλα είναι άρρηκτα δεμένα με την επιστήμη και πρέπει να συμπεριλαμβάνονται και στη μάθηση για την επιστήμη.

6.2.1 Η αφαίρεση και η εξιδανίκευση ως βασικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής σκέψης.

Από όσα χαρακτηριστικά της επιστήμης αναφέρθηκαν πιο πάνω, η εξιδανίκευση και η αφαίρεση μαζί με τη μαθηματικοποίηση της περιγραφής, αποτελούν τις κύριες μεθοδολογικές τακτικές στην κατασκευή των μοντέλων και είναι συνεπώς απαραίτητες για την κατανόηση της επιστήμης. Η εξιδανίκευση, η αφαίρεση και η μαθηματικοποίηση αποτελούν τα καθοριστικά χαρακτηριστικά της μοντέρνας επιστήμης, όπως αυτή διαμορφώθηκε από τον Γαλιλαίο, στις αρχές αυτού που σήμερα χαρακτηρίζουμε ως επιστημονική επανάσταση. Η μέθοδος του Γαλιλαίου αντικατέστησε, όχι χωρίς αντιδράσεις, τη μεσαιωνική επιστήμη, η οποία επηρεασμένη βαθιά από τον αριστοτελικό εμπειρισμό, αποτελούσε «μια συστηματοποίηση της κοινής λογικής και των βασικών παρατηρήσεων των αισθήσεων. Η σύγχρονη επιστήμη γεννήθηκε τον δέκατο έκτο και δέκατο έβδομο αιώνα με την άρνηση και των δύο» (Westfall, 1988, σ. 5). Τυπικό παράδειγμα της μεσαιωνικής επιστήμης είναι η αστρονομία η οποία, πιστή στο γεωκεντρικό σύστημα του Πτολεμαίου, καταπιανόταν μόνο με τη συλλογή δεδομένων για τις κινήσεις των σωμάτων του πλανητικού μας συστήματος και όχι με μια προσπάθεια εξήγησής τους. Η όλη προσπάθεια βασιζόταν σε δύο υποθέσεις: ότι η Γη ήταν ακίνητη και ότι οι κινήσεις που καταγράφονταν από την παρατήρηση του ουρανού λάμβαναν χώρα πραγματικά εκεί (ό. π., σ. 5). Ο Κοπέρνικος και ο Κέπλερ κατάφεραν να απαγκιστρωθούν από τα δεσμά της άμεσης αισθητηριακής εμπειρίας και να εισαγάγουν ένα πιο απλό σύστημα το οποίο, αν και αντιβαίνει στην άμεση αισθητηριακή εμπειρία, μπορεί να την εξηγήσει με έναν συνεκτικό τρόπο.

Με ανάλογο τρόπο, ο Γαλιλαίος κατάφερε επίσης να απελευθερωθεί από την άμεση εμπειρία και την κοινή λογική βασιζόμενος στην αφηρημένη σκέψη. Μετασχηματίζοντας τα υπό μελέτη συστήματα και χρησιμοποιώντας την εξιδανίκευση μπόρεσε να μαθηματικοποιήσει τις περιγραφές των συστημάτων και να διατυπώσει ποσοτικούς νόμους για τη συμπεριφορά τους. Ενώ ο αριστοτελικός-εμπειριστής Del Monte υποστήριζε ότι «[Η] μηχανική, αν τη σκεφτόμαστε στο αφηρημένο επίπεδο και χωριστά από τις μηχανές, δεν μπορεί καν να ονομάζεται μηχανική», ο Γαλιλαίος αντίθετα, αναφερόμενος επίσης στη μηχανική και συγκεκριμένα στην περίπτωση των οριζόντιων βολών, έλεγε ότι:

για αυτές τις ιδιότητες [βάρος, ταχύτητα, σχήμα] που είναι άπειρες τον αριθμό, δεν είναι δυνατόν να δώσουμε οποιαδήποτε ακριβή περιγραφή, συνεπώς, για να διαχειριστούμε το ζήτημα αυτό με επιστημονικό τρόπο είναι αναγκαίο να απελευθερωθούμε από αυτές τις δυσκολίες και έχοντας ανακαλύψει και αποδείξει τα θεωρήματα, στην περίπτωση

που δεν υπάρχει αντίσταση, να τα χρησιμοποιήσουμε και να τα εφαρμόσουμε με τους περιορισμούς που μας διδάσκει η εμπειρία. (από τον Matthews, 2004, σ, 699-700).

Ο Newton με τη σειρά του υιοθέτησε και επέκτεινε αυτή τη μέθοδο. Η δομή των *Principia* απεικονίζει μια τέτοια μεθοδολογία. Στο Πρώτο Βιβλίο θεωρεί τις μάζες υλικά σημεία που κινούνται στο κενό και σε αυτές τις συνθήκες επεξεργάζεται μαθηματικά την ιδεατή κατάσταση. Στο Δεύτερο Βιβλίο εισάγει την αντίσταση και στο τελευταίο μέρος μελετά την τροχιά της Γης με την επίδραση της Σελήνης και των άλλων πλανητών. Αυτή η μέθοδος έγινε και ο χρυσός κανόνας της μοντέρνας επιστήμης. Η γαλιλεϊκή εξιδανίκευση έχει αποτελέσει το θέμα πολλών θεωρητικών ερευνών στη φιλοσοφία (McMullin, 1985· Nowak, 1995· Nola, 2004) και αν και σήμερα η εξιδανίκευση στην επιστήμη μπορεί να έχει και διαφορετικές εκδοχές από ότι στην εποχή του Γαλιλαίου (Morrison, 2005) συνεχίζει να αποτελεί την κύρια μέθοδο περιγραφής των φαινομένων.³⁸

Η αφηρημένη σκέψη που γίνεται δυνατή με την κατασκευή μοντέλων που προκύπτουν από εξιδανικεύσεις και αφαιρέσεις στην περιγραφή των φαινομένων και οι οποίες επιτρέπουν τη μαθηματικοποίηση της περιγραφής τους είναι ένα θεμελιώδες χαρακτηριστικό της επιστήμης. Η σημασία τους είναι φανερή από το πλήθος των δημοσιεύσεων στη φιλοσοφία της επιστήμης που αφορούν στην αφαίρεση και στην εξιδανίκευση (Nowak, 1995· Jones, 2005· Weisberg 2007· Nola, 2004· Portides, 2005b· 2007· Suppe, 1989· Cartwright, 1983).

Η μεγάλη επιστημονική πρόοδος μετά την επιστημονική επανάσταση έγινε δυνατή επειδή μέσω της εξιδανίκευσης έγινε δυνατή η υπέρβαση της διαισθητικής σκέψης και της απλής αισθητηριακής εμπειρίας και καθιέρωσε για την επιστήμη το πλαίσιο της αφηρημένης σκέψης. Η αναγνώριση της θεμελιώδους σημασίας της εξιδανίκευσης στην επιστήμη έχει σημαντικές επιπτώσεις στη διδακτική. Στην πραγματικότητα «υποσκάπτει όλες τις

³⁸ Η Morrison (2005) ισχυρίζεται ότι ο ρόλος της εξιδανίκευσης στα μοντέλα στις σύγχρονες θεωρίες είναι σε πολλές περιπτώσεις διαφορετικός από αυτόν που περιγράφει ο Γαλιλαίος. Στην περίπτωση των μηχανικών συστημάτων του Γαλιλαίου ήταν δυνατή μια σειρά διορθώσεων-απεξιδανικεύσεων στο μοντέλο οι οποίες οδηγούσαν σε μια πιο ρεαλιστική περιγραφή του υπό μελέτη συστήματος. Σήμερα, σε πολλά μοντέλα, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των μοντέλων του ατομικού πυρήνα, αυτό δεν είναι δυνατόν διότι δεν γνωρίζουμε τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στο σύστημα. Έτσι, προτείνονται όχι απεξιδανικεύσεις αλλά διαφορετικά μοντέλα στα οποία διατυπώνονται κάποιες εναλλακτικές υποθέσεις για τις πιθανές συνθήκες που είναι δυνατόν να επικρατούν στο σύστημα και τα οποία χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές περιπτώσεις. Τα μοντέλα σήμερα, κατά τη Morrison, έχουν περισσότερο ευρετικό χαρακτήρα και σκοπό να αυξήσουν την προβλεπτική ικανότητα της θεωρίας παρά να περιγράψουν το σύστημα ρεαλιστικά.

εμπειρικές και επαγωγικές προσεγγίσεις στη μάθηση ενώ υποσκάπτει επίσης και τις περισσότερες οικοδομιστικές και ανακαλυπτικές προσεγγίσεις για τη διδασκαλία» (Matthews, 2004). Όπως στην περίπτωση της αστρονομίας αιώνες παρατηρήσεων δεν οδήγησαν σε αλλαγή της αντίληψης για το πλανητικό σύστημα έτσι και κανένας αριθμός άμεσων παρατηρήσεων των κινούμενων σωμάτων στον κόσμο δεν μπορεί να οδηγήσει στον πρώτο νόμο του Νεύτωνα, που είναι ο ακρογωνιαίος λίθος της μηχανικής ή στο νόμο της ελεύθερης πτώσης. Στην περίπτωση μάλιστα του δεύτερου σε μια προσπάθεια πειραματικής εξαγωγής των νόμων της ελεύθερης πτώσης μια διαισθητική τροποποίηση των συνθηκών του πειράματος θα ήταν η αύξηση του ύψους από το οποίο θα αφεθεί ένα σώμα, με στόχο τη βελτίωση της ακρίβειας στη μέτρηση του χρόνου, γεγονός που θα είχε ως αποτέλεσμα μετρήσεις που θα είχαν ακόμη μεγαλύτερη απόκλιση από τους νόμους της ελεύθερης πτώσης. Όπως το περιγράφει ο Lewis Wolpert στο *Η αφύσικη φύση της επιστήμης* (1992, σ. 1) «[Τ]όσο οι ιδέες που παράγει η επιστήμη όσο και ο τρόπος με τον οποίο διεξάγεται είναι αντιδιαισθητικές και αντίθετα στη κοινή λογική...[δηλαδή] οι επιστημονικές ιδέες δεν μπορούν να αποκτηθούν με απλή παρατήρηση των φαινομένων και είναι πολύ συχνά έξω από την καθημερινή εμπειρία.»

Από αυτή την άποψη οι μαθητές είναι στην ίδια θέση με τους επιστήμονες λίγο πριν την επανάσταση του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα. Μπορούν να δουν ότι όταν αυξήσουμε το μήκος του εκκρεμούς θα αυξηθεί και η περίοδος του αλλά δεν μπορούν να «δουν» το ισόχρονο των ταλαντώσεων και πολύ περισσότερο δεν μπορούν να δουν την πιθανότητα διατήρησης του πλάτους και τη διατήρηση της ενέργειας που αυτή συνεπάγεται. «Οι φυσικοί σπάνια ανακαλύπτουν νόμους απαριθμώντας και συνοψίζοντας παρατηρήσιμα μεγέθη» (Hanson, 2002/1965, σ. 104). Αυτό θα σήμαινε ότι οι επιστημονικές αποφάνσεις προκύπτουν επαγωγικά. Όπως όμως σημειώνει ο Hanson (1958, σ. 105) «Η επαγωγική άποψη ορθώς υποδηλώνει πως οι νόμοι επιτυγχάνονται με συναγωγή από τα δεδομένα. Και εσφαλμένα υποδηλώνει πως ο νόμος δεν είναι παρά μια σύνοψη αυτών των δεδομένων, αντί για αυτό που πρέπει να είναι, μια εξήγηση των δεδομένων.»

Για να δουν οι μαθητές αυτά που είδε Γαλιλαίος και ο Νεύτωνας πρέπει να ξεφύγουν από τη διαισθητική σκέψη που έχει διαμορφώσει η καθημερινή εμπειρία αλλά και να έχουν επίγνωση των παγίδων του φυσικού καθημερινού τρόπου σκέψης. Η παρατήρηση είναι βέβαια σημαντική στην επιστήμη και στη μάθηση αλλά πρέπει να συνοδεύεται όχι από την απλοϊκή επιστημολογία της καθημερινής ζωής αλλά μια άλλη επιστημολογία η οποία περιγράφει τι είναι η επιστήμη, ποιος είναι ο στόχος της και πώς τον επιτυγχάνει. Σε αυτή την επιστημολογία ο κόσμος περιγράφεται από μοντέλα που αναπαριστούν τον κόσμο όπως

αυτός θα ήταν αν ίσχυαν οι εξιδανικευμένες συνθήκες που προβλέπουν οι θεωρίες. Αυτόν τον εξιδανικευμένο νοητό κόσμο είναι που χρησιμοποιούμε για να κατανοήσουμε τον πραγματικό από τον οποίο προκύπτει η εξιδανικευμένη περιγραφή (McMullin, 1985). Αυτόν τον ίδιο νοητό κόσμο είναι που προσπαθούμε να προσεγγίσουμε και στα πειράματα.

Για όλους αυτούς τους λόγους η διδασκαλία για τα μοντέλα πρέπει οπωσδήποτε να αναφέρεται στις έννοιες της αφαίρεσης και της εξιδανίκευσης. Αν και δεν υπάρχει απόλυτη συμφωνία μεταξύ των φιλοσόφων αναφορικά με τους ορισμούς των πιο πάνω εννοιών, η έννοια της Αριστοτελικής αφαίρεσης, δηλαδή της παράλειψης πραγματικών ιδιοτήτων του συστήματος στη θεωρητική του περιγραφή, όπως της τριβής και της αντίστασης του αέρα σε προβλήματα της μηχανικής, και της Γαλιλεϊκής εξιδανίκευσης, δηλαδή της εσκεμμένης παραποίησης κάποιων από τα πραγματικά χαρακτηριστικά του, όπως την αναπαράσταση ενός σώματος ως υλικό σημείο ίσης μάζας με το σώμα είναι κατανοητοί και κατάλληλοι για τη διδασκαλία. Αυτοί είναι οι ορισμοί που χρησιμοποιεί ο Suppe (1989, σ. 96) αλλά εκφράζουν επίσης και αντιλήψεις που υπάρχουν και σε άλλες αναλύσεις (Jones, 2005, σ. 174· Portides, 2007a,b· Nola, 2004). Και οι δύο αυτές διαδικασίες, δηλαδή η αφαίρεση και η εξιδανίκευση αποτελούν τη βάση της κατασκευής των μοντέλων στη μηχανική και όχι μόνον. Όμως η μηχανική είναι το πεδίο εκείνο της φυσικής στο οποίο καταγράφονται και οι πιο ανθεκτικές παρανοήσεις αφού οι νέες έννοιες που πρέπει να κατανοήσουν οι μαθητές έχουν να αντιμετωπίσουν τις ιδέες που διαμορφώθηκαν από τη διαρκή και ισχυρή επίδραση της άμεσης εμπειρίας. Για να επιτευχθεί η μετάβαση από τον καθημερινό τρόπο σκέψης στον επιστημονικό, δηλαδή, για να προκαλέσει η διδασκαλία εννοιολογική αλλαγή είναι ίσως απαραίτητο να προηγηθεί «εννοιολογική επίγνωση», δηλαδή η κατανόηση των διαφορών μεταξύ των διαδικασιών της επιστημονικής σκέψης και της καθημερινής διαισθητικής αντίληψης των πραγμάτων οι οποίες θα βοηθήσουν τους μαθητές να υιοθετήσουν την «νέα επιστημολογία» (Schecker, 1992). Αυτή η επίγνωση θα διαμορφώσει το κατάλληλο επιστημολογικό πλαίσιο για την κατανόηση του χαρακτήρα των περιγραφών των φαινομένων από τα μοντέλα αλλά και των συμπερασμάτων που συνάγονται από αυτά. Συνεπώς, η επιστημολογική επίγνωση είναι σημαντική όχι μόνο για τη μάθηση για τη φύση της επιστημονικής γνώσης και για τη μάθηση της ίδιας της επιστημονικής γνώσης αλλά και για το πώς η θεωρητική αυτή γνώση που προσφέρει το μοντέλο συνδέεται με την πειραματική εμπειρία.

Η αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων είναι ένα επίσης σημαντικό στοιχείο που σχετίζεται με τις αφαιρέσεις και τις εξιδανικεύσεις που περιλαμβάνει το μοντέλο. Οι μαθητές συνήθως αποδίδουν τις διαφορές ανάμεσα στις τιμές των μεγεθών που προκύπτουν

από τη θεωρητική ανάλυση και στις τιμές από τις μετρήσεις σε πειραματικά σφάλματα ενώ στην πραγματικότητα ένα μέρος της διαφοράς οφείλεται στις αφαιρέσεις και στις εξιδανικεύσεις του μοντέλου που το πείραμα προσπαθεί να προσεγγίσει. Αντίθετα από τα πειραματικά σφάλματα, αυτές οι διαφορές μπορούν, σε κάποιο βαθμό, να μετριαστούν με κάποιες διαδικασίες απεξιδανίκευσης οι οποίες γίνονται όχι στην πειραματική διάταξη ή στην πειραματική διαδικασία αλλά στο μοντέλο.

6.3 Επιχειρήματα από τη γνωστική ψυχολογία

Σύμφωνα με τη θεωρία των νοητικών μοντέλων του Johnson-Laird (1983, σ. 2) κατανόηση ενός φαινομένου ή μιας κατάστασης, με ψυχολογικούς όρους, σημαίνει να έχει κάποιος μια νοητική αναπαράσταση του φαινομένου, που είναι ένα δομικό ανάλογο της κατάστασης που αναπαριστά και με βάση την οποία γνωρίζει τι το προκαλεί, τι αυτό συνεπάγεται, πώς μπορείς να το επηρεάσεις ή να το αποτρέψεις και πώς αυτό σχετίζεται με άλλα φαινόμενα. Το νοητικό αυτό μοντέλο βασίζεται στη γνώση και στις πεποιθήσεις αυτού που το κατασκευάζει. Ένα νοητικό μοντέλο μπορεί να αφορά στον πραγματικό κόσμο ή σε φανταστικές καταστάσεις, γεγονότα ή διαδικασίες. Στο πεδίο των φυσικών επιστημών τα νοητικά μοντέλα θεωρούνται ως δυναμικές και παραγωγικές αναπαραστάσεις τις οποίες οι άνθρωποι να διαχειρίζονται νοητικά για να διατυπώνουν αιτιακές εξηγήσεις για τα φυσικά φαινόμενα και να κάνουν προβλέψεις για τον φυσικό κόσμο. Αν και, σύμφωνα με τη θεωρία, η κατασκευή και η διαχείρισή τους γίνεται στη βραχυπρόθεσμη μνήμη όταν και όπου αυτό είναι απαραίτητο, για παράδειγμα για τη λύση προβλήματος, είναι δυνατόν, αν αυτά τα νοητικά μοντέλα είναι επιτυχή, να αποθηκεύονται στη μακροπρόθεσμη μνήμη ως μόνιμες δομές γνώσης και να ανασύρονται όταν χρειαστεί (Vosniadou, 1994).

Η θεωρία των νοητικών μοντέλων σχετίζεται με τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών σε δύο επίπεδα. Το πρώτο είναι ότι οι μαθητές φέρνουν στην εκπαιδευτική διαδικασία μια σειρά αντιλήψεων για το πώς δουλεύει ο κόσμος, τα αρχικά τους νοητικά μοντέλα, που έχουν τα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν. Αυτά τα αρχικά νοητικά μοντέλα αποτελούν τον τρόπο αναγνώρισης των φαινομένων που εξετάζουν οι φυσικές επιστήμες και διαμορφώνονται μέσα από μια σειρά απλοϊκών υποθέσεων και πεποιθήσεων που στηρίζονται στις διαισθητικές αντιλήψεις των μαθητών για τον φυσικό κόσμο. Αυτά τα μοντέλα, επειδή ακριβώς κατασκευάζονται στη βάση της καθημερινής εμπειρίας είναι συνήθως ασύμβατα με τα αντίστοιχα επιστημονικά. Αυτή η ασυμβατότητα μεταξύ των δύο αποτελεί πρόβλημα για τη μάθηση στις φυσικές επιστήμες διότι οι μαθητές προσπαθούν να ερμηνεύσουν τη νέα γνώση μέσα από το εννοιολογικό πλαίσιο του υφιστάμενου μοντέλου

τους. Συνεπώς, η ύπαρξη αυτών των μοντέλων αποτελεί εμπόδιο στην κατανόηση της νέας γνώσης. Από αυτό το γεγονός προκύπτει και η ανάγκη για εννοιολογική αλλαγή, δηλαδή για την αντικατάσταση του υφιστάμενου εμπειρικού εννοιολογικού πλαισίου από το αντίστοιχο επιστημονικό. Σε αυτό το δεύτερο επίπεδο, οι μαθητές καλούνται να κατασκευάσουν ένα νέο μοντέλο, αξιοποιώντας τις ίδιες νοητικές ικανότητες που τους επέτρεψαν να κατασκευάσουν το αρχικό. Στην περίπτωση όμως των επιστημονικών μοντέλων η διαδικασία κατασκευής δεν είναι αυθόρμητη και διαισθητική και δεν βρίσκεται εντός του πλαισίου κοινής λογικής, όπως συνέβαινε με το αρχικό μοντέλο. Η κατασκευή θα πρέπει να γίνεται συνειδητά και με συγκεκριμένο σκοπό, αυτόν της θεωρητικής περιγραφής του κόσμου. Θεωρητική περιγραφή σημαίνει ότι το υπό μελέτη σύστημα θα πρέπει να περιγραφεί με τους όρους της θεωρίας στην οποία εντάσσεται το φαινόμενο. Οι όροι αυτοί είναι οι προϋποθέσεις που πρέπει να υπακούει η περιγραφή του συστήματος, να περιλαμβάνει δηλαδή τις κατάλληλες αφαιρέσεις και εξιδανικεύσεις, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό οι νόμοι και οι αρχές της φυσικής που είναι οι κανόνες του παιχνιδιού. Μόνο αν μια περιγραφή έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, π.χ. υλικά σημεία για την εφαρμογή των νόμων του Νεύτωνα ή σημειακά φορτία για την εφαρμογή του νόμου του Coulomb, θα ισχύουν οι κανόνες του παιχνιδιού. Μόνο τότε είναι δυνατόν οι μαθητές να συμμετάσχουν με επιτυχία σε αυτό που ο Hestenes (1992) χαρακτηρίζει ως «παιχνίδι της μοντελοποίησης».

Σε αυτό το σημείο η ανάλυση του Hanson (1958) για τη φύση της παρατήρησης είναι χρήσιμη. Σύμφωνα με τον Hanson καμία παρατήρηση δεν είναι ανεξάρτητη από το εννοιολογικό πλαίσιο υπό το οποίο γίνεται και αποκτά το νόημά της μέσα από αυτό το εννοιολογικό πλαίσιο. Για παράδειγμα, στο εννοιολογικό πλαίσιο που διαμορφώνεται από τις εμπειρίες της καθημερινής ζωής ένα σώμα σταματά την κίνησή του επειδή καμία δύναμη δεν ασκείται σε αυτό ώστε να διατηρηθεί η κίνησή του και έτσι αυτό καταλήγει στη φυσική του κατάσταση που είναι αυτή της ακινησίας. Στο πλαίσιο της κλασικής μηχανικής όμως, ένα σώμα σταματά διότι ασκείται σε αυτό μια δύναμη που εμποδίζει το σώμα από το να διατηρήσει τη φυσική του κατάσταση, που είναι να κινείται με μια σταθερή ταχύτητα. Τίποτα στα αισθητηριακά δεδομένα της παρατήρησης της κίνησης του σώματος δεν μπορεί να οδηγήσει στο δεύτερο συμπέρασμα. Τίποτα στην απλή παρατήρηση δεν συνδέει μια αιτία με το συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Τα γεγονότα συνδέονται μεταξύ τους αιτιακά μέσα από τις θεωρίες μας (ό. π., σ. 85, 93). Αν οι μαθητές πρέπει να κατασκευάσουν ένα νοητικό μοντέλο που να μπορεί να οδηγήσει σε αιτιακές εξηγήσεις της συμπεριφοράς των συστημάτων, θα πρέπει αυτό να βασίζεται στην κατάλληλη θεωρία. Το να διδάσκει

επιστήμη σημαίνει και το να μάθεις να χρησιμοποιείς συγκεκριμένα εννοιολογικά πλαίσια-θεωρίες οι οποίες εξηγούν με τον αποδεκτό τρόπο τα φαινόμενα.

Στις περιγραφές τους και στα νοητικά μοντέλα που τις συνοδεύουν, οι μαθητές θα πρέπει στα συστήματα να αποδίδουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, δηλαδή να τα «βλέπουν ως». «Βλέπω ως» στην περίπτωση αυτή σημαίνει το βλέπω υπό το πρίσμα της σχετικής θεωρίας, π.χ. να αποτελούνται από υλικά σημεία και λείες επιφάνειες, να υπόκεινται σε συγκεκριμένους νόμους αλληλεπίδρασης κλπ. Οι προϋποθέσεις υπό τις οποίες ισχύουν οι σχετικοί νόμοι είναι που καθορίζουν το «πώς» θα βλέπουμε ένα φυσικό σύστημα. Μόνο αν το σύστημα ιδωθεί μέσα από το κατάλληλο εννοιολογικό πλαίσιο, δηλαδή όταν το μοντέλο του συστήματος έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά, τότε οι μαθητές θα μπορούν να «βλέπουν ότι» και άλλα πράγματα έπονται, (Hanson σ. 29) θα μπορούν δηλαδή να εξάγουν τα σωστά συμπεράσματα για τη συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων. Με άλλα λόγια, για να δουν αυτό που βλέπει ο φυσικός θα πρέπει να γνωρίζουν λίγη φυσική. Για να έχει νόημα όμως αυτή η φυσική θα πρέπει να γνωρίζουν και τη μεθοδολογία που υπαγορεύει αυτή τη μορφή σκέψης, δηλαδή η θεωρητική περιγραφή του κόσμου μέσα από εξιδανικευμένα μοντέλα.

Στα μάτια των μαθητών αυτή η μεθοδολογία της θεωρητικής περιγραφής του κόσμου να φαίνεται αχρείαστη ή ακόμη και λανθασμένη, αφού η εμπειρική τους γνώση έχει αποδειχθεί αρκετά αποτελεσματική. Αυτό που οι μαθητές και οι μη ειδικοί δεν αντιλαμβάνονται είναι ότι ακόμη και αυτές οι εμπειρικές εξηγήσεις βασίζονται σε κάποιες γενικότερες και υπόρρητες θεωρητικές υποθέσεις, όπως για παράδειγμα ότι για την κίνηση απαιτείται δύναμη. Το πρόβλημα που έχουν αυτές οι εμπειρικές ερμηνείες είναι ότι είναι αποσπασματικές, δεν μπορούν να εξηγούν πολλά φαινόμενα με συνεκτικό τρόπο και οδηγούν σε μια απλοϊκή “επιστήμη” η οποία συνίσταται από μυριάδες ίσως ad-hoc ερμηνείες για τα μυριάδες φαινόμενα οι οποίες, λόγω της πολυπλοκότητας του πραγματικού κόσμου, δεν αποτελούν συνήθως εξηγήσεις αφού δεν καταφέρνουν να φτάνουν στον πυρήνα των φαινομένων. Η πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου δεν είναι εμφανής ούτε καν στα φαινόμενα που γίνονται άμεσα αντιληπτά, πόσο μάλλον στις περιπτώσεις στις οποίες τα φαινόμενα δεν ανήκουν στο πεδίο της άμεσης παρατήρησης, οι οποίες αποτελούν και τη συντριπτική πλειοψηφία των φαινομένων που μελετούν οι φυσικές επιστήμες.

6.4 Επιχειρήματα από τη διδακτική

Η έννοια του μοντέλου εντάσσεται στα στοιχεία εκείνα που αφορούν στα χαρακτηριστικά της επιστήμης και κυρίως της μεθοδολογίας της, έχει όμως και άμεση σχέση με το περιεχόμενο της επιστήμης αφού το περιεχόμενο αυτό δεν συνίσταται στις δηλωτικές προτάσεις με τις οποίες περιγράφονται οι έννοιες και οι νόμοι αλλά από μοντέλα τα οποία περιγράφουν τις συνθήκες στις οποίες οι έννοιες αυτές εφαρμόζονται και οι νόμοι αυτοί ισχύουν. Με άλλα λόγια, τα μοντέλα είναι το εργαλείο που εξασφαλίζει τη *σύνδεση των επιστημονικών ισχυρισμών με τον κόσμο*. Και επειδή κατασκευή των μοντέλων δεν γίνεται διαισθητικά αλλά περιλαμβάνει οπωσδήποτε αλλά όχι αποκλειστικά, κάποιες διαδικασίες όπως αυτές της εξιδανίκευσης και της αφαίρεσης, διαμορφώνει το κατάλληλο εννοιολογικό πλαίσιο για την κατανόηση του περιεχομένου. Ως συνέπεια αυτού, η μεθοδολογική πτυχή που εμπερικλείεται στην έννοια του μοντέλου, στην οποία η έμφαση δίνεται στην κατασκευή και τη διαχείριση των μοντέλων, μπορεί να λειτουργήσει ενισχυτικά στην κατανόηση του περιεχομένου.

Μέχρι σήμερα όμως η διδακτική έχει δώσει περισσότερο βάρος στις μοντελοκεντρικές διδακτικές πρακτικές με έμφαση στο περιεχόμενο, η χρήση των οποίων βασίζεται στην υπόθεση ότι η εμπλοκή των μαθητών στην ανάπτυξη και διερεύνηση εξηγήσεων και μοντέλων οδηγεί σε καλύτερη κατανόηση βασικών μοντέλων στην επιστήμη και προωθεί τον επιστημονικό τρόπο σκέψης αλλά επίσης βοηθάει τους μαθητές να κατανοήσουν την φύση της γνώσης στο αντίστοιχο επιστημονικό πεδίο (π.χ. Lehrer & Schauble, 2006).

6.4.1 Μοντελοκεντρική διδασκαλία και μάθηση του περιεχομένου των φυσικών επιστημών

Αρκετές έρευνες στη διδακτική δείχνουν ότι διδακτικές προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν μοντελοποίηση έχουν ενθαρρυντικά αποτελέσματα αναφορικά με τη μάθηση του περιεχομένου των φυσικών επιστημών. Αυτές έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές ακόμη και σε μαθητές της Δημοτικής Εκπαίδευσης. Διαδικασίες μοντελοποίησης με έμφαση στις δραστηριότητες οπτικών αναπαραστάσεων λειτούργησαν ενισχυτικά στην εννοιολογική κατανόηση βιολογικών εννοιών, όπως αυτή της αναπαραγωγής των φυτών, σε μαθητές της 3^{ης} τάξης του δημοτικού (Manz, 2012) και της λειτουργίας των οικοσυστημάτων σε μαθητές της 5^{ης} τάξης του δημοτικού (Papaenripidou, Constantinou & Zacharia, 2007). Και στις δύο περιπτώσεις υπήρχε μια ταυτόχρονη ανάπτυξη στις δεξιότητες μοντελοποίησης ενώ στη δεύτερη αυτοί οι μαθητές μετάφεραν και αυτές τις νεοαποκτηθείσες δεξιότητες στην επίλυση προβλημάτων και σε άλλα πεδία. Λίγο μεγαλύτεροι μαθητές (12 και 13 ετών) που

ενεπλάκησαν σε διαδικασίες μοντελοποίησης για τα οπτικά φαινόμενα και τις αλλαγές φάσης έδειξαν επίσης βελτίωση στην κατασκευή εννοιολογικών μοντέλων για σκοπούς κατανόησης των προβλημάτων αλλά και για σκοπούς επικοινωνίας της εξήγησης σε άλλους (Schwarz et al, 2009).

Σε πολλές έρευνες έχουν χρησιμοποιηθεί υφιστάμενα λογισμικά μοντελοποίησης (Papaenripidou et al, 2007) ή άλλα, που έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά για την έρευνα. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν δύο έρευνες που έγιναν, η μία σε μαθητές 11-12 ετών (White, 1993) και η άλλη σε μαθητές γυμνασίου (13-15 ετών) (White & Frederiksen, 1998) οι οποίοι χρησιμοποίησαν επιτυχώς ένα λογισμικό μοντελοποίησης σχεδιασμένο να λειτουργεί με βάση του νόμους του Νεύτωνα. Το σκεπτικό πίσω από τη μέθοδο είναι ότι οι μαθητές μαθαίνουν τις επιστημονικές έννοιες και εξελίσσουν τα εννοιολογικά τους μοντέλα όπως οι επιστήμονες και αναπτύσσουν πολύπλοκες θεωρίες με τη διαδικασία της σταδιακής επεξεργασίας και βελτίωσης των επιστημονικών μοντέλων (White & Frederiksen, 1998). Με τη βοήθεια του λογισμικού οι μαθητές κατασκεύαζαν μια σειρά, από όλο και πιο πολύπλοκα, μοντέλα με τα οποία μπορούσαν να απαντήσουν σε ερωτήσεις που αφορούσαν στο πώς οι δυνάμεις επιδρούν στην κίνηση των σωμάτων και να διαμορφώσουν το κατάλληλο εννοιολογικό μοντέλο ώστε να εξηγούν και πιο πολύπλοκα φαινόμενα. Οι μαθητές, με τη βοήθεια των μοντέλων που κατασκεύαζαν με το λογισμικό, κατάφεραν να διατυπώσουν και να γενικεύσουν τους νόμους που διέπαν τη συμπεριφορά των σωμάτων και μετά να τους εφαρμόσουν σε μια σειρά από καταστάσεις του πραγματικού κόσμου. Στην περίπτωση των μαθητών του δημοτικού η αποτελεσματικότητα που είχε στην μάθηση και στην εννοιολογική αλλαγή ο συνδυασμός μοντελοποίησης με διερώτηση που χαρακτήριζε τη μέθοδο φάνηκε από το γεγονός ότι οι μαθητές αυτοί είχαν καλύτερη επίδοση στην επίλυση προβλημάτων μηχανικής από μαθητές γυμνασίου που είχαν διδαχθεί με την παραδοσιακή μέθοδο. Στους μεγαλύτερους μαθητές η διαδικασία δεν περιλάμβανε μόνον μοντελοποίηση αλλά και αναστοχαστική αξιολόγηση της διαδικασίας. Αυτή η μεταγνωστική διαδικασία είχε θετικά αποτελέσματα κυρίως στους μαθητές με χαμηλότερες επιδόσεις.

Με επιτυχία εφαρμόστηκε και η θεωρία διδασκαλίας με μοντελοποίηση στη φυσική στην περίπτωση της μηχανικής και από τους Hestenes³⁹ και Halloun (Halloun & Hestenes, 1987·

³⁹ Ο Hestenes παρουσιάζει ένα αναλυτικό θεωρητικό πλαίσιο της θεωρίας του για τη μοντελοποίηση στη διδακτική και στη γνωστική ψυχολογία στο άρθρο του Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition, and Instruction που παρουσίασε το 2006 στο συνέδριο GIREP με θέμα: *Modelling in Physics and Physics Education*.

Hestenes, 1992· Wells, Hestenes & Swackhamer, 1995· Halloun 2004, 2007). Η μέθοδος που προτείνει ο Hestenes (1992) για τη διδασκαλία της μηχανικής είναι πιο κοντά σε αυτό που θα χαρακτηρίζαμε ως επιστημονική μοντελοποίηση αφού προβλέπει την αφηρημένη περιγραφή της κατάστασης και την αναπαράστασή της με συμβολικό και μαθηματικό τρόπο. Συγκεκριμένα, η μέθοδος του Hestenes περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: την περιγραφή των βασικών και παράγωγων μεταβλητών της κατάστασης σε κάποια διαγραμματική μορφή, τη διατύπωση σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, βάσει των νόμων της φυσικής, την εξαγωγή των επιπτώσεων του μοντέλου και τέλος, την εμπειρική εγκυροποίηση του μοντέλου μέσα από κατάλληλα σχεδιασμένα πειράματα.

Η πρώτη εφαρμογή της μοντελοκεντρικής μεθόδου αφορούσε στη λύση προβλήματος και πραγματοποιήθηκε σε φοιτητές που παρακολουθούσαν το μάθημα της φυσικής στο πανεπιστήμιο (Halloun & Hestenes, 1987). Η μέθοδος βασίζεται στην επιλογή ενός αριθμού χαρακτηριστικών προβλημάτων της μηχανικής, τα παραδειγματικά προβλήματα (paradigm problems) τα οποία εγείρουν και αντιμετωπίζουν τις τυπικές και καταγεγραμμένες στη βιβλιογραφία παρανοήσεις των μαθητών και τα οποία στο σύνολό τους απαιτούν για τη λύση τους την εφαρμογή όλων των βασικών τεχνικών μοντελοποίησης (περιγραφικό στάδιο με καταγραφή της κατάλληλης πληροφορίας, αναπαράσταση της πληροφορίας με διαγραμματική μορφή, και τη μετατροπή της στη γλώσσα των μαθηματικών). Τα αποτελέσματα έδειξαν μια μεγάλη βελτίωση στην επίδοση των φοιτητών στη λύση προβλήματος και κυρίως σε αυτούς με πιο χαμηλές επιδόσεις και μια επιτυχή μεταφορά της μεθοδολογίας σε νέα προβλήματα. Καταγράφηκε μάλιστα βελτίωση στην επίδοση ακόμη και στους φοιτητές στους οποίους οι διαδικασίες μοντελοποίησης είχαν παρουσιαστεί μόνο με τη μορφή διάλεξης.

Ο Wells (Wells et al. 1995) μετασημάτισε τη μέθοδο μοντελοποίησης για τη λύση προβλήματος σε μέθοδο μοντελοποίησης στη διδασκαλία στην οποία η λύση προβλήματος ήταν δευτερεύουσα της μοντελοποίησης. Η μεθοδός του είναι εργαστηριοκεντρική και προσαρμοσμένη στη μέθοδο της επιστημονικής διερεύνησης με συστηματική έμφαση στα μοντέλα και στη μοντελοποίηση. Η μέθοδος έχει τρία στάδια μάθησης, αυτό της εξερεύνησης (exploration), της επινόησης (invention - concept introduction) και της ανακάλυψης (discovery - concept application) (ό. π., σελ. 23). Στο πρώτο στάδιο οι μαθητές καλούνται να διερευνήσουν πειραματικά ένα νέο φαινόμενο και μαθαίνουν ότι αυτό είναι δυνατόν μόνο μέσω της κατασκευής ενός μοντέλου που θα αποτελέσει και το πλαίσιο για την εξερεύνηση. Έτσι οι μαθητές μαθαίνουν να εστιάζουν σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των συστημάτων που αφορούν στις σχετικές με το φαινόμενο ιδιότητές τους. Στο δεύτερο

στάδιο εισάγονται οι νέες έννοιες που είναι απαραίτητες για την περιγραφή του φαινομένου και τα συμβολικά εργαλεία που τις αναπαριστούν. Έτσι, η έμφαση είναι όχι στις απομονωμένες έννοιες αλλά στο μοντέλο, το οποίο απαιτεί τη χρήση ενός συνεκτικού συνόλου εννοιών. Σε αυτή τη φάση γίνεται η αναγνώριση των μεταβλητών και διάκρισή τους σε ανεξάρτητες και εξαρτημένες η σχέση των οποίων θα προκύψει από την πειραματική διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ τους. Στο στάδιο της ανακάλυψης το μοντέλο αποσυνδέεται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και περιγράφεται στη γενική του μορφή με την οποία εφαρμόζεται σε νέες καταστάσεις. Τα δύο πρώτα στάδια συνιστούν τη φάση της ανάπτυξης του μοντέλου (model development) και το τρίτο τη φάση της εφαρμογής (model deployment).

Ο Halloun (2004, 2007) έχει ενσωματώσει αυτή μέθοδο σε ένα κατάλληλα διαμορφωμένο αναλυτικό πρόγραμμα της μηχανικής το οποίο στηρίζεται όχι στη διδασκαλία εννοιών ή νόμων, όπως συμβαίνει συνήθως στα αναλυτικά προγράμματα, αλλά που είναι δομημένο γύρω από βασικά μοντέλα της μηχανικής (Ενθετο 1). Κάθε ενότητα, που αφορά σε ένα μοντέλο, δεν παρουσιάζει το τελικό προϊόν της θεωρίας αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο οδηγιών που καθοδηγεί τους μαθητές σε συγκεκριμένες φάσεις μοντελοποίησης με στόχο την κατασκευή ενός συγκεκριμένου μοντέλου που ενσωματώνεται στη θεωρία. Η κατανόηση αυτών των βασικών μοντέλων από τους μαθητές συνιστά τις διαδικασίες μύησής τους στις βασικές έννοιες, τους νόμους και τους κανόνες της θεωρίας που είναι απαραίτητοι για την κατασκευή οποιουδήποτε μοντέλου της θεωρίας και οι οποίοι εισάγονται όταν και όπου αυτό είναι απαραίτητο για τη μοντελοποίηση (Halloun, 2004, σ. 141-142).

Το χαρακτηριστικό της έρευνας αυτής της ομάδας είναι ότι δίνει έμφαση στη μεθοδολογία κατασκευής των μοντέλων που απαιτεί τη θεωρητική περιγραφή των συστημάτων που αυτά αναπαριστούν μέσω των βασικών υποθέσεων και των εννοιών της αντίστοιχης θεωρίας. Επίσης, περιλαμβάνει και τη μαθηματική περιγραφή του μοντέλου που, στην περίπτωση της φυσικής, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις έννοιες και τις σχέσεις μεταξύ τους αφού σε αυτήν στηρίζεται και η ποσοτικοποίηση της οποιασδήποτε παρατήρησης.

Η προσέγγιση των Hestenes (1992) και Halloun (2004) είναι απόρροια της επιστημολογικής θέσης ότι «ο Νευτώνειος Κόσμος είναι ένας εννοιολογικός κόσμος πιθανών μοντέλων για τα πραγματικά αντικείμενα και τις διαδικασίες στο φυσικό κόσμο... Τα φυσικά φαινόμενα ερμηνεύονται (και συνεπώς γίνονται κατανοητά) με την εφαρμογή έγκυρων μοντέλων που τα αναπαριστούν» (Hestenes, 1992 σελ. 733).

Η φιλοσοφική θέση του Halloun (2007) είναι σύμφωνη με τις σημασιολογικές αναλύσεις

1. Εισαγωγή στην μοντελοποίηση της μεταφορικής κίνησης:

Συστήματα αναφοράς, μεταφορά και περιστροφή, γαλιλεϊκά μοντέλα του υλικού σημείου για τα σώματα (Galilean particle models) θέση, χρονική στιγμή και χρονικό διάστημα, απόσταση, μετατόπιση, τροχιά.

2. Ελεύθερο υλικό σημείο: Κινηματικό μοντέλο.

3. Ομαλά επιταχυνόμενο υλικό σημείο: Κινηματικό μοντέλο.

4. Ελεύθερο και ομαλά επιταχυνόμενο υλικό σημείο: Δυναμικά μοντέλα με τους νόμους του Νεύτωνα.

5. Ελεύθερο και ομαλά επιταχυνόμενο υλικό σημείο: Δυναμικά μοντέλα με τους νόμους διατήρησης.

6. Υλικό σημείο που εκτελεί αρμονική ταλάντωση (Γενικό μηχανικό μοντέλο).

Πίνακας 2: Μέρος του εγχειριδίου του διδακτικού προγράμματος του Halloun για τη φυσική επιπέδου Λυκείου και Πανεπιστημίου.

των επιστημονικών θεωριών, δηλαδή ότι μια θεωρία συνίσταται από ένα σύνολο μοντέλων ή οικογένειες μοντέλων και ένα σύνολο γενικών κανόνων και θεωρητικών δηλώσεων (αξιώματα, νόμους, κλπ.) που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μοντέλων. Αυτοί οι κανόνες συσχετίζουν τα μοντέλα με μοτίβα του πραγματικού κόσμου, τα οποία και αναπαριστούν. Αυτή όμως η αντίληψη βρίσκεται σε αντίθεση με τις αρχικές αντιλήψεις των μαθητών οι οποίες περιγράφονται καλύτερα από μια αριστοτελική φιλοσοφία της περιγραφής του κόσμου μέσω των αισθήσεων. Αυτό που μπορεί να πετύχει η μοντελοκεντρική θεωρία για τη διδακτική είναι μετακίνηση των αντιλήψεων των μαθητών προς τη γαλιλεϊκή αντίληψη ότι για να μελετήσουμε το φυσικό κόσμο πρέπει, σε κάποια φάση της διαδικασίας, να απομακρυνθούμε από την εμπειρία και να μπούμε στον ορθολογικό κόσμο των εννοιολογικών μοντέλων μέσω των οποίων μπορούμε έμμεσα να μελετήσουμε τον εμπειρικό (Halloun, 2007, σελ. 8).

Αυτό που δεν αναφέρουν οι Hestenes και Halloun, τουλάχιστον όχι ρητά, είναι ότι η απομάκρυνση από την εμπειρία γίνεται μέσα από μια σειρά αφαιρέσεων και εξιδανικεύσεων στα υπό μελέτη συστήματα που υπαγορεύονται από τη θεωρία και όχι μόνο. Οι διαδικασίες αυτές είναι σημαντικές διότι η παρουσία τους εξηγεί και τις διαφορές ανάμεσα στις προβλέψεις της θεωρίας και στα εμπειρικά αποτελέσματα. Οι διαφορές αυτές μπορούν όμως και να σμικρυνθούν αφού όταν εφαρμόζουμε το μοντέλο μπορούμε να πλησιάσουμε το φυσικό σύστημα μέσα από διαδικασίες απεξιδανίκευσης, δηλαδή της αναίρεσης κυρίως των

αφαιρέσεων ώστε να εισαγάγουμε στο μοντέλο, σε κάποιο βαθμό, την πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου. Οι διαδικασίες αυτές της εξιδανίκευσης (και της αφαίρεσης) και της απεξιδανίκευσης γίνονται σε διαφορετικές φάσεις της μοντελοποίησης που προβλέπει ο Halloun. Η πρώτη γίνεται κατά την κατασκευή ενός μοντέλου (model construction) και η δεύτερη όταν το μοντέλο εφαρμόζεται σε πραγματικά συστήματα (model deployment) και συνεπώς οι δύο έννοιες ταιριάζουν και μπορούν να εμπλουτίσουν τη διδακτική προσέγγιση του Halloun.

Μερικές από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζουν οι μαθητές στη μοντελοποίηση, και που γίνονται εμφανείς στην κατασκευή μοντέλων πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, σχετίζονται με τις αντιλήψεις που έχουν οι μαθητές για τα μοντέλα και με το ρόλο των διαδικασιών της αφαίρεσης και της εξιδανίκευσης που είναι σημαντικές στη μεθοδολογία της κατασκευής τους. Η αντίληψη ότι τα μοντέλα είναι αντίγραφα της πραγματικότητας και όχι μέσα περιγραφής και εξήγησης πιθανών μηχανισμών που έχουν ως συνέπεια τις παρατηρούμενες συμπεριφορές των συστημάτων οδηγεί τους μαθητές στο συμπέρασμα ότι η εγκυρότητα του μοντέλου ενός φαινομένου έγκειται στην ποσότητα της πληροφορίας που περιλαμβάνει. Έτσι, πιστεύουν ότι για να κατασκευάσουν ένα μοντέλο πρέπει να έχουν πλήρη κατανόηση του φαινομένου που αυτό αναπαριστά (Nicolaou et al, 2006) και ανησυχούν αν έχουν λάβει υπόψη τους όλες συνιστώσες του πραγματικού συστήματος (Sins, Savelsbergh, & van Joolingen, 2005) αποδίδοντας στο μοντέλο έναν ρόλο περισσότερο περιγραφικό παρά διερευνητικό (Hogan & Thomas, 2001). Μόνο λίγοι μαθητές διατηρούν το αρχικό τους μοντέλο σχετικά απλό και αυξάνουν σταδιακά την πολυπλοκότητά του ελέγχοντας ταυτόχρονα και τις συνέπειες των νέων παραγόντων που εισήγαγαν στο μοντέλο, ακολουθούν δηλαδή μια διαδικασία εξιδανίκευσης και ελεγχόμενης απεξιδανίκευσης (Sins et al, 2005, Hogan & Thomas, 2001) με την οποία να προσπαθούν να πλησιάσουν σε μια πιο πλήρη περιγραφή του φαινομένου. Επίσης, μόνο λίγοι μαθητές, αυτοί που τελικά κατασκευάζουν και τα πιο επιτυχημένα μοντέλα, αναφέρονται, στην επιχειρηματολογία τους κατά την κατασκευή ενός μοντέλου, στη σχετική με το φαινόμενο γνώση τους από το αντίστοιχο επιστημονικό πεδίο ενώ οι περισσότεροι χρησιμοποιούν ως αναφορά για την εξήγηση της συμπεριφοράς του μοντέλου την εμπειρία (Sins et al, 2005· Hogan & Thomas, 2001). Αυτό έχει ως συνέπεια να μην χρησιμοποιούν τους σχετικούς νόμους (ειδικότερα στη φυσική) και τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών που αυτοί συνεπάγονται. Αντίθετα, εάν έχουν τη διάθεσή τους εμπειρικά δεδομένα, δίνουν συγκεκριμένες τιμές σε μεταβλητές προσπαθώντας, με μια μέθοδο δοκιμής και λάθους, να πλησιάσουν τα επιθυμητά αποτελέσματα (Sins, et al, 2005· Hogan & Thomas, 2001). Αυτές

οι παρατηρήσεις κάνουν φανερό ότι οι μαθητές χρειάζεται να γνωρίζουν κάποια μεθοδολογικά στοιχεία για την κατασκευή των μοντέλων, κυρίως αναφορικά με την αφαίρεση και την εξιδανίκευση. Η γνώση για τις διαδικασίες αυτές είναι επίσης σημαντική διότι έρχεται σε σύγκρουση με την αντίληψη ότι το μοντέλο είναι αντίγραφο της πραγματικότητας. Η κατανόηση του σκεπτικού της εφαρμογής των εξιδανικεύσεων και των αφαιρέσεων καθιστά πιο εύκολη και εύλογη την αντίληψη ότι το μοντέλο είναι μια θεωρητική και όχι μια ρεαλιστική περιγραφή του φαινομένου.

6.4.2 Μοντελοκεντρική διδασκαλία και επιστημολογική ενημερότητα

Η επιστημολογική ενημερότητα εδώ αναφέρεται τόσο στην κατανόηση που αποκτούν οι μαθητές για το ρόλο των νόμων ή για την επιστημονική εξήγηση δηλαδή για τη φύση της επιστημονικής γνώσης όσο και στη γνώση που έχουν οι μαθητές για το ρόλο των μοντέλων στη μελέτη των φαινομένων, για τις διαδικασίες ανάπτυξης και ελέγχου των μοντέλων μέσω των πειραματικών τεκμηρίων και για τη σχέση μεταξύ του μοντέλου και του φυσικού κόσμου. Μια τέτοια κατανόηση μπορεί να αποτελέσει πρότυπο για την αντιμετώπιση και την εξερεύνηση του κόσμου γενικότερα, δηλαδή να αποτελέσει ένα *μεθοδολογικό πρότυπο του επιστημονικού «σκέπτεσθαι»* το οποίο μπορεί να εμπλουτίσει την κουλτούρα που οι μαθητές θα μεταφέρουν αργότερα και στην καθημερινή ζωή.

Στην έρευνα της White (1993), οι μαθητές συνήγαγαν τους νόμους του Νεύτωνα από τις δραστηριότητες τους με το λογισμικό που λειτουργούσε με βάση αυτούς τους νόμους. Η μοντελοποίηση φαίνεται να βοήθησε τους μαθητές να κατανοήσουν τη χρησιμότητα των νόμων, στοιχείο που σχετίζεται με τη φύση της επιστημονικής γνώσης και εξήγησης (ό. π. σ. 59). Η εμπλοκή όμως των μαθητών σε δραστηριότητες μοντελοποίησης και η βελτίωση των δεξιοτήτων τους στις διαδικασίες διερώτησης και μοντελοποίησης δεν εγγυάται απαραίτητα και την κατανόηση της επιστημολογικής πτυχής των μοντέλων. Οι αντιλήψεις των μαθητών για τη φύση και χρήση των μοντέλων δεν άλλαξαν σημαντικά μετά τη εφαρμογή ενός αναλυτικού προγράμματος μοντελοποίησης με έμφαση στην εννοιολογική αλλαγή για τη διάκριση μεταξύ βάρους και πυκνότητας και μεταξύ θερμότητας και θερμοκρασίας (Carey & Smith, 1993). Ακόμη όμως και όταν η έμφαση του αναλυτικού είναι στην κατανόηση της επιστημονικής μοντελοποίησης η επιτυχία μπορεί να είναι μόνο μερική. Για παράδειγμα στην έρευνα των Schwarz και White (1998) με μαθητές γυμνασίου, στην οποία οι μαθητές κατασκεύαζαν μοντέλα σε μη-Νευτώνειους κόσμους ενώ υπήρξε βελτίωση στην κατανόηση των μαθητών για τη φύση και τη χρησιμότητα των μοντέλων, δεν παρατηρήθηκε ανάλογη βελτίωση αναφορικά με τις διαδικασίες κατασκευής και αξιολόγησης των μοντέλων. Η επιστημολογική επιτήδευση μάλλον απαιτεί κάτι

περισσότερο από την εμπλοκή των μαθητών σε διαδικασίες μοντελοποίησης. Φαίνεται ότι σε ένα αναλυτικό που βασίζεται στα μοντέλα και στη μοντελοποίηση χρειάζεται και ένα επίπεδο μετα-μοντελοποίησης, δηλαδή απόκτησης γνώσης για τη μοντελοποίηση, που στοχεύει όχι μόνο στην ικανότητα των μαθητών να κατασκευάζουν μοντέλα αλλά και στο να διαμορφώσουν ξεκάθαρες θεωρίες για τα μοντέλα. Διαδικασίες μοντελοποίησης που περιλαμβάνουν ρητές αναφορές και δραστηριότητες σε επιστημολογικά θέματα φαίνεται να είναι πιο αποτελεσματικές (Schwarz & White, 2005). Το περιεχόμενο των δραστηριοτήτων και οι επιστημολογικές πτυχές που εγείρονται από αυτό έχουν επίσης επίδραση στις αντιλήψεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας (Schwarz, 2002).

Οι έρευνες δείχνουν επίσης ότι η σχέση της επιστημολογίας με την κατανόηση του περιεχομένου της επιστήμης μέσω μοντελοποίησης είναι αμφίδρομη. Στην έρευνα της Schwarz (2002) η γνώση που απέκτησαν δεκαεπτάχρονοι μαθητές για τη μοντελοποίηση είχε ισχυρή συσχέτιση με τη γνώση του περιεχομένου που απέκτησαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Η ερευνήτρια απέδωσε τη συσχέτιση στις αναστοχαστικές δραστηριότητες που περιλάμβανε η διδακτική παρέμβαση. Όμως προέκυψε και το ενδιαφέρον αποτέλεσμα της συσχέτισης της αρχικής γνώσης για τα μοντέλα με τη γνώση του περιεχομένου που απέκτησαν οι μαθητές. Δύο έρευνες που χρησιμοποίησαν μοντελοποίηση με βάση τη θεωρία των τεκτονικών πλακών για τη μάθηση για τα γεωλογικά φαινόμενα έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα. Στην πρώτη (Gobert & Discenna, 1997) οι μαθητές με πιο επιτηδευμένες επιστημολογικές απόψεις για τα μοντέλα είχαν καλύτερες επιδόσεις στη μεταφορά της γνώσης που απέκτησαν με τη μοντελοποίηση σε άλλα φαινόμενα που σχετίζονται με τη θεωρία των τεκτονικών πλακών και που απαιτούσαν την περιγραφή πιο πολύπλοκων αιτιακών μηχανισμών της θεωρίας. Στη δεύτερη οι Gobert και Palland (2004) χρησιμοποίησαν το ίδιο θέμα για να εξετάσουν τη σχέση μεταξύ των επιστημολογικών αντιλήψεων και της μάθησης του περιεχομένου. Η διδακτική παρέμβαση έγινε σε 1100 μαθητές γυμνασίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές με πιο επιτηδευμένες επιστημολογίες αναφορικά με τα μοντέλα είχαν μεγαλύτερη βελτίωση στη μάθηση του περιεχομένου από τους συμμαθητές τους με πιο απλοϊκές αντιλήψεις. Φαίνεται ότι οι ορθές επιστημολογικές αντιλήψεις για τη φύση των μοντέλων και για το πώς αυτά χρησιμοποιούνται για τις προβλέψεις υποστηρίζουν τη μάθηση του περιεχομένου διότι οι μαθητές χρησιμοποιούν αυτή τη γνώση όταν μαθαίνουν από τα μοντέλα και όταν συλλογίζονται με αυτά (ό. π. σ. 15). Αυτό το συμπέρασμα υποστηρίζεται και από ευρήματα που προκύπτουν από την έρευνα των Sins et al (2009) στο πεδίο της γνωστικής ψυχολογίας. Το ερώτημα της έρευνας ήταν αν η καλύτερη επιστημολογική κατανόηση των διαδικασιών

κατασκευής και επεξεργασίας ενός μοντέλου σχετίζεται με διαφορές στο είδος της γνωστικής επεξεργασίας των δεδομένων κατά τη διάρκεια της μοντελοποίησης. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε μαθητές ηλικίας 16-18 ετών οι οποίοι έπρεπε να συμπληρώσουν ένα ημιτελές μοντέλο από το πεδίο της μηχανικής. Συγκεκριμένα, το έργο αφορούσε στην ολοκλήρωση ενός μοντέλου για την κίνηση ενός παγοδρόμου με βάση κάποια ποσοτικά δεδομένα που είχαν δοθεί στους μαθητές με τη μορφή γραφικών παραστάσεων. Οι ερευνητές διέκριναν τις γνωστικές διαδικασίες που χρησιμοποίησαν οι μαθητές σε επιφανειακή και βαθιά επεξεργασία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ επιστημολογικών αντιλήψεων και βαθιάς επεξεργασίας και αρνητική συσχέτιση μεταξύ επιστημολογικών αντιλήψεων και επιφανειακής επεξεργασίας. Το βασικό χαρακτηριστικό της βαθιάς επεξεργασίας ήταν η αναφορά στη γνώση για την ανάλυση, την εξήγηση και την ποσοτικοποίηση του φαινομένου μέσα από τη διερεύνηση σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών ενώ της επιφανειακής επεξεργασίας ήταν η απουσία αναφορών στη γνώση και η ποσοτικοποίηση μέσα από μια προσπάθεια προσαρμογής των τιμών στο μοντέλο ώστε τα αποτελέσματά του να ταιριάζουν με τα ποσοτικά δεδομένα. Μια πιθανή ερμηνεία της συσχέτισης είναι ότι οι μαθητές που επεδείκνυαν βαθιά επεξεργασία αντιλαμβάνονταν το μοντέλο ως την αναπαράσταση μιας ιδέας η βελτίωση της οποίας απαιτεί μια επεξεργασία βασισμένη στην κατανόηση των πτυχών του φαινομένου, αντίληψη που αντιστοιχεί σε επιτηδευμένες επιστημολογικές αντιλήψεις.

Η υπόθεση για μια συσχέτιση μεταξύ των επιστημολογικών αντιλήψεων και της μάθησης εκφράζεται στην εκπαιδευτική ψυχολογία με μια σειρά επιστημολογικών θεωριών που αφορούν στις πεποιθήσεις των μαθητών για τη γνώση και τη μάθηση και τη σχέση τους τη μάθηση (Hofer & Pintrich, 1997). Τα σχετικά ερευνητικά ευρήματα δείχνουν ότι μαθητές με πιο επιτηδευμένες αντιλήψεις για τη γνώση γενικότερα τείνουν να έχουν εσωτερικά κίνητρα για μάθηση, κάνουν περισσότερη χρήση μαθησιακών στρατηγικών υψηλότερου επιπέδου, έχουν καλύτερες επιδόσεις και αναφέρουν υψηλότερα επίπεδα θεωρούμενης επίδοσης (Hofer, 1994· Young, 2005). Ένας μηχανισμός που έχει προταθεί για να εξηγήσει την επίδραση των επιστημολογικών πεποιθήσεων στη μάθηση είναι αυτός της επιλογής της μαθησιακής στρατηγικής (Ryan, 1984· Schommer 1990). Για παράδειγμα, μαθητές με απλοϊκή επιστημολογία που θεωρούν τη γνώση ως σωστή ή λανθασμένη ικανοποιούνται από αυτά που έχουν μάθει, αν μπορούν να τα ανακαλούν ενώ αυτοί με πιο σχετικιστικές αντιλήψεις ικανοποιούνται όταν μπορούν να εφαρμόσουν την πληροφορία σε νέες καταστάσεις (Ryan, 1984). Στο πεδίο των μαθηματικών, τα ευρήματα της έρευνας του Schoenfeld (1989) έδειξαν ότι όταν οι μαθητές πιστεύουν ότι τα μαθηματικά μπορούν να

παραχθούν χωρίς να χρειάζεται αποστήθιση, χρησιμοποιούν πιο παραγωγικές στρατηγικές μάθησης. Με τον ίδιο τρόπο, το πλέγμα των επιστημολογικών αντιλήψεων για τα μοντέλα μπορεί να καθορίζει τις γνωστικές στρατηγικές που χρησιμοποιούν οι μαθητές όταν κατασκευάζουν μοντέλα και όταν συλλογίζονται με αυτά.

ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ ΑΝΔΡΕΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.

ΠΟΙΑ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ;

Όπως έγινε φανερό από την περιγραφή των αναλύσεων για τη δομή των επιστημονικών θεωριών και την έννοια του μοντέλου στο πρώτο κεφάλαιο, οι διάφορες φιλοσοφικές προσεγγίσεις που προτάθηκαν κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα έχουν πολλές διαφορές μεταξύ τους, τόσο ως προς το στόχο που υπηρετούν όσο και ως προς τις επιστημολογικές τους αντιλήψεις στις οποίες βασίζονται, με συνέπεια να δίνουν, όπως είδαμε, διαφορετικές απαντήσεις στα ερωτήματα που τίθενται για τα μοντέλα. Αυτό συνιστά πρόκληση για την εισήγηση της ένταξης της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου στη διδασκαλία αφού προϋποθέτει την επιλογή μιας από αυτές για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια να απαντηθεί αυτό το ερώτημα, συγκεκριμένα, ποια φιλοσοφική ανάλυση που αφορά στα μοντέλα και στους ρόλους τους στην επιστήμη είναι κατάλληλη για αξιοποίηση στη διδασκαλία;

7.1 Τα κριτήρια επιλογής της κατάλληλης θεωρητικής προσέγγισης στην έννοια του μοντέλου στη διδακτική

Η επιλογή του εννοιολογικού πλαισίου για την έννοια του μοντέλου που είναι κατάλληλο για τη διδασκαλία θα πρέπει να ικανοποιεί κάποια κριτήρια τα οποία καθορίζονται από παράγοντες που σχετίζονται κυρίως με τη διδασκαλία. Αυτοί είναι:

(α) *Οι στόχοι που θέλουμε να πετύχουμε με την εισαγωγή της έννοιας.* Οι στόχοι αυτοί περιεγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και συνοπτικά είναι: η μάθηση της επιστήμης και η μάθηση για την επιστήμη, τα μοντέλα ως μέσο σύνδεσης των επιστημονικών ισχυρισμών με τον κόσμο και ως βασικό μεθοδολογικό εργαλείο της επιστήμης το οποίο θα δώσει και νόημα στις μοντελοκεντρικές διδακτικές πρακτικές που εισηγείται η διδακτική των φυσικών επιστημών και θα βοηθήσει στην παρουσίαση μιας πιο αυθεντικής εικόνας της επιστήμης και των πρακτικών της. Με άλλα λόγια, το μοντέλο, όχι ως αντικείμενο φιλοσοφικού στοχασμού αλλά η αξιοποίηση της έννοιας του μοντέλου ως μιας δομής γνώσης και ενός μεθοδολογικού εργαλείου της επιστήμης με έμφαση στους ρόλους που τα μοντέλα έχουν στην επιστήμη για μια πιο έγκυρη και ενημερωμένη κατανόηση του περιεχομένου και της φύσης της επιστήμης,

(β) *Οι κυρίαρχες αντιλήψεις στη σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης.* Αυτό είναι απαραίτητο για να εξασφαλίζεται ο απαραίτητος βαθμός εγκυρότητας στο πλαίσιο που διαμορφώνεται μέσω της διδασκαλίας για την επιστημονική γνώση. Όπως έγινε φανερό από τη σχετική

επισκόπηση στο πρώτο κεφάλαιο, είναι κοινή παραδοχή στη φιλοσοφία της επιστήμης ότι τα μοντέλα αποτελούν τις δομές στις οποίες είναι συγκεντρωμένη και οργανώνεται όλη η υπάρχουσα επιστημονική γνώση και ότι η επιστημονική έρευνα στηρίζεται στην κατασκευή και στη διαχείριση μοντέλων. Η τάση των σύγχρονων φιλοσοφικών αναλύσεων της επιστήμης είναι να γίνονται περισσότερο πραγματιστικές και νατουραλιστικές, δηλαδή προσπαθούν να απεικονίσουν, όσο το δυνατόν καλύτερα, τις επιστημονικές διαδικασίες, όπως αυτές λαμβάνουν χώρα στην καθημερινή πρακτική της επιστημονικής έρευνας και αυτές είναι κατά κύριο λόγο μοντελοκεντρικές.

(γ) *Η ανάλυση που θα χρησιμοποιηθεί να είναι λειτουργική και περιεκτική.* Λειτουργική διότι θα πρέπει να αναδεικνύει τις επιστημονικές πρακτικές και την επιστημονική μεθοδολογία όχι μια φιλοσοφική ανασυγκρότησή τους. Περιεκτική δηλαδή να περιλαμβάνει πολλά από τα είδη των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη έτσι ώστε να προσφέρεται για μια διαθεματική προσέγγιση του ζητήματος και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί εποικοδομητικά όχι μόνο στη φυσική και στις άλλες φυσικές επιστήμες αλλά και σε άλλα πεδία γνώσης, όπως τα οικονομικά και όχι μόνο στα πλαίσια της εκπαίδευσης αλλά και έξω από αυτά,

(δ) *Το περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων.* Τα αναλυτικά προγράμματα περιλαμβάνουν επιστημονικά μοντέλα και παρόλα αυτά η διδασκαλία παραμένει σιωπηλή ως προς το ρόλο που αυτές οι κατασκευές έχουν στην επιστημονική πρακτική και στην ανάπτυξη της γνώσης. Ασφαλώς, τα περισσότερα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη φυσική αλλά και στις άλλες φυσικές επιστήμες του σχολικού προγράμματος, δεν είναι τα επιστημονικά αλλά είναι κατάλληλα διαμορφωμένα τουλάχιστον, ως προς το μαθηματικό τους φορμαλισμό και όχι μόνο, σε ένα επίπεδο που είναι απαραίτητο για κάθε μοντέλο και για κάθε επίπεδο μάθησης. Είναι δηλαδή διδακτικές εκδοχές των επιστημονικών μοντέλων, τα οποία είναι συνεπή με την επιστημονική γνώση. Στη βιβλιογραφία της διδακτικής χαρακτηρίζονται ως εννοιολογικά μοντέλα (conceptual models) (Greca & Moreira, 2002). Παρ' όλα αυτά τα σχολικά μοντέλα φέρουν πολλά από τα χαρακτηριστικά των ομολογών τους επιστημονικών και μπορούν να αξιοποιηθούν σε πολλά επίπεδα και με πολλούς τρόπους στη διδασκαλία για τα μοντέλα στην επιστήμη.

(ε) *Το κατάλληλο είδος και βάθος της ανάλυσης.* Το ζητούμενο από την εισαγωγή της έννοιας του μοντέλου στη διδασκαλία δεν είναι η συμπερίληψη της φιλοσοφίας της επιστήμης στα αναλυτικά προγράμματα των φυσικών επιστημών. Η πρόταση που υποστηρίζεται εδώ είναι για ένα αναλυτικό πρόγραμμα εμπλουτισμένο με εκείνα τα στοιχεία από τη φιλοσοφία της

επιστήμης που θα ενισχύσουν τη διδασκαλία της επιστήμης και θα βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση των πτυχών της και τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να είναι ενσωματωμένα στο περιεχόμενο. Επειδή απευθυνόμαστε σε μαθητές, τα στοιχεία αυτά θα πρέπει να επιτρέπουν την προσαρμογή τους στο επίπεδο κατανόησης των μαθητών ώστε οι περισσότεροι από αυτούς να μπορούν να ακολουθούν το αναλυτικό πρόγραμμα με επιτυχία, χωρίς όμως αυτή η αναπροσαρμογή να οδηγεί σε στρέβλωση των ισχυρισμών της φιλοσοφίας.

(στ) *Τα διαθέσιμα χρονικά περιθώρια.* Όλοι οι μάχιμοι εκπαιδευτικοί αντιμετωπίζουν το πρόβλημα του διαθέσιμου χρόνου για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών στα σχολικά ωρολόγια προγράμματα. Τα χρονικά περιθώρια είναι καθοριστικής σημασίας και αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους η εισήγηση τονίζει ότι η σχετική διδασκαλία πρέπει να είναι ενσωματωμένη στο εννοιολογικό περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων.

7.2 Αξιολόγηση της εκπαιδευτικής καταλληλότητας των φιλοσοφικών αναλύσεων

7.2.1 Η συντακτική ανάλυση των θεωριών

Από όσα έχουμε ήδη αναφέρει στο πρώτο κεφάλαιο είναι προφανές ότι η ανάλυση αυτή δεν ικανοποιεί κανένα από τα πιο πάνω κριτήρια και για αυτό θα αναφερθούμε συνοπτικά στα προβλήματα που παρουσιάζει. Η έννοια του μοντέλου υπάρχει στο πλαίσιο της λογικής ανάλυσης των θεωριών, σε αυτό όμως τα μοντέλα έχουν ρόλο μόνο στη διαμόρφωση της θεωρίας ως συστήματα από τα οποία προκύπτουν οι νόμοι της θεωρίας ή ως ερμηνείες του τυπικού φορμαλισμού για τις οποίες ένα υποσύνολο ή το σύνολο των νόμων της θεωρίας καθίστανται αληθείς (Adúriz-Bravo, 2013) ενώ ο Carnap (1938, σ. 210) τους αναγνωρίζει και ένα ρόλο ως μέσο εκπαίδευσης, αλλά όχι ως φορέων γνώσης. Αντικείμενο μελέτης της συντακτικής ανάλυσης ήταν οι θεωρίες ως το τελικό προϊόν μιας επιστημονικής διαδικασίας. Ο σκοπός της ΣΥΑ ήταν η εκλογίκευση της επιτυχίας της επιστήμης μέσα από την ορθολογική ανασυγκρότηση των θεωριών και τη δημιουργία ενός προτύπου για την αξιολόγηση όλων των θεωριών που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως επιστημονικές. Αποτελούσε, δηλαδή, η συντακτική περιγραφή μια μεταθεωρητική ανάλυση των επιστημονικών θεωριών η οποία περιέγραφε ένα πρότυπο επιστημονικής θεωρίας διαμορφώνοντας παράλληλα κριτήρια για την οριοθέτηση της επιστήμης. Και επειδή στόχευε στη δημιουργία ενός προτύπου θεωρίας που θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως επιστημονική ήταν κανονιστική, αφού η ανάλυση στόχευε όχι στην περιγραφή του τι κάνουν οι επιστήμονες αλλά υπαγόρευε τι θα έπρεπε να κάνουν. Με άλλα λόγια, η συντακτική

ανάλυση απαντούσε στο ερώτημα «τι πρέπει να είναι μια επιστημονική θεωρία». Η ακαταλληλότητά της για την εκπαίδευση δεν οφείλεται μόνο στο ότι δεν είναι μια από τις κυρίαρχες αντιλήψεις στη σύγχρονη φιλοσοφία αλλά κυρίως επειδή συνιστά μια προσπάθεια περιγραφής ενός «πλαισίου δικαιολόγησης» των επιστημονικών θεωριών το οποίο δεν βοηθάει στην κατανόηση ούτε του περιεχομένου της επιστήμης ούτε των επιστημονικών πρακτικών αφού ασχολείται αποκλειστικά με την επιστημονική γνώση ως το τελικό προϊόν των πρακτικών αυτών.

7.2.2 Η σημασιολογική ανάλυση των θεωριών

Οι σημασιολογικές αναλύσεις, που αντικατέστησαν τη συντακτική, είναι σήμερα ίσως οι μόνες προσπάθειες για μια καθολική θεώρηση της επιστήμης και, κυρίως, της επιστημονικής γνώσης στο φιλοσοφικά κατακερματισμένο πεδίο στην εποχή μετά τον Kuhn (French & Ladyman, 1999). Εκ πρώτης όψεως, οι ΣΗΑ έχουν χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στην εκπαίδευση και αυτό δεν πέρασε απαρατήρητο από τους ερευνητές της διδακτικής ή από φιλοσόφους με ενδιαφέρον για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, όπως είδαμε στην περιγραφή των επιδράσεων της φιλοσοφίας στη διδακτική των επιστημών στο τέταρτο κεφάλαιο. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ότι: (α) τοποθετεί τα μοντέλα στο επίκεντρο της επιστήμης και της επιστημονικής πρακτικής, (β) προσφέρει έναν ορισμό για την έννοια της επιστημονικής θεωρίας με βάση την έννοια του μοντέλου και (γ) εισηγείται και σχέσεις μεταξύ των μοντέλων και του κόσμου.

Όλα αυτά όμως υπό το πρίσμα της προσπάθειας να δοθεί μια απάντηση σε ένα ερώτημα παρόμοιο με αυτό της ΣΥΑ, συγκεκριμένα στο «τι είναι μια επιστημονική θεωρία;» διότι οι ΣΗΑ ευελπιστούν να περιγράψουν τη δομή και την οργάνωση της γνώσης στην πραγματική επιστήμη. Αντίθετα όμως από την συντακτική ανάλυση, όλες οι εκδοχές των ΣΗΑ θεωρούν ότι «τα μοντέλα [και όχι οι θεωρίες] είναι οι κύριοι φορείς της επιστημονικής γνώσης» (Suppe, 2000) και ότι τα μοντέλα αποτελούν το αντικείμενο της επιστημονικής έρευνας ή τα μέσα με τα οποία διεξάγεται η έρευνα αυτή. Όπως όμως και η συντακτική ανάλυση, οι ΣΗΑ αναφέρονται στη δομή των ολοκληρωμένων θεωριών, χωρίς όμως να αποκλείουν τη επέκτασή τους, και τις οποίες, αντίθετα από τη ΣΥΑ, ταυτίζουν με το σύνολο των μοντέλων τους και συνεπώς έχουν λίγα πράγματα να πουν για τη διαμόρφωση των θεωριών αυτών. Επειδή όμως ο κύριος στόχος των αναλύσεων αυτών είναι η δομή των θεωριών, η προσπάθεια εστιάζει στην περιγραφή της σχέσης των μοντέλων με τη θεωρία και με τον κόσμο, και στη διατύπωση της σχέσης αυτής με το μαθηματικό φορμαλισμό της ανάλυσης. Αυτό έχει διάφορες συνέπειες. Πρώτον, οι σχέσεις αυτές περιγράφονται στη βάση μαθηματικών φορμαλισμών που χρησιμοποιούνται σε κάθε εκδοχή των ΣΗΑ με λιγότερες

ή περισσότερες χαλαρώσεις (ισομορφισμό, μερικό ισομορφισμό ή ομομορφισμό). Δεύτερον, η ανάλυση αφορά μόνο στα μοντέλα που προκύπτουν ως παραγωγικές συνέπειες μιας συγκεκριμένης σε κάθε περίπτωση θεωρίας, τα θεωρητικά μοντέλα, με τυπικό παράδειγμα αυτό της κλασικής μηχανικής στη φυσική. Τρίτον, αναφέρεται περισσότερο στα μοντέλα και στη σχέση τους με τη θεωρία και λιγότερο στη διαδικασία μοντελοποίησης και στη μεθοδολογία προσαρμογής των μοντέλων στα πραγματικά συστήματα. Ειδικά τα δύο τελευταία σημαίνουν ότι πολλές κατηγορίες μοντέλων, όπως τα *φαινομενολογικά* δεν συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση. «Τα φαινομενολογικά είναι ένα είδος μαθηματικών μοντέλων που κατασκευάζονται από τους φυσικούς για την εφαρμογή της θεωρίας στα φαινόμενα» (Portides, 2011). Παραδείγματα φαινομενολογικών μοντέλων είναι: τα μοντέλα του ατομικού πυρήνα, τα μοντέλα που εξηγούν συγκεκριμένα φαινόμενα, όπως αυτό της υπεραγωγιμότητας ή τα μοντέλα που χρησιμοποιούν ισχυρισμούς από περισσότερες από μία θεωρίες, τα μοντέλα πρότυπων οργανισμών στη βιολογία που περιγράφουν συγκεκριμένους μηχανισμούς που εξηγούν κάποιες βιολογικές συμπεριφορές κ.ά. Η κατασκευή τέτοιων μοντέλων δεν εξηγείται επαρκώς από τη σημασιολογική ανάλυση. Για την κατασκευή μοντέλων που είναι αληθή στο τι πραγματικά συμβαίνει στον κόσμο ο επιστήμονας πρέπει να υπερβεί τη θεωρία. Επειδή οι θεωρίες παρέχουν ισχυρισμούς που αφορούν μόνο σε αφηρημένες σχέσεις μεταξύ αφηρημένων εννοιών, οι ισχυρισμοί αυτοί πρέπει να βελτιωθούν σε κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή (Cartwright, 1999 σ. 242-243). Κατά συνέπεια, ακόμη και τα θεωρητικά μοντέλα, για να καταστούν πραγματικώς αναπαραστατικά και να μπορούν να εξηγήσουν και να προβλέψουν τις συμπεριφορές των πραγματικών συστημάτων, θα πρέπει να συμπληρωθούν με φαινομενολογικά στοιχεία που προκύπτουν από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των συστημάτων αυτών. Για παράδειγμα, το μοντέλο του απλού εκκρεμούς συνίσταται από το θεωρητικό μοντέλο του απλού αρμονικού ταλαντωτή συμπληρωμένο με εννοιολογικά συστατικά που εξηγούν τους διάφορους μηχανισμούς που επιδρούν στη συμπεριφορά του (Portides, 2011). Η Morrison υποστηρίζει ότι όχι μόνο η εξήγηση και η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των φαινομένων αυτών επιτυγχάνεται μόνο με τα φαινομενολογικά μοντέλα επειδή οι θεωρίες διέπουν τα φαινόμενα σε ένα γενικό και αφηρημένο επίπεδο αλλά και ότι ακόμη και «η ύπαρξη μιας καλά εδραιωμένης θεωρίας δε μπορεί, σε καμία περίπτωση, να εγγυηθεί ότι αυτή μπορεί να προσφέρει μοντέλα για συγκεκριμένα συστήματα» (1999, σ. 52). Υπό αυτή την έννοια φαινομενολογικά είναι τα περισσότερα επιστημονικά μοντέλα. Η ενσωμάτωση των στοιχείων που οφείλονται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των υπό μελέτη συστημάτων στα θεωρητικά μοντέλα τα απομακρύνει από τη θεωρία αλλά, ταυτόχρονα, προσφέρει τη

σύνδεση του μοντέλου με το συγκεκριμένο σύστημα και συνεπώς τα φέρνει πιο κοντά στον πραγματικό κόσμο.

Το σημαντικό όμως είναι ότι η αδυναμία της ανάλυσης να περιγράψει την κατασκευή των μοντέλων αυτών αποκρύπτει ένα μεγάλο μέρος της δημιουργικής επιστημονικής δραστηριότητας που είναι συνυφασμένη με την κατασκευή μοντέλων. Και δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η τάση της διδακτικής των φυσικών επιστημών είναι μια πιο αυθεντική προσέγγιση των φυσικών επιστημών στη διδασκαλία, με τη μοντελοποίηση να βρίσκεται στο επίκεντρο αυτής της προσπάθειας.

Κάποιες από αυτές τις αδυναμίες μετριάζονται στην περίπτωση της μοντελοθεωρητικής ανάλυσης του Giere (1990, 1999) η οποία, είδαμε στο τέταρτο κεφάλαιο έχει αρκετούς υποστηρικτές στη διδακτική των φυσικών επιστημών (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003· Crawford & Cullin, 2004· Adúriz-Bravo & Izquierdo-Aymerich, 2005· Halloun, 2004). Οι λόγοι για αυτή την προτίμηση είναι ότι ο Giere (1990) (α) συμπεριλαμβάνει στην ανάλυσή του γνωστικούς και πραγματιστικούς παράγοντες που εμπλέκονται στην επιστημονική πρακτική, (β) η πρότασή του για την οργάνωση των μοντέλων σε συστάδες προσεγγίζει τις αντιλήψεις της ψυχολογίας για την οργάνωση των νοητικών αναπαραστάσεων στις διαδικασίες μάθησης και (γ) υποστηρίζει μια μορφή ρεαλισμού για τη σχέση μεταξύ των μοντέλων και του κόσμου και ο ρεαλισμός είναι η προτιμητέα αντίληψη για την εκπαίδευση ανάμεσα στους ειδικούς της διδακτικής των φυσικών επιστημών και τους φιλόσοφους με ενδιαφέρον στη διδακτική (Nola 1997· Gilbert et al 2000· Halloun 2004).

Σε ένα πιο πρακτικό επίπεδο η σχέση της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και κόσμου που εισηγείται ο Giere (1990, 1999) είναι πιθανόν πιο κατανοητή για τους μαθητές και πιο κοντά ίσως στις διαισθητικές τους αντιλήψεις αν και η έννοια της ομοιότητας έχει χρησιμοποιηθεί και εκτός των σημασιολογικών αναλύσεων (Cartwright, 1999, σ. 262) και συνεπώς δεν αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα της ανάλυσης του Giere. Επίσης, οι θεωρητικές υποθέσεις που εξασφαλίζουν την αναπαραστατική αυτή σχέση έχουν το πλεονέκτημα ότι εστιάζουν στα χαρακτηριστικά του συστήματος που είναι σημαντικά στη μελέτη του στην κάθε περίπτωση. Τέλος, ο Giere χαρακτηρίζοντας τα μοντέλα ως αφηρημένα αντικείμενα περιλαμβάνει σε αυτά όχι μόνο τους μαθηματικούς φορμαλισμούς που περιγράφουν ένα σύστημα αλλά και προτάσεις, εξισώσεις, διαγράμματα, φυσικά μοντέλα σε κλίμακα κ.ά. (1999 σ. 123, 2004), διευρύνοντας την έκταση της έννοιας και καθιστώντας την έτσι πιο περιεκτική.

Αντιρρήσεις στην προτίμηση αυτή έχει εκφράσει ο Koronen (2007), ο οποίος υπογραμμίζει τρεις αδυναμίες της ανάλυσης του Giere αναφορικά με τη χρήση τους στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες. Πρώτον, ότι δεν αναγνωρίζει μια μερική αυτονομία στα μοντέλα και, δεύτερον, ότι δεν προσφέρει μια επαρκή εικόνα για την αμοιβαία αλληλεπίδραση μεταξύ μοντέλων και πειραμάτων, αφού τα φαινόμενα όχι μόνο περιγράφονται από μοντέλα αλλά και προσαρμόζονται σε αυτά. Και τα δύο αυτά στοιχεία σχετίζονται και με τα όσα αναφέρθηκαν νωρίτερα σε σχέση με τα φαινομενολογικά μοντέλα. Αναφορικά με την σχέση της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και φαινομένου, κατ' αρχάς, ο Koronen σημειώνει η έννοια είναι ασαφής για τον καθορισμό της σχέσης μεταξύ μοντέλου και συστήματος και επίσης ότι στο εκπαιδευτικό πλαίσιο περιγράφεται με έναν αυστηρά ρεαλιστικό τρόπο χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο χαρακτηριστικό ενός καλού μοντέλου.

Θα μπορούσε όμως κάποιος να ισχυριστεί ότι οι ΣΗΑ έχουν ένα πλεονέκτημα σε σχέση με το περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων και αυτό είναι ότι τα αναλυτικά προγράμματα της φυσικής δεν περιλαμβάνουν φαινομενολογικά μοντέλα ή μοντέλα φαινομένων και ότι τα περισσότερα μοντέλα των σχολικών εγχειριδίων βασίζονται σε θεωρίες. Τα περισσότερα μοντέλα των αναλυτικών προγραμμάτων αν και όντως προέρχονται από θεωρίες, δηλαδή δεν περιλαμβάνονται στο αναλυτικό φαινομενολογικά μοντέλα, όπως αυτά του ατομικού πυρήνα που περιγράφουν η Morrison (2011) και ο Portides (2011) ή της υπεραγωγιμότητας που χρησιμοποιούν οι Cartwright et al (1995) και ο Suarez (1999b), δεν είναι όλα θεωρητικά με την έννοια που αποδίδεται στον όρο στις σημασιολογικές αναλύσεις. Ένα παράδειγμα είναι το ημικλασικό μοντέλο του Bohr για τη δομή του ατόμου. Στο μοντέλο αυτό χρησιμοποιούνται ο νόμος του Coulomb για την περιγραφή της δύναμης μεταξύ ηλεκτρονίου και πυρήνα η οποία δρα ως κεντρομόλος δύναμη και οι δύο συνθήκες κβάντωσης του Bohr οι οποίες τίθενται αξιωματικά. Η πρώτη είναι η συνθήκη κβάντωσης της στροφορμής και η δεύτερη είναι η οπτική συνθήκη. Από την επίλυση του συστήματος προκύπτουν οι εξισώσεις για την ακτίνα και την ταχύτητα της τροχιάς του ηλεκτρονίου και για την αντίστοιχη ενέργεια οι οποίες είναι κβαντισμένες. Το μοντέλο αυτό είναι μόνο μια προσέγγιση της δομής του ατόμου, όπως αυτή περιγράφεται με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια από την κβαντική θεωρία. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιεί στοιχεία από την κλασική θεωρία αφού μεταχειρίζεται τα ηλεκτρόνια ως σωματίδια με εντελώς καθορισμένη θέση και ορμή παραβιάζοντας την αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg και συνεπώς δεν περιγράφει ορθά τη φύση της τροχιάς των ηλεκτρονίων η οποία οφείλεται στην κυματική φύση των σωματιδίων και περιγράφεται από την υπόθεση DeBroglie. Δεν εξηγεί επίσης την κβάντωση της στροφορμής, η οποία τίθεται αξιωματικά

στην πρώτη συνθήκη και που στην κβαντική θεωρία σχετίζεται με το στάσιμο κύμα του ηλεκτρονίου. Με αυστηρούς όρους ορθότητας, από φυσική άποψη, το μοντέλο αυτό είναι λανθασμένο αν και δίνει για το άτομο του υδρογόνου τις τιμές της ενέργειας των ηλεκτρονίων με εξαιρετική ακρίβεια, αφού είναι ίδιες με αυτές που προκύπτουν από την εξίσωση Schrodinger, όχι όμως και για άτομα με περισσότερα ηλεκτρόνια. Παρόλα τα προβλήματα και τις αδυναμίες του όμως το μοντέλο του Bohr αποτέλεσε στην επιστήμη ένα, πολύ σημαντικό, ενδιαμέσο βήμα για την κατασκευή ενός κβαντομηχανικού μοντέλου για το υδρογόνο. Έχει όμως εκπαιδευτικά πλεονεκτήματα. Πρώτον εισάγει την έννοια της κβάντωσης σε πρώτη φάση έστω και αξιωματικά, οδηγεί με απλούς υπολογισμούς στις σχέσεις για την κβάντωση της ακτίνας και της ταχύτητας του ηλεκτρονίου και παρουσιάζει ιστορική συνέχεια με το μοντέλο του Rutherford το οποίο είναι βασικό στην περιγραφή και εξήγηση της δομής του ατόμου κατ' αναλογία με το πλανητικό σύστημα τόσο στη διδασκαλία όσο και στην επιστήμη.

Από φιλοσοφική άποψη το μοντέλο του Bohr, που είναι ένα ιστορικό μοντέλο, δηλαδή έπαιξε ρόλο στην ιστορία της επιστήμης στην εξέλιξη της κβαντικής θεωρίας, αποτελεί αντιπαράδειγμα τόσο για τους φιλοσοφικούς ισχυρισμούς των ΣΗΑ για τη σχέση των μοντέλων με τη θεωρία όσο και για μια εισαγωγή της έννοιας του μοντέλου ως μέρος μιας συγκεκριμένης φυσικής θεωρίας στη διδακτική. Το ατομικό μοντέλο του Bohr είναι ένα υβρίδιο κλασικών και κβαντικών ισχυρισμών που δεν μπορεί να ενταχθεί απόλυτα σε καμία από τις δύο θεωρίες. Επιπρόσθετα, κίνητρο για την κατασκευή του ήταν τα εμπειρικά δεδομένα, τα γραμμικά φάσματα των αερίων, τα οποία δε συμφωνούσαν με τις προβλέψεις του πλανητικού μοντέλου του Rutherford και τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν και στην κατασκευή του μοντέλου. Με αυτή την έννοια το μοντέλο αυτό βοήθησε την επιστήμη στη διαμόρφωση της κβαντικής μηχανικής αλλά και ταυτόχρονα εμπλούτισε τη γνώση για το ίδιο το αντικείμενο του μοντέλου, δηλαδή το άτομο. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ένα τυπικό παράδειγμα της ανάλυσης των μοντέλων ως διαμεσολαβητών μεταξύ της θεωρίας και του κόσμου.

Αυτό ασφαλώς δε σημαίνει ότι δεν υπάρχουν μοντέλα που προκύπτουν άμεσα από μια θεωρία και ανήκουν σε αυτή αλλά ότι σε αυτόν τον χαρακτηρισμό των μοντέλων δεν είναι δυνατόν να ενταχθούν όλα τα μοντέλα. Όμως ακόμη και για τα μοντέλα εκείνα τα οποία σύμφωνα με τους υποστηρικτές της μοντελοθεωρητικής ανάλυσης είναι υποδειγματικές περιπτώσεις μοντέλων της θεωρίας, όπως αυτό του απλού εκκρεμούς, (Giere, 1990) που είναι ένα μοντέλο που συμπεριλαμβάνεται στα αναλυτικά προγράμματα της φυσικής, τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά. Τα μοντέλα προτείνονται ως αναπαραστάσεις των

πραγματικών συστημάτων και συνεπώς το μοντέλο του απλού εκκρεμούς θα πρέπει να αναπαριστά επιτυχώς και το εκκρεμές ενός εργαστηρίου φυσικής. Όπως όμως παραδέχεται και ο ίδιος ο Giere (1999, σ. 122) «το απλό εκκρεμές είναι ένα ιδεατό αντικείμενο. Κανένα πραγματικό εκκρεμές δεν ικανοποιεί πλήρως τις προϋποθέσεις ή οποιαδήποτε από τις προϋποθέσεις του [μοντέλου]». Αυτές είναι: η μάζα να είναι σημειακή, το νήμα να είναι αβαρές και μη εκτατό, το στήριγμα να είναι ακλόνητο και να μην έχει τριβές με το νήμα και στο περιβάλλον να μην υπάρχει αντίσταση του αέρα. Για τον Giere η σχέση που έχει το ιδεατό αντικείμενο με τα πραγματικά εκκρεμή είναι «όπως η σχέση μεταξύ ενός πρωτότυπου και αντικειμένων που κρίνονται ως επαρκώς όμοια με το πρωτότυπο» (η έμφαση στο πρωτότυπο) και τα οποία μπορούν να ταξινομηθούν ως του ίδιου τύπου με αυτό. Αν θέλουμε να φέρουμε το μοντέλο πλησιέστερα στο πραγματικό σύστημα και να συμπεριλάβουμε και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του πραγματικού συστήματος θα πρέπει να προβούμε σε ένα σημαντικό αριθμό διορθώσεων στο μοντέλο. Θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη μάζα και την ελαστικότητα της χορδής, την περιστροφή του βαριδιού, την αντίσταση του αέρα, τη μεταβολή της δρώσας αδρανειακής μάζας του βαριδιού λόγω του αέρα που το περιβάλλει της οποίας η κινητική ενέργεια συνεισφέρει και στην ολική ενέργεια του συστήματος, την άνωση από τον αέρα αφού η μάζα βρίσκεται βυθισμένη σε αυτόν κλπ. (Nelson & Olsson, 1986). Για να γίνουν αυτές οι διορθώσεις χρησιμοποιούνται και εμπειρικοί νόμοι ή άλλα ημι-εμπειρικά αποτελέσματα, δηλαδή στοιχεία που δεν προκύπτουν άμεσα από τις αρχές της θεωρίας στην οποία ανήκει το μοντέλο του συστήματος και οι οποίες δεν μπορούν να περιγράψουν τα ειδικά χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος. Αυτή η διαδικασία της προσαρμογής του θεωρητικού μοντέλου είναι σημαντική αν θέλουμε το μοντέλο να αναπαριστά με αρκετή αξιοπιστία το πραγματικό σύστημα. Η αξιοπιστία της αναπαράστασης στην περίπτωση του εκκρεμούς του εργαστηρίου είναι σημαντική στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ως όργανο για την μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας αφού επιδρά στην ακρίβεια αυτού του υπολογισμού.

Στην περίπτωση του απλού εκκρεμούς, το μοντέλο έρχεται πιο κοντά στο πραγματικό σύστημα με τη μέθοδο της διόρθωσης με την οποία το μοντέλο γίνεται όλο και πιο ρεαλιστικό. Η ρεαλιστικότητα, με την έννοια ότι αφορά στην πραγματική φύση των πραγμάτων, δεν είναι όμως απαραίτητη σε όλα τα μοντέλα. Η περίπτωση της γεωμετρικής οπτικής είναι ένα τέτοιο παράδειγμα. Η γεωμετρική οπτική είναι μια περίπτωση μιας φαινομενολογικής προσέγγισης σε ορισμένα οπτικά φαινόμενα με την έννοια ότι στηρίζεται στη φαινομενολογία των κάποιων οπτικών φαινομένων χωρίς να είναι ρεαλιστική ως προς τη φύση του φωτός. Τα περισσότερα αναλυτικά προγράμματα περιλαμβάνουν και

γεωμετρική οπτική. Η γεωμετρική οπτική είναι ένα τμήμα της οπτικής που περιγράφει τα οπτικά φαινόμενα βάσει της μαθηματικής υπόθεσης της ακτίνας φωτός, μιας εννοιολογικής κατασκευής η οποία βασίζεται στην ιδιότητα του φωτός να διαδίδεται ευθύγραμμο και χρησιμοποιείται στις πτυχές εκείνες των οπτικών συστημάτων που δεν εξαρτώνται από τη φύση του φωτός. Η φύση του φωτός περιγράφεται από την κυματική ή την σωματιδιακή θεωρία ανάλογα με τη σχέση που έχουν τα συστήματα ανίχνευσης με το μήκος κύματος και την ενέργεια που μεταφέρεται από το φως. Στην περίπτωση μεγάλων ανιχνευτών με χαμηλή ενεργειακή ευαισθησία, όπως στη μελέτη ραδιοκυμάτων, χρησιμοποιείται η κυματική θεωρία. Στην περίπτωση που οι διαστάσεις του ανιχνευτή είναι της τάξης του μήκους κύματος και η ενεργειακή ευαισθησία μεγάλη, της τάξης της ενέργειας των φωτονίων που προκαλούν το φαινόμενο τότε χρησιμοποιείται η κβαντική θεωρία του φωτός. Στην περίπτωση των κατόπτρων και των φακών οι διαστάσεις του μήκους κύματος είναι αμελητέες σε σύγκριση με το μέγεθος της συσκευής (π.χ. του φακού) και η ενέργεια του φωτονίου επίσης αμελητέα σε σχέση με την ευαισθησία της τότε χρησιμοποιούνται τα μοντέλα της γεωμετρικής οπτικής (Morrison, 1998). Ολόκληρη όμως η γεωμετρική οπτική είναι μια φαινομενολογική περιγραφή της συμπεριφοράς του φωτός και δεν βασίζεται σε μια φυσική θεωρία για τη φύση του φωτός.

Η πρόταση για την εισαγωγή της έννοιας του μοντέλου στη διδακτική αναφέρεται στο ρόλο των μοντέλων στην επιστημονική μεθοδολογία και όχι στα μοντέλα ως αντικείμενο φιλοσοφικού στοχασμού για την επιστήμη. Στην περίπτωση των ΣΗΑ, όπου τα μοντέλα είναι συνιστώσα μέρη της θεωρίας, αυτή η μεθοδολογική πτυχή σε σημαντικό βαθμό αποκρύπτεται. Ένας λόγος είναι ότι η κατασκευή ενός αναπαραστατικού μοντέλου είναι μια διαδικασία πολύπλοκη και απαιτεί περισσότερη προσπάθεια και ευρηματικότητα από την περιγραφή ενός άγνωστου συστήματος με βάση τα φυσικά μεγέθη που προβλέπει η θεωρία και τη διατύπωσή τους με κάποιο συγκεκριμένο μαθηματικό φορμαλισμό. Ένας άλλος λόγος είναι ότι σπάνια τα άγνωστα συστήματα είναι ή αναγνωρίζονται άμεσα ως τύποι των υφιστάμενων μοντέλων της θεωρίας αλλά αντίθετα η υπαγωγή τους στη θεωρία προϋποθέτει τη λήψη αποφάσεων για τον τρόπο περιγραφής μερών του συστήματος ώστε να ικανοποιούν τις προϋποθέσεις του μοντέλου της θεωρίας. Επίσης, οι διάφοροι μαθηματικοί φορμαλισμοί που επιστρατεύονται στην περιγραφή των νόμων και των μοντέλων της θεωρίας, θεωρία συνόλων (DaCosta & French, 2003) συστήματα σχέσεων (Suppe, 1989) χώροι καταστάσεων (Van Fraassen, 1980) αποτελούν καθοριστικά στοιχεία της ανάλυσης διότι από τα τυπικά τους χαρακτηριστικά τους προκύπτει από τη μια η σχέση της θεωρίας με τα μοντέλα της και από την άλλη η σχέση των μοντέλων αυτών με τον πραγματικό κόσμο. Αν οι αναλύσεις

απογυμνωθούν από αυτά τα στοιχεία, ειδικά στην περίπτωση της σχέσης των μοντέλων με τον πραγματικό κόσμο, τότε χάνεται και η δυνατότητα εξήγησης της ιδιότητας των μοντέλων να αναπαριστούν το στόχο. Αυτό που παραμένει είναι ότι τα μοντέλα αποτελούν αφηρημένα αντικείμενα στα οποία εφαρμόζονται και ισχύουν αποκλειστικά οι νόμοι της θεωρίας. Και σε αυτό το σημείο όμως ο ισχυρισμός παρουσιάζει μια πιθανή αδυναμία αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στη διδασκαλία. Η ιδέα ότι οι νόμοι δεν ισχύουν στον πραγματικό κόσμο αλλά μόνο στα μοντέλα, όπως ισχυρίζονται οι υποστηρικτές των ΣΗΑ (Giere, 1999, σ. 6, 94) αλλά και κάποιοι από αυτούς που τους ασκούν κριτική (Cartwright, 1983, σ. 129), δηλαδή σε ιδεατές οντότητες που δεν θα τις συναντήσουμε στο φυσικό κόσμο που μας περιβάλλει αλλά ούτε μπορούμε να τις κατασκευάσουμε, αποτελεί για τους μαθητές μια υποβάθμιση της σημασίας των αρχών και των νόμων και μια υπονόμευση της αξίας της σημασίας της εφαρμογής τους στα πραγματικά συστήματα. Αν οι θεωρίες ταυτίζονται με το σύνολο των μοντέλων τους τα οποία έχουν κατασκευαστεί με τη χρήση αρχών που ισχύουν μόνο στα μοντέλα και από αυτές τις υποθετικές κατασκευές επιλέγουμε εκείνη που για κάποιο λόγο ταιριάζει στο πραγματικό σύστημα, τότε οι νόμοι και τα μοντέλα επιβάλλονται στη φύση. Αυτή η προσέγγιση μπορεί μέσα από τη διδασκαλία να καλλιεργεί εργαλειοκρατικές αντιλήψεις για την επιστήμη. Η χρησιμοποίηση στη διδασκαλία μιας απογυμνωμένης από τα τεχνικά της χαρακτηριστικά εννοιολογικής εκδοχής της ΣΗΑ απαιτεί και τη διατύπωση ενός κριτηρίου επιλογής του κατάλληλου στην κάθε περίπτωση μοντέλου. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν δύο δυνατότητες. Μία είναι το μοντέλο να μοιράζεται με το πραγματικό σύστημα τα επιφανειακά του χαρακτηριστικά, που είναι ο τρόπος με τον οποίο οι μαθητές θα αντιληφθούν την έννοια της ομοιότητας του Giere, ενώ ο τελευταίος μάλλον αντιλαμβάνεται την ομοιότητα αναφορικά με τα δομικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Η ομοιότητα στα επιφανειακά χαρακτηριστικά είναι ένα κριτήριο που χρησιμοποιούν οι αρχάριοι στην ομαδοποίηση των προβλημάτων (Chi, Feltovich & Glaser, 1981), αλλά είναι επισφαλές ως κριτήριο επιλογής του κατάλληλου μοντέλου για την αναπαράσταση ενός πραγματικού συστήματος. Η άλλη είναι να ισχύουν στο πραγματικό σύστημα οι ίδιοι νόμοι που ισχύουν στο μοντέλο. Αυτό όμως έρχεται σε αντίθεση με τη θέση των υποστηρικτών των ΣΗΑ αλλά και κάποιων από τους αυτούς που στέκονται κριτικά στις ΣΗΑ ότι οι νόμοι δεν ισχύουν στα πραγματικά συστήματα αλλά μόνο στα μοντέλα. Από την άλλη οι γενικοί νόμοι της θεωρίας δεν επαρκούν για να περιγράψουν με αρκετή ακρίβεια τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά ενός συγκεκριμένου φυσικού συστήματος και τα ιδιαίτερα αυτά χαρακτηριστικά περιγράφονται από πιο εξειδικευμένους νόμους οι οποίοι όμως επιλέγονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της μοντελοποίησης.

Για τη διδασκαλία είναι απαραίτητη μια ισχυρή σύνδεση του στόχου με το μοντέλο του και αυτό επιτυγχάνεται μέσα από την κατασκευή και όχι από την επιλογή του μοντέλου. Η διαδικασία κατασκευής που ξεκινά από τη μελέτη του στόχου είναι αυτή που συνδέει άμεσα το στόχο με τις αρχές και τους νόμους που εφαρμόζονται σε αυτόν και με το μοντέλο που θα προκύψει από την εφαρμογή τους. Αυτός ο τρόπος ταιριάζει περισσότερο και με τον τρόπο σκέψης των μαθητών που είναι πιο συγκεκριμένος και συνεπώς πιο αποτελεσματικός όταν ξεκινά από συγκεκριμένα παραδείγματα. Σε αυτή την πιο πραγματιστική προσέγγιση η αναπαραστατική σχέση μεταξύ του μοντέλου και του στόχου μπορεί να εξασφαλιστεί από το βαθμό στον οποίο το μοντέλο εξηγεί τις συμπεριφορές του στόχου και από το πόσο αποτελεσματικό είναι ως πηγή γνώσης για το στόχο.

Ακόμα ένα πρόβλημα που υπάρχει με τις ΣΗΑ αφορά στην παραδοχή του Suppe (2000) που αναφέρθηκε πιο πάνω ότι δηλαδή η ΣΗΑ των θεωριών δεν αφορά σε όλη τη επιστήμη. Δηλαδή οι ΣΗΑ αν και φιλοδοξούν να είναι πλήρεις αναλύσεις της επιστήμης αναφορικά με τα μοντέλα δεν είναι αρκετά περιεκτικές και διαθεματικές. Αυτό δεν συνάδει με το τρίτο κριτήριο που τέθηκε πιο πάνω για την επιλογή της κατάλληλης φιλοσοφικής ανάλυσης. Στις άλλες φυσικές επιστήμες, για παράδειγμα στη βιολογία, τα περισσότερα μοντέλα δεν προκύπτουν από υπερκείμενες θεωρίες αλλά κυρίως περιγράφουν μηχανισμούς οι οποίοι εξηγούν τις βιολογικές συμπεριφορές των οργανισμών.

7.2.3 Τα μοντέλα ως διαμεσολαβητές

Αυτή η φιλοσοφική ανάλυση (στο εξής και ως MMCS, από τα αρχικά των πρώτων συντελεστών, Morgan, Morrison, Cartwright & Suarez) δεν αποτελεί θεωρία των μοντέλων διότι κάτι τέτοιο θα απαιτούσε και τη διατύπωση κριτηρίων για να χαρακτηριστεί κάτι ως μοντέλο αλλά και διάκριση μεταξύ μοντέλων και θεωριών (Morrison and Morgan, 1999, σ. 12). Το βασικό χαρακτηριστικό της MMCS είναι ότι προσπαθεί να περιγράψει και να εξηγήσει τις διαδικασίες κατασκευής των μοντέλων και τους ρόλους τους στην επιστήμη. Είναι ένα πλαίσιο μελέτης των μοντέλων που προέκυψε από την κριτική στις σημασιολογικές αναλύσεις μέσα παραδείγματα από την επιστήμη που δεν πληρούν τις προϋποθέσεις που τίθενται από τις ΣΗΑ.

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο, τα βασικά χαρακτηριστικά αυτής της θεώρησης για τα μοντέλα στην επιστήμη είναι ότι διατηρεί τη διάκριση των μεταξύ θεωρίας και μοντέλων με τα μοντέλα να διαμεσολαβούν μεταξύ των γενικών ισχυρισμών της θεωρίας και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των πραγματικών συστημάτων, όπως αυτά εμφανίζονται στον κόσμο ή αναπαράγονται και απομονώνονται στα πειράματα. Τα

μοντέλα εκφράζουν ειδική φυσική γνώση για τα συστήματα που αναπαριστούν (Suarez, 1999, σ. 172). Τα μοντέλα μπορούν να αναπαριστούν τους ισχυρισμούς των θεωριών αλλά και συστήματα στον κόσμο. Στην περίπτωση του απλού εκκρεμούς για παράδειγμα, το μοντέλο αναπαριστά ένα είδος κίνησης που περιγράφεται από τη θεωρία αλλά και που εκτελούν κάποια τα πραγματικά εκκρεμή (Morrison and Morgan, 1999, σ. 25). Το απλό εκκρεμές είναι ένα θεωρητικό μοντέλο που προκύπτει από τη θεωρία, μπορεί όμως να “διορθωθεί” ώστε να γίνει μια αναπαράσταση ενός πραγματικού συστήματος σε όποιο βαθμό ακρίβειας επιθυμούμε (Morgan, 1999 σ. 51). Το διορθωμένο μοντέλο του απλού εκκρεμούς, όπως και όλα τα μοντέλα, εξηγούν τη συμπεριφορά του συστήματος που αναπαριστούν διότι με την συγκεκριμένη τοπική γνώση για το σύστημα που περιέχουν δείχνουν πώς συνδέονται και αλληλεπιδρούν όλα τα μέρη του συστήματος με έναν τρόπο που οι νόμοι της θεωρίας, στην περίπτωση του απλού εκκρεμούς οι νόμοι του Νεύτωνα, δεν μπορούν (Morgan, 1999, σ. 63). Αυτό είναι δυνατόν μόνο αν τα μοντέλα έχουν μια σχετική αυτονομία τόσο από τη θεωρία όσο και από τον κόσμο και αυτή η αυτονομία τους επιτρέπει να διαμεσολαβούν μεταξύ των δύο και να είναι όργανα εξερεύνησης και για τα δύο πεδία (Morrison and Morgan, 1999, σ. 10). Αυτή η αυτονομία είναι ακόμα πιο εμφανής στα φαινομενολογικά μοντέλα αφού, σύμφωνα με τον Portides (2011) για την κατασκευή τους αξιοποιούνται ημιεμπειρικά αποτελέσματα που σχετίζονται με το φαινόμενο, διατυπώνονται ad-hoc υποθέσεις ή χρησιμοποιούνται εννοιολογικά εργαλεία που δεν συνδέονται απευθείας με τη θεωρία και που δεν είναι πάντοτε άμεσα συμβατά με το θεωρητικό φορμαλισμό της... αλλά παρόλα αυτά ικανοποιούν περιορισμούς που επιβάλλονται από τη θεωρία και έτσι εξαρτούνται από αυτή υπό την ευρεία έννοια.

Αυτά τα εξωθεωρητικά στοιχεία, όπως η περιγραφή ευλογοφανών μηχανισμών που εξηγούν τις παρατηρήσιμες συμπεριφορές του συστήματος, και όχι η απευθείας εφαρμογή των νόμων της θεωρίας, είναι που καθιστούν τα μοντέλα αυτά επιτυχείς αναπαραστάσεις των φυσικών συστημάτων. Με άλλα λόγια, η θεωρία είναι μόνο ένα από τα εργαλεία που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες στην κατασκευή των μοντέλων (Cartwright et al, 1995). Τέλος, τα μοντέλα είναι ταυτόχρονα μέσα και πηγές μάθησης (Morrison and Morgan, 1999, σ. 35). Μάθηση συμβαίνει κατά την κατασκευή τους λόγω του ενδεδειγμένου ελέγχου των φυσικών συστημάτων για τη λήψη αποφάσεων για το πώς θα αναπαρίστανται οι μηχανισμοί στο σύστημα αλλά και για τη μαθηματική τους περιγραφή αλλά και όταν τα μοντέλα τεθούν σε λειτουργία οπότε και γίνονται φανερές οι συνέπειες των μηχανισμών του μοντέλου κατ’ αρχάς στον κόσμο του μοντέλου και οι οποίες κατόπιν μπορούν να μεταφραστούν σε γνώση για το πραγματικό σύστημα. Μέσα από αυτές τις διαδικασίες πολλά μοντέλα λειτουργούν

όχι μόνο ως εφαρμογές της θεωρίας, όπως τα περιγράφουν οι ΣΗΑ αφού τα θεωρούν ως παράγωγα του φορμαλισμού μιας θεωρίας, αλλά και ως μέσα ελέγχου ή διαμόρφωσης των θεωριών, καθώς βοηθούν στη διερεύνηση και στην κατανόηση των ισχυρισμών μιας θεωρίας αλλά σε κάποιες περιπτώσεις λειτουργούν ως υποκατάστατα της θεωρίας όταν ένα σύστημα δεν εμπίπτει άμεσα σε μια υφιστάμενη θεωρία (Hartmann, 1999 σ. 328).

Αυτές οι λειτουργίες των μοντέλων απουσιάζουν από τις ΣΗΑ διότι οι τελευταίες αντιμετωπίζουν τις θεωρίες ως διαμορφωμένες θεωρητικές κατασκευές και αγνοούν ή δεν στοχεύουν να εξηγήσουν, τις διαδικασίες διαμόρφωσης της θεωρίας. Στην πραγματικότητα πολλά από τα θεωρητικά μοντέλα που, σύμφωνα με τις ΣΗΑ, συνιστούν μια ολοκληρωμένη θεωρία ιστορικά έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωσή της. Δηλαδή, με την έμφαση στο τελικό προϊόν της επιστημονικής έρευνας οι ΣΗΑ θέτουν στο περιθώριο τις δυναμικές επιστημονικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην εξέλιξη των θεωριών αλλά και στην επέκταση του πλήθους των φαινομένων που εξηγεί η επιστήμη.

Όπως έγινε φανερό από όσα ειπώθηκαν μέχρι τώρα η θέση που υποστηρίζεται εδώ είναι ότι η περιεκτική προσέγγιση των επιστημονικών μοντέλων που προσφέρει η ανάλυση των MMCS είναι πιο κατάλληλη για τη διδασκαλία. Οι λόγοι για την εισήγηση είναι αρκετοί. Πρώτον, είναι πιο πραγματιστική, είναι δηλαδή πιο κοντά στις πρακτικές της πραγματικής επιστήμης από τις ΣΗΑ και περιγράφει καλύτερα τα δυναμικά χαρακτηριστικά της επιστήμης. Αυτό είναι και σε συμφωνία με τις σύγχρονες αντιλήψεις της διδακτικής για την διαμόρφωση μιας πιο ρεαλιστικής εικόνας της επιστήμης στους μαθητές και όχι μιας εικόνας αυθεντίας στην οποία οι θεωρίες ήδη περιέχουν όλες τις απαντήσεις στα ερωτήματα που τίθενται για τον φυσικό κόσμο. Δεύτερον, είναι πιο περιεκτική, δηλαδή περιλαμβάνει στην έννοια του επιστημονικού μοντέλου, εκτός από τα θεωρητικά μοντέλα που μπορεί να ταυτίζονται και με μαθηματικές δομές όπως υποστηρίζουν οι ΣΗΑ, και άλλα είδη μοντέλων όπως τα φαινομενολογικά, τα φυσικά αντικείμενα, που σε πολλές περιπτώσεις έπαιξαν ρόλο στην επιστήμη, όπως η φυσική κατασκευή του μορίου του DNA από τους Watson και Crick, τις προσομοιώσεις των οποίων η σημασία είναι καθοριστική στη σημερινή επιστήμη, ειδικά στις περιπτώσεις που τα μοντέλα έχουν μεγάλη πολυπλοκότητα ή σε κλάδους που δεν είναι δυνατή άμεση πειραματική προσέγγιση ή διότι η εξέλιξη των φαινομένων έχει πολύ μεγάλη διάρκεια, όπως στην περίπτωση της αστροφυσικής και της κοσμολογίας. Οι δύο τελευταίες κατηγορίες παίζουν σημαντικό ρόλο στις διδακτικές διαδικασίες. Τα εργαστήρια των φυσικών επιστημών, κυρίως της βιολογίας και της χημείας, είναι γεμάτα φυσικά μοντέλα ή φυσικά μοντέλα σε κλίμακα που αν και στις περισσότερες περιπτώσεις στοχεύουν στο να είναι αντίγραφα της πραγματικότητας μπορούν να αξιοποιηθούν και με άλλους τρόπους για

να αναδειχθεί ο ρόλος τους ως μέσα διερεύνησης του κόσμου. Επίσης, όλο και περισσότερο τα λογισμικά προσομοιώσεων μπαίνουν στις τάξεις σε μια προσπάθεια καλύτερης κατανόησης από πλευράς των μαθητών των αρχών των επιστημονικών θεωριών αφού παρουσιάζουν τον κόσμο του μοντέλου ή της θεωρίας. Υπάρχουν και προτάσεις στη βιβλιογραφία των φυσικών επιστημών όπου κατάλληλες προσομοιώσεις επιτρέπουν την εξαγωγή των νόμων της θεωρίας από τους ίδιους τους μαθητές. Τέτοιες δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές να διαχειριστούν το μοντέλο, μεταβάλλοντας τις διάφορες παραμέτρους που προβλέπει η προσομοίωση να κατασκευάσουν μοντέλα που να αναπαριστούν καλύτερα συγκεκριμένα φυσικά συστήματα. Αυτή τη διαδικασία περιγράφουν και οι υποστηρικτές του ρόλου των μοντέλων ως διαμεσολαβητών (Morrison, 1999, σ. 48-53). Αυτό το τελευταίο σημείο μας οδηγεί σε ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό της προσέγγισης, ότι δηλαδή δίνει έμφαση στην κατασκευή των μοντέλων. Μια επιστήμη βασισμένη στα μοντέλα δεν είναι μόνο ένα σώμα γνώσης είναι και η ίδια η δραστηριότητα παραγωγής και διαχείρισης της γνώσης με σκοπό την κατανόηση του φυσικού κόσμου. Αυτό συνάδει και με το γεγονός ότι οι διαδικασίες μοντελοποίησης βρίσκονται σήμερα και στην πρώτη γραμμή των εισηγήσεων της διδακτικής για το χαρακτήρα που πρέπει να έχουν οι διδακτικές πρακτικές. Με αυτό επιτυγχάνονται δύο στόχοι. Πρώτον, οι μαθητές κατασκευάζουν μόνοι τους μοντέλα ή γενικότερα γίνονται ενεργοί συντελεστές της μάθησής τους και της οργάνωσής της με μια διαδικασία που απαιτεί συλλογισμούς, λήψη αποφάσεων και αιτιολόγησή τους. Τέτοιες πρακτικές δημιουργούν κατάλληλες συνθήκες για μια στοχευμένη, συνειδητή και ενεργό εμπλοκή των μαθητών στη μάθηση διευκολύνοντας ταυτόχρονα και την κατασκευή ορθότερων νοητικών μοντέλων για τα φαινόμενα. Δεύτερον, βασίζονται σε διαδικασίες που έχουν σε κάποιο βαθμό κάποια από τα χαρακτηριστικά της επιστήμης, με τη μοντελοποίηση να είναι ένα από τα κυριότερα, καθιστώντας τις διαδικασίες μάθησης πιο αυθεντικά επιστημονικές. Ασφαλώς, οι επιστημονικές διαδικασίες δεν σταματούν στη μοντελοποίηση αντίθετα, είναι απαραίτητο να συνεχιστούν με πειράματα που καθοδηγούνται από τα μοντέλα και στόχο έχουν τον έλεγχο των προβλέψεων που προκύπτουν από τις υποθέσεις του μοντέλου. Με τη μοντελοποίηση να έχει ήδη τεθεί ως πλαίσιο για τις μαθησιακές δραστηριότητες από τη διδακτική των φυσικών επιστημών η ενσωμάτωση της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου στο περιεχόμενο ή στην εφαρμογή των αναλυτικών προγραμμάτων είναι ενδεδειγμένη. Όπως αναφέρθηκε και αλλού (κεφ. 6), αυτές οι διδακτικές πρακτικές αποκτούν περισσότερο νόημα και ίσως να είναι περισσότερο αποτελεσματικές, αν είναι ρητά συνδεδεμένες με τις επιστημονικές έννοιες και δραστηριότητες που είναι σχεδιασμένες να αναπαριστούν. Αυτές οι διαδικασίες, αλλά όχι μόνο αυτές, δίνουν τη δυνατότητα και την ευκαιρία στον

εκπαιδευτικό να αξιολογήσει όλο το εύρος της έννοιας και των ρόλων των μοντέλων που προσφέρει η προσέγγιση των μοντέλων ως διαμεσολαβητών.

7.3 Πιθανές αδυναμίες της προσέγγισης σε σχέση με τη διδασκαλία

Το πλαίσιο ανάλυσης των μοντέλων ως διαμεσολαβητών φαίνεται να παρουσιάζει δύο αδυναμίες σε σχέση με την χρησιμοποίησή του στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών.

Η πρώτη σχετίζεται με ένα από τα κριτήρια που τέθηκαν για την επιλογή της κατάλληλης επιστημολογικής προσέγγισης, συγκεκριμένα το περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων. Τα μοντέλα που έχει καθιερωθεί να περιλαμβάνονται στα αναλυτικά προγράμματα μετά από χρόνια εκπαιδευτικής πρακτικής είναι εκ πρώτης όψεως θεωρητικά μοντέλα, δηλαδή μοντέλα που προκύπτουν απευθείας από τις θεωρίες, κυρίως στην περίπτωση της μηχανικής. Για παράδειγμα δεν συμπεριλαμβάνονται συνήθως φαινομενολογικά μοντέλα. Αυτό το γεγονός κάνει τις ΣΗΑ να ταιριάζουν καλύτερα στο περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων, τουλάχιστον στην περίπτωση της φυσικής. Όπως όμως αναφέρθηκε και πιο πάνω υπάρχουν στα αναλυτικά και μοντέλα που δεν ικανοποιούν την προϋπόθεση των ΣΗΑ για τη υπαγωγή των μοντέλων σε μια θεωρία, όπως το ημικλασικό μοντέλο του Bohr για τη δομή του ατόμου. Αλλά σύμφωνα με τους φιλόσοφους που ασκούν κριτική στις ΣΗΑ ακόμα και αυτά που θεωρούνται ως θεωρητικά μοντέλα, όπως αυτό του απλού εκκρεμούς, δεν αναπαριστούν ικανοποιητικά συγκεκριμένα φυσικά συστήματα παρά μόνο μετά από την συμπλήρωσή τους με εμπειρικά στοιχεία ή αφού προσδιοριστούν οι προϋποθέσεις που αφορούν το συγκεκριμένο σύστημα (Portides, 2011, Hartmann, 1999 σ. 328).

Ακόμα όμως και αν δεν είναι έτσι τα πράγματα, στην κριτική που κάποιοι φιλόσοφοι ασκούν στις ΣΗΑ δεν ισχυρίζονται ότι δεν υπάρχουν θεωρητικά μοντέλα, αλλά ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα μοντέλα αυτά δεν αναπαριστούν άμεσα συγκεκριμένα φυσικά συστήματα και ότι δεν εξαντλούν όλα τα είδη των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη. Τα θεωρητικά μοντέλα είναι μόνο ένα είδος επιστημονικού μοντέλου. Δεν θα διαφωνούσαν επίσης και στο γεγονός ότι τα μοντέλα αφού κατασκευαστούν γίνονται μέρος του οπλοστασίου με το οποίο οι επιστήμονες αντιμετωπίζουν νέα προβλήματα. Η βασική κριτική που ασκούν οι υποστηρικτές της ανάλυσης των MMCS συνοψίζεται στο ότι αναφορικά με την κατασκευή επιτυχημένων αναπαραστάσεων των φυσικών συστημάτων οι ΣΗΑ δεν περιγράφουν σωστά τη μεθοδολογία της εφαρμογής της θεωρίας στα φαινόμενα η οποία είναι πιο πολύπλοκη και πιο δημιουργική από την απεικόνιση της δομής ενός φυσικού συστήματος με κάποια δομή ή ένα μέρος της δομής μιας θεωρίας.

Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι διαχωρίζοντας τη θεωρία από τα μοντέλα χρειάζεται ένας ορισμός για την έννοια της θεωρίας και ένας για την έννοια του μοντέλου. Αλλά η απόδοση ενός ορισμού είναι μια πολύ δύσκολη και γεμάτη παγίδες υπόθεση. Αυτό γίνεται φανερό όχι μόνο από τους διαφορετικούς ορισμούς που κατά καιρούς έχουν αποδοθεί στις έννοιες της θεωρίας και του μοντέλου αλλά και από την βαρύτητα που δίνεται σε κάθε μία από αυτές σε διαφορετικές εποχές, γεγονός που έχει παρατηρηθεί και στην περίπτωση άλλων επιστημολογικών εννοιών, όπως αυτή του φυσικού νόμου. Για παράδειγμα, ο Stuart Mill και ο William Whewell (19^ο αιώνας), αν και αναφέρονται σε συγκεκριμένες επιστημονικές θεωρίες ασχολούνται περισσότερο με την έννοια του φυσικού νόμου. Στο πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, οι λογικοί θετικιστές έδωσαν μεγάλο βάρος στην έννοια της θεωρίας ως τη θεμελιώδη έκφραση της επιστημονικής γνώσης. Αυτή η αντίληψη της θεωρίας ως μιας καλά καθορισμένης οντότητας είναι, κατά τον Giere (2001 σ. 524), ένα κατάλοιπο αυτής της θετικιστικής προσέγγισης της επιστήμης και ένα εννοιολογικό κατασκευάσμα της ΣΥΑ που απαιτούσε την ταύτιση μιας θεωρίας με ένα σύνολο προτάσεων. Σήμερα, το βάρος της φιλοσοφικής ανάλυσης για την επιστήμη μετατόπισε το κέντρο βάρους των φιλοσοφικών αναλύσεων στα μοντέλα. Αυτές οι διαφορές ανακλούν κυρίως τις κατά καιρούς αντιλήψεις για τη φύση της επιστήμης καθεμιά από τις οποίες εγείρει και διαφορετικά ερωτήματα.

Αναφορικά με την έννοια του μοντέλου, και λόγω των προσπαθειών ενσωμάτωσής της στη διδασκαλία, ακόμη και από μια γρήγορη επισκόπηση της βιβλιογραφίας της φιλοσοφίας και της διδακτικής ή των διακηρύξεων των αναλυτικών προγραμμάτων, γίνεται φανερό ότι δεν υπάρχει ένας μοναδικός ορισμός για την έννοια του μοντέλου, όπως φαίνεται στον πίνακα 2. Από τους ορισμούς που παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί είναι εμφανές ότι η έμφαση των ορισμών είναι στην ιδιότητά τους να αναπαριστούν τον κόσμο και στο σκοπό που εξυπηρετούν στην εξήγηση των φαινομένων ακόμη και στις νοητικές διαδικασίες που τα υποστηρίζουν. Αυτό δεν σημαίνει ότι αυτοί οι ορισμοί είναι λανθασμένοι αλλά ότι είναι δύσκολο να συμπεριληφθούν σε μια πρόταση όλες οι ιδιότητες και οι ρόλοι των μοντέλων στην επιστήμη αλλά και στη νόηση.

Τα θεωρητικά μοντέλα είναι το μέσο με το οποίο οι επιστήμονες αναπαριστούν τον κόσμο – τόσο στους εαυτούς τους όσο και στους άλλους.

Giere, 1990

Ένα μοντέλο αναπαριστά μια φυσική δομή ή διαδικασία με το να περιλαμβάνει υποκατάστατα αντικείμενα (surrogate objects) με σχέσεις ή/και λειτουργίες οι οποίες είναι σε αντιστοιχία με αυτή (τη φυσική δομή).

Nersessian, 1995

Ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση της δομής ενός φυσικού συστήματος ή/και των ιδιοτήτων του.

Hestenes, 1997

Ένα επιστημονικό μοντέλο είναι ένα σύνολο ιδεών που περιγράφουν μια φυσική διαδικασία. Με αυτή την έννοια, ένα επιστημονικό μοντέλο (κατασκευασμένο από αντικείμενα και τις διαδικασίες στις οποίες αυτά συμμετέχουν) μπορούμε να το «τρέξουμε» νοητικά, δεδομένων κάποιων περιορισμών, και να εξηγήσουμε ή να προβλέψουμε φυσικά φαινόμενα.

Passmore and Stewart, 2002

Ένα επιστημονικό μοντέλο είναι μια αφηρημένη και απλοποιημένη αναπαράσταση ενός συστήματος φαινομένων που καθιστά φανερά και ορατά τα κύρια χαρακτηριστικά του και χρησιμοποιείται για την παραγωγή εξηγήσεων και προβλέψεων.

Harrison and Treagust, 2000

Ένα μοντέλο είναι μια αναπαράσταση, συνήθως οπτική αλλά μερικές φορές και μαθηματική, που χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στην περιγραφή ή στην κατανόηση ενός επιστημονικού φαινομένου, μιας θεωρίας, ενός εμπειρικού νόμου, μια φυσικής οντότητας, ενός οργανισμού ή μέρους ενός οργανισμού.

National Science Teachers Association (NSTA), 1995

Τα μοντέλα είναι προτεινόμενα σχήματα ή δομές που αντιστοιχούν σε πραγματικά αντικείμενα, γεγονότα ή τάξεις γεγονότων και τα οποία έχουν επεξηγηματική δύναμη. Τα μοντέλα βοηθούν τους επιστήμονες και τους μηχανικούς να κατανοούν πώς λειτουργούν τα πράγματα.

National Research Council (NRC), 1996

Πίνακας 3: Ορισμοί για την έννοια του επιστημονικού μοντέλου.

Αν όμως θέλουμε να διατηρήσουμε το τρίπτυχο θεωρία-κόσμος-μοντέλο, όπως απαιτεί η ανάλυση των MMCS, κάποιοι λειτουργικοί ορισμοί για τη θεωρία και τα μοντέλα καθώς και της σχέσης μεταξύ τους αλλά και με τον κόσμο είναι απαραίτητοι. Δυνητικά μπορούν να δοθούν οι εξής:

Θεωρία είναι το σύνολο των γενικών αρχών και των μαθηματικών τους εκφράσεων που περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ των φυσικών μεγεθών (νόμων) που χρησιμοποιούνται για την εξήγηση μιας κατηγορίας συμπεριφορών των συστημάτων

και

Μοντέλα είναι τα επιστημικά μέσα εφαρμογής αρχών και των νόμων στα φυσικά συστήματα και της εξερεύνησης των συνεπειών τους με σκοπό την εξήγηση των παρατηρήσιμων συμπεριφορών τους.

Ο ορισμός της θεωρίας που προτείνεται εδώ δείχνει ότι η θεωρία είναι μια ανασυγκρότηση σχετιζόμενων παρατηρήσιμων κανονικοτήτων σε ένα ευρύτερο εννοιολογικό πλαίσιο. Αυτό είναι σύμφωνο με την παρατήρηση της Cartwright (1999 σ. 264) ότι «η θεωρία είναι μια ανακατασκευή». Επιπλέον, ο ορισμός του μοντέλου έχει το πλεονέκτημα ότι περιλαμβάνει και το κύριο μεθοδολογικό στοιχείο που καθοδηγεί την κατασκευή ενός μοντέλου, δηλαδή την περιγραφή του συστήματος με τέτοιον τρόπο ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή σε αυτό των κατάλληλων νόμων και αρχών. Έτσι οι μαθητές έχουν, ταυτόχρονα με τον ορισμό και έναν κανόνα για την κατασκευή του μοντέλου, συγκεκριμένα, ότι *το σύστημα πρέπει να περιγραφεί με τέτοιον τρόπο ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια εφαρμογής των νόμων*. Αυτό δε σημαίνει ότι όλοι οι νόμοι είναι γνωστοί πριν την κατασκευή του μοντέλου. Κάποιοι νόμοι είναι συνέπειες των αρχικών υποθέσεων των μοντέλων και το μοντέλο δείχνει πώς αυτοί οι νόμοι εξηγούν τα παρατηρησιακά δεδομένα, όπως στην περίπτωση της εξήγησης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου από τον Einstein με βάση την σωματιδιακή θεωρία για το φως.

Αναλυτικά, το σκεπτικό αυτής της προσέγγισης έχει ως εξής: Η θεωρία περιλαμβάνει αρχές και μαθηματικές σχέσεις δεν περιλαμβάνει όμως τεχνικές για την περιγραφή των φυσικών συστημάτων αλλά ούτε λέει οτιδήποτε για τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων φυσικών συστημάτων. Δεν μας προσφέρει, δηλαδή, άμεσα τα συστατικά που είναι απαραίτητα για μια γνήσια εμπειρική πρόβλεψη (Cartwright, 1999 σ. 264). Επίσης, καθώς η γλώσσα περιγραφής της θεωρίας, δηλαδή, ο μαθηματικός φορμαλισμός με τον οποίο εκφράζονται οι νόμοι της θεωρίας, έχει συγκεκριμένες εκφραστικές δυνατότητες καθώς και η απαίτηση οι εξισώσεις που θα προκύψουν να είναι επιλύσιμες, για να έχουμε ως αποτέλεσμα συγκεκριμένες εμπειρικές προβλέψεις, θέτουν περιορισμούς στην περιγραφή των συστημάτων με το βαθμό της πολυπλοκότητας που αυτά εμφανίζονται στη φύση (Portides, 2011). Οι θεωρίες, λοιπόν, παρέχουν μόνο τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούν οι συμπεριφορές των φυσικών συστημάτων, δηλαδή τους νόμους. Εδώ είναι που τα μοντέλα

είναι απαραίτητα για την εφαρμογή των θεωριών στον πραγματικό κόσμο. Τα μοντέλα συμπληρώνουν τις ελλείψεις και τις αδυναμίες των θεωριών σε σχέση με την πολυπλοκότητα του πραγματικού κόσμου. Και αν και οι θεωρίες δεν περιλαμβάνουν τεχνικές για την εφαρμογή των νόμων στον πραγματικό κόσμο, τουλάχιστον επιβάλλουν κάποιες διαδικασίες, όπως η αφαίρεση, η εξιδανίκευση, οι οποίες επιτρέπουν την εφαρμογή των νόμων σε συγκεκριμένα φυσικά συστήματα (Portides, 2011). Οι διαδικασίες αυτές, μαζί με άλλες, οδηγούν στην κατασκευή μοντέλων που, μέσα από τις κατάλληλες κατά περίπτωση απεξιδανικεύσεις, αναπαριστούν τα πραγματικά συστήματα και για αυτό το λόγο ο ρόλος των μοντέλων είναι καθοριστικός στην επιστημονική μεθοδολογία.

Ο ρόλος του μοντέλου είναι να εξηγεί τη συμπεριφορά του υπό μελέτη συστήματος. Όταν το μοντέλο τεθεί σε λειτουργία επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων τόσο για τη μελλοντική συμπεριφορά του συστήματος όσο και για τις συνέπειες της εφαρμογής των νόμων στο σύστημα. Η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι οι προβλέψεις που αποτελούν απαραίτητο στοιχείο της χρήσης των μοντέλων στην επιστήμη. Οι προβλέψεις αφορούν στο σύστημα αλλά μαζί με τις συνέπειες της εφαρμογής των νόμων επιτρέπουν τον έλεγχο ή την επέκταση της γνώσης που περικλείεται στους νόμους ή στη θεωρία.

Ο ορισμός του επιστημονικού μοντέλου που προτείνεται εδώ είναι σε συμφωνία με τη θέση που εκφράζεται στη φιλοσοφία της επιστήμης, ότι δηλαδή οι νόμοι της φυσικής ισχύουν στα μοντέλα όπως υποστηρίζουν ο Giere (1990), η Cartwright, (1983) και Portides (2007a). Η μόνη διαφορά είναι ότι σύμφωνα με τους δύο πρώτους ισχύουν μόνο στα μοντέλα ενώ ο τελευταίος υποστηρίζει ότι μέσω των μοντέλων οι νόμοι ισχύουν και στα φυσικά συστήματα που αναπαριστούν τα μοντέλα. Αυτό αφορά απλώς σε μια προσθήκη στην έκταση των σχετικών εννοιών. Στη διδακτική υπάρχει μια αντίστοιχη θέση, αυτή του Hestenes (1992) που περιγράφει την επιστήμη ως ένα παιχνίδι στο οποίο ο πραγματικός κόσμος περιγράφεται με μοντέλα και στο οποίο οι θεωρίες θέτουν τους κανόνες αυτού του παιχνιδιού μοντελοποίησης.

Το μοντέλο ως μέσο εφαρμογής των νόμων είναι μια πιο εύλογη περιγραφή και πιο κοντά στο περιεχόμενο της επιστήμης, όπως αυτό παρουσιάζεται στα σχολικά εγχειρίδια. Τα σχολικά βιβλία δεν αναφέρονται συνήθως σε θεωρίες, π.χ. στη θεωρία της βαρύτητας του Νεύτωνα ή νευτώνεια μηχανική αλλά στο νόμο της παγκόσμιας έλξης ή στους νόμους του Νεύτωνα, στους νόμους της θερμοδυναμικής αλλά και σε επιμέρους νόμους, όπως, ο νόμος του Ohm, ο νόμος του Hooke, ο νόμος του Snell κ.ά. Είναι λοιπόν μια πιο οικεία έννοια και με λιγότερη αμφισημία από αυτή της θεωρίας αφού σε πολλές περιπτώσεις, και ειδικά στην

καθημερινή ζωή, η λέξη θεωρία χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάτι αβέβαιο ή υποθετικό ή και σε κάποιες περιπτώσεις, μια υποκειμενική άποψη. Η κατασκευή ενός μοντέλου ως εφαρμογή σχετικών νόμων και αρχών σε ένα σύστημα έχει και το πλεονέκτημα ότι επιτρέπει στην κατασκευή των μοντέλων τη χρήση και νόμων από διαφορετικές θεωρίες κάτι όχι ασυνήθιστο στην επιστήμη. Επίσης, αποφεύγεται ο ρητός χαρακτηρισμός των μοντέλων ως αναπαραστάσεις διότι αυτό ίσως θα απαιτούσε και έναν ορισμό της έννοιας της αναπαράστασης. Όπως όμως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο, αυτό συνιστά ένα ακανθώδες ζήτημα για τη φιλοσοφία αλλά επίσης εισάγει στον ορισμό και ένα στοιχείο που δεν προσθέτει τίποτα στην κατανόηση της μεθοδολογίας της επιστήμης. Για τους ίδιους λόγους αποσιωπάται και το ερώτημα της οντολογίας των μοντέλων το οποίο διατρέχει όλες τις μοντελοκεντρικές αναλύσεις της επιστήμης, αν και το ερώτημα έχει συγκεκριμένες απαντήσεις εντός ορισμένων αναλύσεων (για παράδειγμα, στις ΣΘΑ ένα μοντέλο είναι μια μαθηματική δομή).

7.4 Κριτική στην εισήγηση για τα μοντέλα á la ΣΗΑ στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών

Ο Adúriz-Bravo στο άρθρο του *A 'semantic' view of scientific models for Science Education* (2013) προτείνει την αξιοποίηση της έννοιας του μοντέλου, όπως αυτή περιγράφεται από τις ΣΗΑ των επιστημονικών θεωριών, για την κατανόηση και τη χρήση των επιστημονικών μοντέλων, όπως αυτά ανασυγκροτούνται για να αποτελέσουν μέρος των αναλυτικών προγραμμάτων στην εκπαίδευση και τα οποία ονομάζει *σχολικά επιστημονικά μοντέλα* (στο εξής ΣΕΜ). Σε αυτό περιγράφει πώς τα σχολικά επιστημονικά μοντέλα και η σχολική μοντελοποίηση, όπως περιγράφεται στη βιβλιογραφία της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών μπορεί να αποτυπώσει τα χαρακτηριστικά των ΣΗΑ των επιστημονικών θεωριών. Τα όσα όμως παραθέτει όχι μόνο ταιριάζουν και με την ανάλυση των μοντέλων ως διαμεσολαβητών αλλά σε κάποιες περιπτώσεις εκφράζονται καλύτερα από τις τελευταίες.

7.4.1 Η σημασιολογική εκδοχή των Σχολικών Επιστημονικών Μοντέλων

Σε μια αντίληψη των ΣΕΜ βασισμένη στις ΣΗΑ των επιστημονικών θεωριών ο Adúriz-Bravo διακρίνει τα πιο κάτω πλεονεκτήματα:

1. Μια μετατόπιση του βάρους του ενδιαφέροντος από τη σύνταξη στη σημασιολογία, που σημαίνει λιγότερη έμφαση στις τυπικές πτυχές και περισσότερη στο περιεχόμενο σε μια εκπαίδευση με νόημα, δηλαδή με την έμφαση στη μάθηση όχι εξηγήσεων που είναι προτασιακές αναπαραγωγές των νόμων αλλά την εφαρμογή τους σε καταστάσεις της καθημερινής ζωής οι οποίες μπορούν να αναπαρασταθούν με θεωρητικές, δηλαδή γενικές, επεξηγηματικές ιδέες.
2. Η αντίληψη των ΣΕΜ ως θεωρητικές αναπαραστάσεις του κόσμου, οι οποίες εκφράζονται όχι μόνο ως μαθηματικοί φορμαλισμοί, αλλά θα περιλαμβάνουν και άλλες συμβολικές αναπαραστάσεις, όπως: μοντέλα σε κλίμακα, εικόνες, πίνακες γραφικές παραστάσεις, αναλογίες, εφόσον μας δίνουν τη δυνατότητα να περιγράψουμε, να εξηγήσουμε, να προβλέψουμε και να παρέμβουμε στη φύση.
3. Τα ΣΕΜ μπορούν να παρουσιαστούν στην τάξη ως “ανασυγκροτημένα γεγονότα”. Αυτά τα “ανασυγκροτημένα γεγονότα” είναι υποδείγματα που μπορούν οι μαθητές να εφαρμόσουν στον πραγματικό κόσμο στις περιπτώσεις που τα συστήματα στον κόσμο μοιάζουν με αυτά.
4. Η σχολική επιστημονική μοντελοποίηση μπορεί να θεωρηθεί ως έλεγχος της υπόθεσης συμφωνίας μεταξύ ιδεών και παρατηρήσεων. Η εξαγωγή συμπερασμάτων από τη διαχείριση των μοντέλων και η σύγκρισή τους με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την παρατήρηση και τα πειράματα μπορεί να είναι μια ένδειξη για το βαθμό που οι ιδέες μας ανταποκρίνονται στις καταστάσεις στον πραγματικό κόσμο. Μια τέτοια προσέγγιση εισαγάγει μια λιγότερο δογματική επιστημονική μέθοδο αλλά και την έννοια της “εμπειρικής επιβεβαίωσης” που διατυπώνουν οι ΣΗΑ.
5. Τα ΣΕΜ προτείνουν εξηγήσεις. Κάποια θεωρητικά μοντέλα είναι δυνατόν να έχουν διττό ρόλο. Μπορεί να είναι τα αφηρημένα ισοδύναμα των πραγματικών συστημάτων ή υποδείγματα ενός τύπου συστημάτων.
6. Τα σχολικά επιστημονικά μοντέλα φέρουν συναινετικούς επιστημονικούς στόχους και αξίες. Όπως ένας χάρτης μεταφέρει κάποια, συγκεκριμένα, χαρακτηριστικά μιας περιοχής με τρόπους κοινά αποδεκτούς τρόπους και μας βοηθάει να πλοηγηθούμε σε μια περιοχή, έτσι και ένα μοντέλο περιγράφει το υπό μελέτη

κομμάτι του φυσικού κόσμου σύμφωνα με τρόπους κοινά αποδεκτούς στην επιστημονική κοινότητα και βοηθάει στην περαιτέρω μελέτη του φαινομένου.

(Η έμφαση στο πρωτότυπο).

Αναφορικά με τα σημεία 1 και 2 αυτά καλύπτονται καλύτερα από την προσέγγιση των μοντέλων ως διαμεσολαβητών, διότι, σε αντίθεση με τις ΣΗΑ, πρώτον η αντίληψη των MMCS για τα μοντέλα είναι εξ' ολοκλήρου βασισμένη στο περιεχόμενο και καθόλου στο φορμαλισμό και δεύτερον, είναι πιο περιεκτική αναφορικά με τα διάφορα είδη των μοντέλων. Τρίτον, στην αντίληψη των μοντέλων ως διαμεσολαβητών μεταξύ της θεωρίας και του κόσμου, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στους ρόλους που έχουν τα μοντέλα στην επιστημονική πρακτική και στις χρήσεις τους σε αυτή και λιγότερο στη θέση τους σε μια ανασυγκρότηση του οικοδομήματος της επιστημονικής γνώσης. Επίσης, με τους ορισμούς που προτείνονται πιο πάνω ικανοποιείται το αίτημα του Adúriz-Bravo για την έμφαση της μάθησης στην εφαρμογή των νόμων στον πραγματικό κόσμο και την περιγραφή του με γενικές επεξηγηματικές ιδέες.

Τα σημεία 3 και 5 αφορούν στο ρόλο που μπορούν να έχουν τα θεωρητικά μοντέλα ως υποδείγματα για τύπους συστημάτων (σημείο 3) αλλά και ως πρότυπα για την κατασκευή «πιο ειδικών (ή πιο γενικών) μοντέλων που μπορούν να συνδεθούν με το αρχικό» (ό. π. σ. 1606) και τα οποία προσφέρονται ως εξηγήσεις για τα φαινόμενα που αναπαριστούν (σημείο 5). Οι υποστηρικτές της αντίληψης των μοντέλων ως διαμεσολαβητών δεν απορρίπτουν αυτούς τους δύο ισχυρισμούς, αντίθετα, τονίζουν την ανάγκη των «πιο ειδικών μοντέλων» για τη μελέτη των πραγματικών συστημάτων. Αυτό, στην κριτική που ασκούν οι MMCS, συνιστά και μια αδυναμία των ΣΗΑ αφού, όπως προαναφέρθηκε, όχι μόνο τα θεωρητικά μοντέλα δεν είναι το μόνο είδος μοντέλων στην επιστήμη αλλά και τα θεωρητικά μοντέλα, στα οποία αναφέρονται αποκλειστικά οι ΣΗΑ, δεν μπορούν, ως έχουν, να αναπαριστούν με ακρίβεια πραγματικά φυσικά συστήματα.

Το σημείο 4 αφορά γενικότερα στη μεθοδολογία για τον πειραματικό έλεγχο των συμπερασμάτων που εξάγονται από τα μοντέλα και που συνιστά την εμπειρική βάση της επιστήμης. Την άποψη αυτή μοιράζονται όλες οι αναλύσεις που αντιλαμβάνονται την επιστήμη ως ένα μοντελοκεντρικό εγχείρημα. Επιπλέον όμως, το πλεονέκτημα την ιδεών της ομάδας των MMCS είναι ότι όχι μόνο είναι συμβατές με μια λιγότερο δογματική επιστημονική μέθοδο αλλά και μια λιγότερο δογματική μεθοδολογία κατασκευής των μοντέλων.

Το σημείο 6 δεν χρειάζεται σχολιασμό αφού απηχεί μια κοινή παραδοχή σε όλες τις μοντελοκεντρικές αναλύσεις της επιστήμης.

7.4.2 Η σημασιολογική εκδοχή στη Σχολική Μοντελοποίηση

Αναφορικά με την έννοια της μοντελοποίησης, όπως αυτή εμφανίζεται στη βιβλιογραφία της διδακτικής, στο ίδιο άρθρο ο Adúriz-Bravo διακρίνει τέσσερεις διαφορετικές σημασίες, τη μοντελοποίηση ως:

- Την κατασκευή νέων επιστημονικών μοντέλων σε σχέση με την υπάρχουσα γνώση σε κάποια ιστορική στιγμή της επιστήμης
- Τη διαδικασία της υπαγωγής επιστημονικών δεδομένων σε κάποια υφιστάμενα μοντέλα που μπορούν να τα εξηγήσουν
- Την διόρθωση κάποιων υφιστάμενων μοντέλων εν όψει νέων αναπάντεχων και ανώμαλων δεδομένων, και τέλος
- Την διανοητική “άσκηση” της εφαρμογής υφιστάμενων μοντέλων για την εξήγηση δεδομένων που προκύπτουν σε ένα περιβάλλον μάθησης.

Αυτές οι σημασίες, σημειώνει ο Adúriz-Bravo, συνάδουν με τις διαδικασίες που συναντώνται στην επιστημονική πρακτική: την κατασκευή (εφεύρεση), την εφαρμογή και τη βελτίωση των μοντέλων και, τελικά, τη μάθηση.

Από αυτές τις τέσσερεις σημασίες της μοντελοποίησης οι τρεις πρώτες, οι οποίες αφορούν στην επιστημονική πρακτική, είναι, και θα πρέπει να είναι, συνιστώσες κάθε μοντελοκεντρικής ανάλυσης της επιστήμης και δεν είναι αποκλειστικό χαρακτηριστικό των ΣΗΑ. Στην περίπτωση των MMCS οι αναλύσεις φαίνεται να δίνουν περισσότερη έμφαση στην πρώτη, δηλαδή στην *ex novo* κατασκευή μοντέλων, όχι διότι στην επιστήμη υπάρχουν μόνο αυτές οι περιπτώσεις αλλά επειδή προσπαθούν μέσα από τέτοια παραδείγματα να υπογραμμίσουν τις αδυναμίες των ΣΗΑ στην περιγραφή της μεθοδολογίας της εφαρμογής της θεωρίας στην κατασκευή των μοντέλων.

Με λίγα λόγια, η φιλοσοφική ανάλυση των μοντέλων ως διαμεσολαβητών υπερτερεί των ΣΗΑ ως προς την καταλληλότητά της για την εκπαίδευση διότι, αφενός, έχει όλα τα γενικά πλεονεκτήματα των μοντελοκεντρικών αναλύσεων για τη σημασία των μοντέλων στην επιστήμη αλλά ταυτόχρονα, αποφεύγει οποιουσδήποτε τεχνικούς προσδιορισμούς αναφορικά με τα μοντέλα και τη σχέση τους με τον κόσμο, επιτρέπει μεγαλύτερη ελευθερία στη μεθοδολογία κατασκευής των επιστημονικών μοντέλων και ως συνέπεια αυτού είναι πιο περιεκτική αναφορικά με τα είδη μοντέλων που χρησιμοποιούνται στους διάφορους επιστημονικούς τομείς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.

ΜΙΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΤΑΣΗ

Η όλη φιλοσοφική συζήτηση για τα μοντέλα που προηγήθηκε μοιάζει και είναι, πολύ τεχνική για να είναι χρήσιμη στη διδασκαλία. Αυτό που είναι σημαντικό για τη διδασκαλία είναι η επιλογή εκείνων των στοιχείων από τη φιλοσοφία της επιστήμης που θα βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν καλύτερα το περιεχόμενο της επιστήμης, αιτιολογώντας τα διάφορα χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας κατασκευής των μοντέλων και διαμορφώνοντας με αυτό τον τρόπο το κατάλληλο νοητικό και επιστημολογικό πλαίσιο για την ανάπτυξή του. Παράλληλα, μέσα από αυτή τη διαδικασία, αναδεικνύονται τα στοιχεία εκείνα της μεθοδολογίας της επιστήμης που συνιστούν αυτό που η βιβλιογραφία ονομάζει φύση της επιστήμης. Στη συνέχεια περιγράφεται μια διδακτική πρόταση που προσπαθεί να επιτύχει τα πιο πάνω ενσωματώνοντας τα νέα στοιχεία μέσα στο υφιστάμενο εννοιολογικό περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων.

8.1 Μια νέα οπτική στο παλιό

Η ενσωμάτωση των επιστημολογικών στοιχείων και στοιχείων της μεθοδολογίας της επιστήμης στη διδασκαλία είναι δυνατόν να επιτευχθεί χωρίς δραματικές αλλαγές στο περιεχόμενο των αναλυτικών προγραμμάτων ή στη μέθοδο διδασκαλίας. Αυτό που χρειάζεται μια αλλαγή προοπτικής στην προσέγγιση του περιεχομένου, η ένταξη δηλαδή του περιεχομένου σε ένα ευρύτερο φιλοσοφικό και μεθοδολογικό πλαίσιο μοντελοποίησης. Ένα παράδειγμα μοντέλου το οποίο προσφέρεται για να εισαχθεί αυτή η αλλαγή προοπτικής περιεχομένου είναι αυτό του αρμονικού ταλαντωτή (στην επόμενη ενότητα θα εξηγηθούν αναλυτικά οι λόγοι για τους οποίους ο αρμονικός ταλαντωτής ενδείκνυται για να παρουσιαστεί αυτή η προσέγγιση). Ο αρμονικός ταλαντωτής είναι ενταγμένος σχεδόν σε όλα τα αναλυτικά προγράμματα της φυσικής και στα αντίστοιχα εγχειρίδια, με διαφορετικές όμως προσεγγίσεις. Σε κάποια από αυτά η προσέγγιση είναι περισσότερο εμπειρική και ξεκινά από περιοδικά φαινόμενα που μπορούν να παρατηρηθούν στη φύση ή στο εργαστήριο. Η εισαγωγή στην απλή αρμονική ταλάντωση γίνεται με την περιγραφή ή/και εξήγηση της μορφής που έχει ο δεύτερος νόμος της δυναμικής στην περίπτωση της ταλάντωσης ενός συγκεκριμένου συστήματος, αυτού της μάζας συνδεδεμένης σε οριζόντιο ελατήριο (Ellse and Honeywill, 1998, σ. 32, Skenlding and Bethel, 2001, σ. 28, Αρχοντής, Πτωχός, Ζαχαρία, Ιωάννου, Καρμιώτης, Πολυδωρίδης, Φιλίππου, Ελευθερίου, Χατζηκωστής, 2017, σ. 6) και την παρουσίαση των εξισώσεων κίνησης (Skenlding and Bethel, 2001, σελ. 32) ή την εξαγωγή τους από την ομαλή κυκλική κίνηση (Ellse and

Honeywill, 1998, σελ. 32, Αρχοντής κ.ά., 2017, σ. 29) με τη μέθοδο της παραγωγίσις ή την εξαγωγή τους από την προβολή της ταχύτητας και της επιτάχυνσης στην ομαλή κυκλική κίνηση στους άξονες.

Σε άλλα η μελέτη ξεκινά από την εξαγωγή των εξισώσεων κίνησης από την ομαλή κυκλική κίνηση και μετά την εφαρμογή του νόμου της δυναμικής και την εξαγωγή των σχέσεων της δύναμης με το χρόνο και τη θέση (Ιωάννου, Ντάνος, Πήττας, Ράπτης, 1999, Κρασιάς, Λουκαΐδου, Παπαστυλιανού, Σαββίδου, 1997, Χατζηκωνσταντίνου, Στράτης, 1998, Κατσελλής, Δωρίτης, 2006).

Όποια και αν είναι όμως η προσέγγιση όλα τα πιο πάνω περιλαμβάνουν, είτε ως μέρος της θεωρίας στο διδακτικό εγχειρίδιο είτε ως πειραματικές δραστηριότητες, την εξαγωγή των εξισώσεων κίνησης και δύναμης, την εφαρμογή τους σε πραγματικά ή πειραματικά συστήματα του εργαστηρίου, πειραματικές διαδικασίες για τη διερεύνηση των παραγόντων από τους οποίους εξαρτάται η περίοδος τέτοιων συστημάτων και τη χρήση τους στη μέτρηση σταθερών (της σταθεράς του ελατηρίου από το σύστημα μάζα-ελατήριο και της επιτάχυνσης της βαρύτητας από το απλό εκκρεμές).

Το κοινό χαρακτηριστικό σε όλα τα πιο πάνω εγχειρίδια είναι η έμφαση στο περιεχόμενο της επιστήμης. Οι επιστημολογικές πτυχές της επιστήμης αναφέρονται στους γενικούς σκοπούς και στόχους του αναλυτικού προγράμματος οι οποίοι θα πρέπει να επιδιώκονται μέσα από τις διδακτικές δραστηριότητες. Η πρόταση που ακολουθεί βρίσκεται εντός αυτού του ευρύτερου πλαισίου, δηλαδή αξιοποιεί το περιεχόμενο του αναλυτικού προγράμματος με στόχο όχι μόνο την καλύτερη κατανόησή του αλλά και την ταυτόχρονη ανάδειξη των διαδικασιών μοντελοποίησης και των ρόλων των μοντέλων στην επιστήμη επιδιώκοντας την καλύτερη κατανόηση της ίδιας της επιστήμης.

8.2 Η ένταξη της μελέτης του απλού αρμονικού ταλαντωτή στο μοντελοκεντρικό πλαίσιο

Η διδακτική πορεία που περιγράφεται στη συνέχεια εντάσσεται σε ένα γενικότερο πλαίσιο μοντελοκεντρικής μάθησης. Στόχος της είναι να εμπλέξει τους μαθητές στη διαδικασία κατασκευής και χρήσης μοντέλων και ταυτόχρονα να αναδείξει, όπου και στο βαθμό που αυτό είναι δυνατόν, χαρακτηριστικά της επιστημονικής πρακτικής και των επιστημονικών μοντέλων ειδικότερα. Οι λόγοι για την επιλογή του μοντέλου του απλού αρμονικού ταλαντωτή, που στα σχολικά εγχειρίδια αντιστοιχεί στην ενότητα *Ταλαντώσεις* είναι οι εξής:

(α) ο αρμονικός ταλαντωτής περιλαμβάνεται σχεδόν σε όλα τα αναλυτικά προγράμματα της φυσικής,

(β) διδάσκεται κυρίως στις μεγαλύτερες τάξεις με αποτέλεσμα οι μαθητές να έχουν επαρκή γνώση φυσικής ώστε να μπορούν να εμπλακούν σε πιο απαιτητικές δραστηριότητες και συζητήσεις σχετικές με το θέμα,

(γ) το μοντέλο περιγράφεται από ένα μαθηματικό φορμαλισμό ο οποίος όχι μόνο μπορεί να εξαχθεί από τους μαθητές από την προϋπάρχουσα γνώση τους στη φυσική και τα μαθηματικά αλλά και δίνει την ευκαιρία στον διδάσκοντα να συζητήσει τη σημασία της μαθηματικής διατύπωσης των μοντέλων και να υπογραμμίσει τη σημασία της στη μελέτη του κόσμου. Ταυτόχρονα, ενισχύει τη σύνδεση μεταξύ των νοητικών μοντέλων, που είναι κυρίως ποιοτικά, με τη μαθηματική τους διατύπωση αλλά και αντίστροφα, αφού υποστηρίζει τη αναφορά του μαθηματικού φορμαλισμού σε σχέσεις μεταξύ χαρακτηριστικών των συστημάτων,

(δ) περιλαμβάνει το μοντέλο του απλού εκκρεμούς που, αν και σχετικά απλό, χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως υπόδειγμα μοντέλου στις φιλοσοφικές αναλύσεις και προσφέρεται για την ανάλυση πολλών πτυχών της έννοιας του μοντέλου και του ρόλου του στην επιστημονική πρακτική,

(ε) τέλος, το μοντέλο του απλού εκκρεμούς είναι ένα σύστημα που παρόλη την απλότητά του έχει πλούσια ιστορία στην εξέλιξη της επιστήμης από την εποχή του Γαλιλαίου, αφού η συμβολή του ήταν καθοριστική στην απάντηση πολλών ερωτημάτων που απασχόλησαν την επιστήμη. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης της βαρύτητας της γης (Nelson and Olsson, 1986), έδωσε τις πρώτες ενδείξεις ότι η Γη ήταν πεπλατυσμένη στον Ισημερινό αλλά και χρησιμοποιήθηκε για την απόδειξη της περιστροφής της Γης γύρω από τον εαυτό της περισσότερο από εκατόν πενήντα χρόνια πριν από τη διαστημική εποχή (Matthews, 2004· Matthews et al, 2005). Στον τομέα της τεχνολογίας το εκκρεμές ήταν η απάντηση στις προσπάθειες κατασκευής ρολογιών.

Μέσα από τη διαδικασία που προτείνεται πιο κάτω οι μαθητές καλούνται να αναγνωρίσουν κανονικότητες που προκύπτουν ως συνέπειες της εφαρμογής γνωστών μοντέλων, οι οποίες μπορεί να μην είναι άμεσα αντιληπτές, να κατανοήσουν την ανάγκη της ακριβούς περιγραφής της νέας κατάστασης μέσα από τη διατύπωσή της με ένα μαθηματικό φορμαλισμό και την ανάγκη της ερμηνείας των όρων αυτής της περιγραφής. Γενικότερα, εμπλέκει τους μαθητές στην κατασκευή ενός θεωρητικού μοντέλου. Σε επόμενη φάση οι μαθητές έχουν την ευκαιρία να εφαρμόσουν το μοντέλο αυτό σε πραγματικά συστήματα

ακολουθώντας τις απαραίτητες διαδικασίες της αφαίρεσης και της εξιδανίκευσης και να χρησιμοποιήσουν τα νέα μοντέλα σε περαιτέρω επιστημονικές διερευνήσεις.

Η διδακτική πρόταση έχει χαρακτηριστικά της πραγματικής επιστημονικής μεθοδολογίας και συνεπώς εμπλέκει τους μαθητές σε διαδικασίες παρόμοιες με αυτές της πραγματικής επιστήμης. Επιπλέον, τους βοηθάει να κατανοήσουν ότι κάποιοι επιστημονικοί ισχυρισμοί μπορούν να προκύψουν ως συνέπειες της υπάρχουσας γνώσης και όχι απαραίτητα από την άμεση εμπειρία και ότι οι έννοιες στην επιστήμη αποκτούν το νόημά τους μέσα στο εννοιολογικό πλαίσιο στο οποίο ορίζονται και εντός του οποίου οργανώνονται σε ένα συνεκτικό πλέγμα. Αυτό μπορεί να είναι ένα υφιστάμενο ή, πιο σπάνια, να οριοθετούν ένα καινούργιο. Η συμπερίληψη πειραματικών διαδικασιών δίνει την ευκαιρία για αναφορές στον έλεγχο των επιστημονικών ισχυρισμών που είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι της επιστημονικής διαδικασίας και της εγκυροποίησης της επιστημονικής γνώσης. Ο έλεγχος των επιστημονικών ισχυρισμών γίνεται δυνατός μέσα από διαδικασίες πειράματος το οποίο αποτελεί την «εμπειρική βάση της επιστήμης». Η τελευταία βρίσκεται σε διάσταση με την έννοια της «εμπειρίας» στην καθημερινή ζωή η οποία συνίσταται στην εξαγωγή συμπερασμάτων από απλές παρατηρήσεις, δηλαδή από καταγραφές της συμπεριφοράς των φαινομένων, όπως αυτά εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο σε όλη τους την πολυπλοκότητα και μόνο στο επίπεδο της άμεσης αισθητηριακής αντίληψης. Η εμπειρική βάση της επιστήμης προκύπτει από την αναπαραγωγή των υπό μελέτη φαινομένων στο εργαστήριο υπό ελεγχόμενες συνθήκες, οι οποίες σκοπεύουν στο να απομονώσουν τους παράγοντες που επιδρούν στο φαινόμενο και ταυτόχρονα επιτρέπουν τη διαχείριση και την επεξεργασία τους. Αυτό με τη σειρά του εξηγεί την πηγή των διαφορών ανάμεσα στην άμεση εμπειρία και τους επιστημονικούς ισχυρισμούς και πώς κάποιες από αυτές τις διαφορές μπορούν να γεφυρωθούν. Όλα αυτά είναι σημαντικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθοδολογίας και της επιστημονικής γνώσης αλλά και απαραίτητα για μια καλύτερη κατανόηση του περιεχομένου αλλά και της φύσης της επιστήμης και άρα συστατικά μιας επιτυχημένης διδασκαλίας των φυσικών επιστημών.

Η ανάλυση της διδακτικής πορείας που ακολουθεί εγείρει και άλλα σχετικά ζητήματα χωρίς να αποκλείει τη δυνατότητα ενσωμάτωσης και άλλων επιστημονικών ή φιλοσοφικών ζητημάτων. Ο εκπαιδευτικός μπορεί είτε να εμπλουτίσει το περιεχόμενο της διδασκαλίας είτε να επιλέξει από αυτό εκείνα τα θέματα που θεωρεί ότι είναι τα σημαντικότερα ή που βρίσκονται εντός των ορίων των δυνατοτήτων των μαθητών στους οποίους απευθύνεται. Επίσης, η πρόταση δεν υπαγορεύει και συγκεκριμένη μεθοδολογία για την οργάνωση της

τάξης. Αν και κάποιες δραστηριότητες μπορούν ή πρέπει να γίνουν σε ομάδες άλλες μπορούν να γίνουν και στην ολομέλεια.

8.2.1 Πορεία και δραστηριότητες της διδασκαλίας

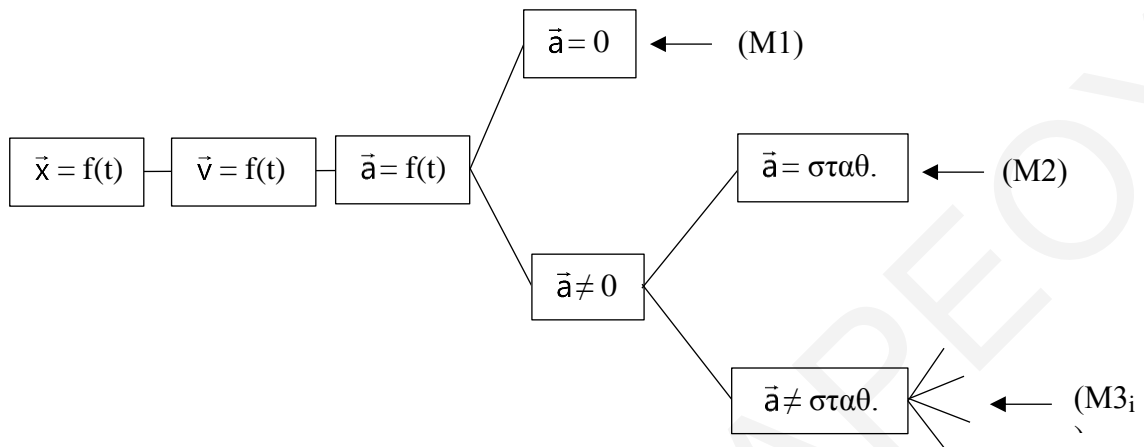
Στον πίνακα 2 που ακολουθεί περιγράφεται συνοπτικά η πορεία της διδασκαλίας. Στη συνέχεια ακολουθεί μια διεξοδική περιγραφή των βημάτων με αναφορές στις σχετικές φιλοσοφικές και επιστημολογικές πτυχές

Η πορεία της διδασκαλίας στη μελέτη του απλού αρμονικού ταλαντωτή:

1. Προαπαιτούμενη γνώση: Οι έννοιες της κινηματικής και η σημασία τους στη μελέτη των συστημάτων. Γνωστά κινηματικά μοντέλα. Η ομαλή κυκλική κίνηση.
2. Η ομαλή κυκλική κίνηση και η προκύπτουσα κίνηση της προβολής του σημείου που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση.
3. Εξαγωγή των εξισώσεων κίνησης της προβολής του σημείου που εκτελεί ομαλή κυκλική κίνηση.
4. Η εφαρμογή του δεύτερου νόμου του Νεύτωνα σε σώματιο του οποίου η κίνηση ικανοποιεί τις συνθήκες που περιγράφουν οι εξισώσεις που εξήχθησαν στο βήμα 3.
5. Εφαρμογή του μοντέλου σε απλά μηχανικά συστήματα (μάζα-ελατήριο στην οριζόντια και στην κατακόρυφη διεύθυνση, απλό εκκρεμές).
6. Πειραματική μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την περίοδο ταλάντωσης του εκκρεμούς.
7. Θεωρητική εξαγωγή της σχέσης για την περίοδο του απλού εκκρεμούς. Σύγκριση των δύο μεθόδων.
8. Χρησιμοποίηση των μοντέλων ως οργάνων για τον υπολογισμό σταθερών ποσοτήτων.

Πίνακας 4: Πορεία και δραστηριότητες της διδασκαλίας του απλού αρμονικού ταλαντωτή.

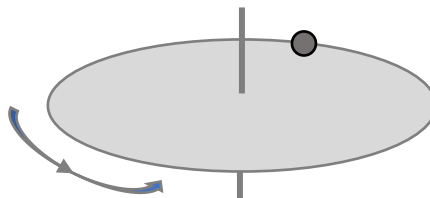
Βήμα 1: Υπενθύμιση και, αν χρειαστεί οργάνωση, των κινηματικών μοντέλων για τις ευθύγραμμες κινήσεις που γνωρίζουν οι μαθητές. Η γνώση αυτή συνοψίζεται στο πιο κάτω δενδροδιάγραμμα (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1: Κινηματικά μοντέλα για την κίνηση υλικού σημείου.

Οι κλάδοι M1, M2 και M3_i αντιστοιχούν σε διάφορα κινηματικά μοντέλα. M1 είναι το μοντέλο της ομαλής κίνησης, M2 είναι το μοντέλο της ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης ενώ στον κλάδο M3 ανήκουν όλα τα κινηματικά μοντέλα που αντιστοιχούν στους διαφορετικούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να μεταβάλλεται η επιτάχυνση. Στην τελευταία ομάδα ανήκει και το μοντέλο της ομαλής κυκλικής κίνησης αφού η διεύθυνση της επιτάχυνσης αλλάζει με συνεχή τρόπο.

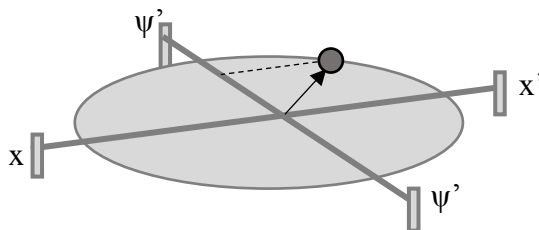
Βήμα 2: Οι μαθητές καλούνται να αναφέρουν τα βασικά χαρακτηριστικά μιας ομαλής κυκλικής κίνησης, όπως: ακτίνα, γωνιακή θέση, περίοδος, συχνότητα, γωνιακή και γραμμική ταχύτητα και τις σχέσεις μεταξύ τους. Μια κατασκευή με ένα σφαιρίδιο στερεωμένο στην άκρη δίσκου που περιστρέφεται ελεύθερα γύρω από τον εαυτό του μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εποπτικό μέσο (σχήμα 1).



Σχήμα 1: Συσκευή επίδειξης ομαλής κυκλικής κίνησης.

Στη συνέχεια ζητείται από τους μαθητές να υποθέσουν ότι στο επίπεδο του δίσκου ορίζεται ένα σύστημα κάθετων αξόνων με την αρχή του στο κέντρο του δίσκου στο οποίο είναι

δυνατόν να προβάλλεται η θέση του σφαιριδίου. Αν οι μαθητές δυσκολεύονται το σύστημα των αξόνων μπορεί να δημιουργηθεί στο επίπεδο του δίσκου με τη βοήθεια νημάτων (σχήμα



Σχήμα 2: Συσκευή επίδειξης ομαλής κυκλικής κίνησης με σύστημα αξόνων για τη μελέτη της κίνησης της προβολής του σφαιριδίου στους άξονες.

2) και να γίνει αναφορά στην έννοια της προβολής σημείου σε άξονα από τα μαθηματικά.

Στη συνέχεια ζητείται από τους μαθητές να παρατηρήσουν την κίνηση του σφαιριδίου στον κύκλο και να φανταστούν και να περιγράψουν την κίνηση της προβολής του στους άξονες. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστικά σημαντική διότι υποχρεώνει τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν τις ικανότητες τους για την κατασκευή και επεξεργασία νοερών εικόνων σε καταστάσεις για τις οποίες δεν έχουν άμεση αισθητηριακή αντίληψη, μια κατάσταση που είναι ο κανόνας στην επιστήμη. Οι μαθητές θα πρέπει να ενθαρρύνονται να περιγράψουν όσο το δυνατόν καλύτερα τα χαρακτηριστικά της κίνησης που θα εκτελεί η προβολή όταν το σφαιρίδιο κινείται στην κυκλική του τροχιά.

Αν και υπάρχουν εργαστηριακές συσκευές που εποπτικοποιούν την κίνηση της προβολής καλό θα ήταν να μη χρησιμοποιηθούν εξ' αρχής αλλά να ενθαρρυνθούν οι μαθητές να εξαγάγουν τα δικά τους συμπεράσματα με μια διαδικασία νοερής επιξεργασίας της κατάστασης και ελέγχου των συνεπειών των αρχικών τους υποθέσεων. Αυτό τονίζει την ανάγκη της νοερής αναπαράστασης ενός προβλήματος και της νοερής προσομοίωσης της συμπεριφοράς του προβλήματος που βοηθάει στην καλύτερη κατανόησή του και στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς τους που είναι και ένα πρώτο βήμα προς της λύση του. Αυτό είναι μια περίπτωση στην οποία οι μαθητές μαθαίνουν να αξιοποιούν τη δυνατότητα του νου στην κατασκευή νοερών αναπαραστάσεων και στους συλλογισμούς σε αυτή από την οποία προκύπτουν συμπεράσματα που μπορεί να μην είναι αντιληπτά από την αισθητηριακή εμπειρία. Αυτός άλλωστε είναι και ο κανόνας στην πραγματική επιστήμη.

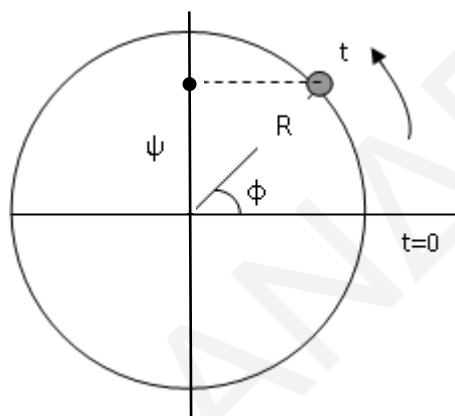
Από αυτή τη νοερή επεξεργασία μιας υποθετικής κατάστασης προκύπτουν αβίαστα και δύο παρατηρήσεις οι οποίες έχουν φιλοσοφικές προεκτάσεις. Η πρώτη είναι ότι πίσω από μια ορατή κανονικότητα, αυτή της ομαλής κυκλικής κίνησης, μπορέσαμε, με τη βοήθεια της φαντασίας μας και τη γνώση κάποιων εννοιών από τη φυσική και τα μαθηματικά (ή και

χωρίς χρήση των μαθηματικών αν αντί για προβολή μιλούσαμε για σκιά), να εντοπίσουμε μια άλλη άγνωστη μέχρι τώρα κανονικότητα, αυτή της παλινδρομικής κίνησης της προβολής του σφαιριδίου. Αυτή δεν είναι μια μοναδική περίπτωση στην επιστήμη, είναι αντίθετα πολύ συχνή, αφού πολλά φαινόμενα δεν είναι άμεσα αντιληπτά και χρειάζεται η χρήση της υπάρχουσας γνώσης και της φαντασίας για να τα περιγράψουμε. Η δεύτερη είναι ότι παρότι μπορούμε να αναγνωρίσουμε ότι η κίνηση της προβολής είναι επιταχυνόμενη, αφού στα άκρα η ταχύτητα προφανώς μηδενίζεται και αλλάζει η φορά κίνησης, εντούτοις είναι αδύνατον να την περιγράψουμε με ακρίβεια μόνο με τη βοήθεια της νοερής προσομοίωσης για την κίνησή της και τη νοητική επεξεργασία της. Αν μπορούσαμε να αναγνωρίσουμε την κίνηση θα έπρεπε να μπορούμε να την εντάξουμε σε μια από τις γνωστές κατηγορίες μοντέλων. Όμως, λόγω του γεγονότος ότι η σκιά αλλάζει φορά κίνησης κάθε φορά που βρίσκεται στα άκρα της κλειστής διαδρομής που διανύει μπορούμε με βεβαιότητα να πούμε ότι δεν περιγράφεται από το μοντέλο M2 και συνεπώς θα πρέπει να ανήκει στην κατηγορία μοντέλων M3_i.

Η σημασία αυτής της παρατήρησης είναι ότι η υπόθεση του Johnson-Laird (1983, σ. 2) για την γνώση στην καθημερινή ζωή «γνωρίζω κάτι» σημαίνει «έχω ένα [νοητικό] μοντέλο για αυτό» ισχύει και στην επιστήμη. Στην περίπτωση του απλού αρμονικού ταλαντωτή οι μαθητές δεν έχουν ένα τέτοιο μοντέλο και, συνεπώς, θα πρέπει να κατασκευάσουν ένα καινούργιο που θα περιγράφει τη νέα υποθετική κίνηση. Εδώ όμως προκύπτει ένα άλλο πρόβλημα. Είναι φανερό, από τις προσπάθειες που έγιναν για τη λεκτική περιγραφή του φαινομένου, ότι, πολλές φορές, η καθημερινή γλώσσα δεν είναι επαρκής ούτε επαρκώς ακριβής για μια επιστημονική περιγραφή των χαρακτηριστικών του φαινομένου. Το πρόβλημα θα παρέμενε ακόμη και αν μπορούσαμε να παρατηρήσουμε την εξέλιξη του φαινομένου χρησιμοποιώντας μια κατάλληλη διάταξη με την οποία θα μπορούσαμε να παρακολουθήσουμε την προβολή του σφαιριδίου. Για μια επιστημονική μελέτη του φαινομένου είναι απαραίτητη η ένταξή του στο εννοιολογικό πλαίσιο μιας θεωρίας η οποία περιλαμβάνει τις απαραίτητες έννοιες για την περιγραφή του και την κατασκευή ενός μοντέλου που θα επιτρέψει την εφαρμογή των έννοιών και των σχετικών νόμων της θεωρίας ή των θεωριών στο φαινόμενο. Οι θεωρίες προσφέρουν επίσης και τον κατάλληλο μαθηματικό φορμαλισμό για τη μαθηματική διατύπωση των ιδιοτήτων του φαινομένου με τον οποίο ποσοτικοποιείται το φαινόμενο καθιστώντας δυνατή και την πειραματική του διερεύνηση. Η όλη διαδικασία συνιστά την προσπάθεια θεωρητικής περιγραφής του φαινομένου που είναι ο στόχος της επιστήμης. Η θεωρητική περιγραφή του κόσμου μέσα από μοντέλα εξασφαλίζει όχι μόνο την ακρίβεια αλλά και τη δυνατότητα γενίκευσης και

εφαρμογής του μοντέλου σε όλα τα φαινόμενα που ανήκουν στην κατηγορία του. Στην προκειμένη περίπτωση, η μελέτη γίνεται σε ένα αφηρημένο επίπεδο στο οποίο διερευνούμε τις πιθανές συνέπειες των ισχυρισμών της θεωρίας, αυτής της κλασικής μηχανικής, για την περίπτωση της κυκλικής κίνησης.

Βήμα 3: Σε αυτή τη φάση οι μαθητές καλούνται, από κατάλληλο σχήμα, να προσπαθήσουν να εξαγάγουν μόνοι τους τη μαθηματική σχέση για μια τυχαία θέση της προβολής του σφαιριδίου με τη χρήση βασικών μαθηματικών εννοιών (Σχήμα 3), δηλαδή να αρχίσουν να κατασκευάζουν μόνοι τους το μοντέλο για το νέο είδος κίνησης.



Σχήμα 3: Διάγραμμα για την εξαγωγή της σχέσης της θέσης της προβολής του σφαιριδίου στον κατακόρυφο άξονα.

Οι μαθητές εύκολα θα καταλήξουν στη μαθηματική σχέση $\psi = R\eta\mu\phi$. Οι περισσότεροι μαθητές πιθανόν θα σταματήσουν σε αυτό το σημείο. Σημαντική είναι για τη συνέχεια μια συζήτηση για τη φύση των φαινομένων της κινηματικής, δηλαδή για το γεγονός ότι, όπως τα περισσότερα πράγματα στον κόσμο, εξελίσσονται χρονικά και συνεπώς η σχέση στην οποία θα καταλήξουν θα πρέπει να απεικονίζει αυτήν την εξάρτηση από το χρόνο. Η εξάρτηση αυτή είναι που θα μας επιτρέψει να προβλέψουμε τη θέση της προβολής σε μελλοντικές χρονικές στιγμές. Η δυνατότητα που μας δίνουν τα μοντέλα για προβλέψεις είναι καθοριστική σε πρώτη φάση για την αξιολόγηση του μοντέλου και τελικά για την κατανόηση του φαινομένου.

Η αντικατάσταση της γωνίας ϕ με το γινόμενο ωt που προκύπτει από τον ορισμό της γωνιακής ταχύτητας οδηγεί στην επιθυμητή χρονική συνάρτηση $\psi = R\eta\mu\omega t$. Σε αυτό το σημείο οι μαθητές έχουν επιτύχει να συμπληρώσουν το πρώτο κουτί του διαγράμματος 1. Το νέο μοντέλο θα είναι συμπληρωμένο όταν εξαχθούν και οι σχέσεις της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Πριν όμως προχωρήσουμε παρακάτω θα πρέπει να ορισθεί η σημασία των όρων της νέας αυτής εξίσωσης μέσα από το εννοιολογικό πλαίσιο του νέου μοντέλου. Για

παράδειγμα, το νέο μοντέλο αφορά σε μια ευθύγραμμη κίνηση ενώ ο παράγοντας R αφορά σε κυκλικές κινήσεις. Θα πρέπει λοιπόν να αποδοθεί σε αυτόν το νόημα που έχει στο πλαίσιο της παλινδρομικής κίνησης που θέλουμε να περιγράψουμε. Η διαδικασία αυτή, δηλαδή η απόδοση νοήματος στους όρους του φορμαλισμού, εντάσσεται στο πλαίσιο της ερμηνείας των μαθηματικών συμβόλων στην αναπαράσταση χαρακτηριστικών του πραγματικού κόσμου και ακολουθώντας τον Giere (1990, σελ. 75) τη διακρίνουμε σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι «η σύνδεση των μαθηματικών συμβόλων με γενικούς όρους ή έννοιες, όπως “θέση” και το δεύτερο είναι «η σύνδεση του μαθηματικού συμβόλου με κάποιο χαρακτηριστικό ενός συγκεκριμένου αντικειμένου, όπως “η θέση της Σελήνης”» (Giere, 1988, σελ. 75, η έμφαση στο πρωτότυπο). Ο Giere ονομάζει το πρώτο στάδιο *ερμηνεία* (interpretation) και το δεύτερο *ταυτοποίηση* (identification). Σε αυτή τη φάση η εξίσωση, αφού αφορά σε μια γενικευμένη περιγραφή, χρειάζεται ερμηνεία. Η ερμηνεία θα δώσει στην εξίσωση το αναγκαίο, για τη φυσική, σημασιολογικό περιεχόμενο. Το σημασιολογικό περιεχόμενο είναι αυτό που συνδέει το φορμαλισμό με τις ιδιότητες του φαινομένου και βοηθάει ταυτόχρονα τους μαθητές να κατασκευάσουν το αντίστοιχο νοητικό μοντέλο για τη κατάσταση πραγμάτων που περιγράφει ο φορμαλισμός. Συνδέει, επίσης, τις ιδιότητες των μαθηματικών εννοιών, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση του ημιτόνου, με τις ιδιότητες που εκδηλώνει το φυσικό μέγεθος που εκφράζει το τόξο του ημιτόνου, δηλαδή στη σύνδεση δύο νοητικών μοντέλων.

Η ερμηνεία της εξίσωσης $\psi = R\eta\mu(\omega t)$:

- ψ : είναι η θέση της προβολής στο άξονα $\psi\psi'$ ως προς την αρχή των αξόνων
- R : η θέση της προβολής γίνεται αριθμητικά ίση με την ακτίνα στα άκρα της κίνησης και συνεπώς αντιστοιχεί στη μέγιστη απόσταση της προβολής από την αρχή των αξόνων και η οποία είναι σταθερή. Το σύμβολο R πρέπει να αντικατασταθεί με το σύμβολο που εκφράζει αυτήν ακριβώς την ιδιότητα, δηλαδή $\psi_{μεγ}$ και ονομάζεται πλάτος της ταλάντωσης
- ω : το σύμβολο ω στις κυκλικές κινήσεις συνδέεται με την έννοια της ταχύτητας και ονομάζεται γωνιακή ταχύτητα. Επειδή το νέο μοντέλο αφορά σε ευθύγραμμη κίνηση το σύμβολο ερμηνεύεται ως κυκλική συχνότητα και είναι μονόμετρο μέγεθος αλλά διατηρεί τις σχέσεις που το συνδέουν με τα άλλα χαρακτηριστικά των περιοδικών κινήσεων, δηλαδή τη συχνότητα και την περίοδο εφόσον αυτές αφορούν γενικότερα στις περιοδικές κινήσεις.
- ωt : το γινόμενο αυτό ισοδυναμεί με τη γωνία που έχει διαγράψει το σφαιρίδιο από τη χρονική στιγμή που ξεκίνησε μέχρι μια χρονική στιγμή t αλλά στη νέα κίνηση

ονομάζεται φάση και αντιστοιχεί στην απόσταση που έχει διανύσει η προβολή εκφρασμένη σε γωνία.

Με την εξαγωγή των σχέσεων της ταχύτητας και της επιτάχυνσης με το χρόνο με εφαρμογή των ορισμών των μεγεθών αυτών και από αυτές τις αντίστοιχες με τη θέση, οι μαθητές θα έχουν ολοκληρώσει την κατασκευή ενός νέου θεωρητικού μοντέλου της κινηματικής, δηλαδή τον ερμηνευμένο φορμαλισμό που περιγράφει την άγνωστη κατάσταση, που ονομάζουμε απλή αρμονική ταλάντωση. Το νέο αυτό μοντέλο μπορεί να ενταχθεί σε ένα από τα μοντέλα της ομάδας M3_i του διαγράμματος 1.

Βήμα 4: Το επόμενο ερώτημα που τίθεται είναι «Υπό ποιες συνθήκες ένα σώμα θα εκτελούσε το είδος της κίνησης που περιγράφει το πιο πάνω κινηματικό μοντέλο;» Την απάντηση στην ερώτηση αυτή θα μας τη δώσει η εφαρμογή της θεωρίας στην οποία υπόκεινται η συμπεριφορά των υλικών σωμάτων, δηλαδή, οι νόμοι του Νεύτωνα και στη συγκεκριμένη περίπτωση, για ευνόητους λόγους, η εφαρμογή του δεύτερου νόμου. Ενώ όμως η προβολή που μελετούσαμε είναι ένα μαθηματικό σημείο, δηλαδή δεν έχει φυσικά χαρακτηριστικά, ένα σώμα έχει πολλά, όπως μέγεθος, μάζα, χρώμα, σχήμα... Επειδή στο νευτώνειο κόσμο ανήκουν μόνο ιδεατά σώματα που στερούνται όλων των πιο πάνω εξωτερικών φυσικών χαρακτηριστικών, εκτός από την ιδιότητα της μάζας και χαρακτηρίζονται απλώς ως υλικά σημεία, η ερώτηση στο πλαίσιο της μηχανικής επαναδιατυπώνεται αντιγεγονικά ως εξής «Υπό ποιες συνθήκες ένα υλικό σημείο θα εκτελούσε το είδος κίνησης που περιγράφει το πιο πάνω κινηματικό μοντέλο;».

Με την αντικατάσταση της σχέσης της επιτάχυνσης με τη θέση στο δεύτερο νόμο του Νεύτωνα καταλήγουμε στην εξίσωση: $\Sigma F = -m\omega^2 x$ ή ισοδύναμα $\Sigma F = -Dx$, αντικαθιστώντας το γινόμενο $m\omega^2$ με μια σταθερά D αφού η τιμή του γινομένου είναι συγκεκριμένη για κάθε σύστημα. Κάθε σύστημα στο οποίο ικανοποιείται η πιο πάνω σχέση ονομάζεται απλός αρμονικός ταλαντωτής. Με την εφαρμογή του δεύτερου νόμου ολοκληρώθηκε η κατασκευή του θεωρητικού μοντέλου του απλού αρμονικού ταλαντωτή.

Μέσα από έναν αναστοχασμό αυτής της διαδικασίας οι μαθητές μπορεί να κληθούν να απαντήσουν σε ερωτήσεις όπως: Από που προέκυψε το νέο μοντέλο; Χρησιμοποιήθηκαν νέα δεδομένα; Χρειάστηκε να επαναπροσδιορίσουμε τη σημασία κάποιων εννοιών ή να ορίσουμε καινούργιες; Τι πετύχαμε με τη συμπλήρωση του μοντέλου με το δεύτερο νόμο του Νεύτωνα; Ποια η σημασία της υπόθεσης ότι το σώμα είναι ένα υλικό σημείο; Θα πρέπει να διαπιστώσουν ότι είναι δυνατόν να παραχθεί νέα γνώση από την υπάρχουσα, να κατασκευαστούν δηλαδή νέα μοντέλα από αυτά που ήδη γνωρίζουμε και όχι μόνο από νέα

δεδομένα και ότι πολλές φορές νέα γνώση παράγεται και από μια αλλαγή οπτικής, δηλαδή, όταν τα υπάρχοντα δεδομένα ιδωθούν από μια διαφορετική σκοπιά. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι δυνατόν η σημασία κάποιων γνωστών εννοιών να διατηρείται ή να επαναπροσδιορίζεται εντός του νέου εννοιολογικού πλαισίου ενώ είναι πιθανόν να ορισθούν και καινούργιες. Αυτό που πετύχαμε με την ολοκλήρωση του μοντέλου είναι να βρούμε τις συνθήκες υπό τις οποίες ένα υλικό σημείο θα εκδηλώνει τη συμπεριφορά που περιγράφουν οι σχέσεις της κινηματικής που εξήγαγαν, με άλλα λόγια να εξηγήσουμε το ζητούμενο: τη συγκεκριμένη κινηματική συμπεριφορά. Τέλος, η υπόθεση ότι το σώμα είναι υλικό σημείο, που υπαγορεύεται από τη θεωρία, κάνει τον νευτώνειο κόσμο λιγότερο σύνθετο και πολύπλοκο από τον πραγματικό αφού απελευθερώνει τα συστήματα από κάποια χαρακτηριστικά που δεν έχουν σχέση με τις συμπεριφορές που εκδηλώνουν ή από άλλα η παρουσία των οποίων αποκρύπτει τις θεμελιώδεις κανονικότητες στις οποίες αυτά υπακούουν. Επίσης, η ίδια υπόθεση, ότι δηλαδή τα σώματα είναι υλικά σημεία καθιστά το μοντέλο εφαρμόσιμο σε ένα μεγαλύτερο εύρος καταστάσεων.

Στο τέλος αυτής της φάσης οι μαθητές θα έχουν κατασκευάσει, στο χαρτί αλλά και στο νου τους, ένα θεωρητικό μοντέλο. Είναι σημαντικό να κατανοήσουν ότι το μοντέλο αυτό δεν περιγράφει και εξηγεί μία συγκεκριμένη κατάσταση αλλά μια ολόκληρη κατηγορία γνωστών ή ίσως και άγνωστων μέχρι τη στιγμή φαινομένων του πραγματικού κόσμου.

Βήμα 5: Με βάση τις προηγούμενες παρατηρήσεις και για να έχει αυτό το μοντέλο του απλού αρμονικού ταλαντωτή που κατασκεύασαν οι μαθητές αξία στη μελέτη και εξήγηση του κόσμου θα πρέπει να ελεγχθεί η δυνατότητα εφαρμογής του τουλάχιστον σε κάποια γνωστά μέχρι στιγμής συστήματα, με άλλα λόγια να εντοπιστούν κάποια από τα συστήματα που ανήκουν στο πεδίο εφαρμογής του. Τέτοια υποψήφια συστήματα από τον κόσμο, τουλάχιστον τον κόσμο ενός εργαστηρίου της φυσικής, είναι το απλό εκκρεμές και μια μάζα στερεωμένη στο άκρο οριζόντιου ή κατακόρυφου ελατηρίου. Εδώ θα αναφερθούμε μόνο στην περίπτωση του απλού εκκρεμούς.

Σε αυτή τη φάση η διαδικασία μοντελοποίησης μετατοπίζεται από τη θεωρητικό μοντέλο στα υποψήφια συστήματα. Θα πρέπει να ελέγξουμε αν και υπό ποιες συνθήκες κάποιες συγκεκριμένες κατηγορίες συστημάτων υπακούουν στη συνθήκη για να είναι αρμονικοί ταλαντωτές, δηλαδή στη σχέση $\Sigma F = -Dx$. Ένα υποψήφιο σύστημα είναι ένα εκκρεμές του εργαστηρίου του οποίου το σφαιρίδιο, όταν εκτραπεί από τη θέση ισορροπίας, εκτελεί ταλάντωση αλλά δεν είμαστε βέβαιοι αν αυτή είναι απλή αρμονική. Για να το ελέγξουμε

αυτό θα πρέπει να κατασκευάσουμε ένα θεωρητικό μοντέλο για το εκκρεμές και να υπολογίσουμε σε αυτό τη συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται στο σφαιρίδιο.

Το πρώτο βήμα στην κατασκευή ενός μοντέλου είναι η περιγραφή του συστήματος. Σύμφωνα με τη θεωρία μοντελοποίησης που προτείνει η Cartwright (1983, σ. 15) και που εφαρμόζει ο Portides (2007b) στο απλό εκκρεμές, θα συγκεντρώσουμε όλες τις πληροφορίες που έχουμε για το σύστημα σε μια περιγραφή του. Ακολούθως θα το περιγράψουμε με τον τρόπο που υπαγορεύει η θεωρία ώστε οι νόμοι της θεωρίας να μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό (η φάση της εισαγωγής της θεωρίας (theory entry). Η μηχανική του Νεύτωνα, την οποία θα εφαρμόσουμε στο σύστημα, αφορά όχι στα φυσικά σώματα, όπως τα γνωρίζουμε αλλά σε υλικά σημεία και σε αβαρή νήματα που βρίσκονται σε ένα περιβάλλον χωρίς τριβές. Έτσι, προχωράμε στην περιγραφή του εκκρεμούς με τις εξιδανικεύσεις και τις αφαιρέσεις που υπαγορεύει η θεωρία, δηλαδή χαρακτηρίζουμε το σφαιρίδιο του εκκρεμούς ως υλικό σημείο, το νήμα με το οποίο είναι συνδεδεμένο ως αβαρές και θεωρούμε ότι δεν υπάρχουν τριβές μεταξύ νήματος και σημείου στήριξης. Οι μαθητές μπορούν να ερωτηθούν πώς θα άλλαζε η κίνηση του σφαιριδίου αν το νήμα ήταν ένα αβαρές λάστιχο. Το σφαιρίδιο θα εκτελούσε ταλάντωση κατά μήκος του τόξου που διαγράφει και κατά μήκος του νήματος. Αυτό θα σήμαινε ότι θα εκτελούσε ταυτόχρονα δύο ταλαντώσεις και όχι τη μία που εμείς επιθυμούμε. Το ίδιο θα ίσχυε και αν το σημείο στήριξης του νήματος δεν ήταν εντελώς ακίνητο. Τα συμπεράσματα αυτά οδηγούν σε δύο ακόμη παραδοχές αναφορικά με τα χαρακτηριστικά του μοντέλου, συγκεκριμένα ότι το νήμα δεν είναι εκτατό και ότι το στήριγμα είναι ακλόνητο. Η περιγραφή του συστήματος σε αυτή την ολοκληρωμένη της μορφή εντάσσει το σύστημα στον ιδεατό και εξιδανικευμένο κόσμο του Νεύτωνα. Η περιγραφή του συστήματος είναι τέτοια ώστε να μας επιτρέπει να εφαρμόσουμε τους νόμους της μηχανικής στο σύστημα, δηλαδή να βρούμε τις δυνάμεις που ασκούνται στο σφαιρίδιο και να υπολογίσουμε τη συνισταμένη τους, αυτός άλλωστε είναι ο σκοπός της κατασκευής του μοντέλου, η εφαρμογή των νόμων στο υπό μελέτη σύστημα.

Αναφορικά με τις δυνάμεις, ζητείται από τους μαθητές αρχικά να αναφέρουν όλες τις δυνάμεις που ασκούνται στο πραγματικό σφαιρίδιο. Οι μαθητές αναφέρουν το βάρος και την τάση του νήματος ίσως και την αντίσταση του αέρα αλλά πιθανόν όχι την άνωση. Η τελευταία μπορεί να είναι η συνεισφορά του διδάσκοντα στη συζήτηση. Στη συνέχεια ο διδάσκων ζητάει από τους μαθητές να σκεφτούν αν θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι όλες αυτές οι δυνάμεις ασκούνται και στο σφαιρίδιο του μοντέλου μας. Η απάντηση είναι ασφαλώς αρνητική αφού η απουσία διαστάσεων στο υλικό σημείο καθιστά την άνωση και την αντίσταση του αέρα μηδενικές. Αυτή είναι μια χαρακτηριστική περίπτωση στην οποία

οι διαδικασίες της αφαίρεσης και της εξιδανίκευσης είναι αλληλένδετες. Με την ολοκλήρωση της θεωρητικής περιγραφής οι μαθητές έχουν περιγράψει ένα εξιδανικευμένο σύστημα, αυτό που ονομάζουμε απλό εκκρεμές, που θα αποτελέσει τη βάση για το μοντέλο, όχι μόνο του συγκεκριμένου εκκρεμούς του εργαστηρίου αλλά όλων των εκκρεμών που υπάρχουν στον κόσμο αλλά και που θα μπορούσαν να κατασκευαστούν. Είναι σε αυτό που θα πρέπει να ελέγξουν αν ισχύει η σχέση $\Sigma F = -Dx$.

Πριν προχωρήσουν όμως στη μαθηματική απόδειξη οι μαθητές θα πρέπει να συνδέσουν τα μαθηματικά σύμβολα της σχέσης με χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου συστήματος, να γίνει δηλαδή η διαδικασία που ο Giere ονομάζει ταυτοποίηση. Ο όρος ΣF , όπως προκύπτει από την προηγούμενη συζήτηση, είναι η συνισταμένη του βάρους του σφαιριδίου και της τάσης του νήματος που ασκείται σε αυτό και η θέση σε αυτή εκφράζεται συναρτήσει του ημιτόνου της γωνίας εκτροπής. Οι μαθηματικοί μετασχηματισμοί που χρειάζονται για το την αντικατάσταση του ημιτόνου με τη θέση εισαγάγουν έναν ακόμη περιορισμό στον οποίο πρέπει να υπακούει το σύστημα για να εκτελεί απλή αρμονική ταλάντωση, συγκεκριμένα η γωνία εκτροπής του σφαιριδίου να είναι πολύ μικρή. Αυτό συνιστά αφενός νέα γνώση για το σύστημα και αφετέρου είναι ενδεικτικό του ότι πολλές φορές οι προϋποθέσεις για την εφαρμογή ενός θεωρητικού μοντέλου σε ένα σύστημα δεν είναι όλες εξ' αρχής γνωστές αλλά προκύπτουν στη διαδικασία εφαρμογής του και εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Η συνθήκη στην οποία καταλήγει η μαθηματική επεξεργασία του μοντέλου είναι ότι αν το ιδανικό σύστημα που ονομάσαμε απλό εκκρεμές εκτελεί ταλαντώσεις πολύ μικρού πλάτους τότε είναι αρμονικός ταλαντωτής οπότε και η σταθερά της ταλάντωσης εκφράζεται από τη σχέση: $D = \frac{mg}{l}$. Αυτά τα συμπεράσματα αποτελούν τη γνώση που έχουμε αποκτήσει για το σύστημα μέσω της θεωρητικής του περιγραφής και της επεξεργασίας της.

Βήμα 6: Όπως κάθε περιοδική κίνηση, έτσι και η κίνηση του εκκρεμούς, έχει κάποια περίοδο T . Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η περίοδος αυτή μπορούν να μελετηθούν πειραματικά με μια διαδικασία διερεύνησης μεταβλητών. Σε αυτή οι μαθητές καταγράφουν κάποιους παράγοντες που πιθανόν να επηρεάζουν την περίοδο ενός εκκρεμούς. Αυτοί είναι: το πλάτος της ταλάντωσης, η μάζα του σφαιριδίου, το μήκος του εκκρεμούς και η επιτάχυνση της βαρύτητας. Μέσα από το πείραμα οι μαθητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η περίοδος είναι ανεξάρτητη του πλάτους της ταλάντωσης και της μάζας του σφαιριδίου και ότι είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του μήκους του εκκρεμούς. Αυτά τα πειραματικά συμπεράσματα συνιστούν τους νόμους του εκκρεμούς που αντιστοιχούν με

αυτούς που διατύπωσε και ο Γαλιλαίος ως τον νόμο της ανεξαρτησίας του πλάτους, το νόμο της ανεξαρτησίας της μάζας και το νόμο του μήκους αντίστοιχα ενώ πρόσθεσε και έναν τέταρτο, το νόμο του ισόχρονου της ταλάντωσης, ότι δηλαδή για ένα δεδομένο μήκος το εκκρεμές έχει συγκεκριμένη περίοδο (Matthews, 2004).⁴⁰ Ερωτήματα που μπορούν να τεθούν σε αυτό το πλαίσιο στους μαθητές αφορούν την έννοια του νόμου στην επιστήμη και πώς τόσο οι ίδιοι όσο και ο Γαλιλαίος κατέληξαν σε αυτούς.

Οι νόμοι στην επιστήμη εκφράζουν αμετάβλητες σχέσεις μεταξύ μεγεθών και στη συγκεκριμένη περίπτωση προέκυψαν όχι από απλή παρατήρηση αλλά από την ελεγχόμενη διαδικασία του πειράματος που συνιστά την “εμπειρία” του επιστήμονα. Όμως, το βασικότερο ερώτημα που πρέπει να τεθεί στους μαθητές είναι αν μπορούν να εξηγήσουν γιατί η περίοδος είναι ανεξάρτητη της μάζας και του πλάτους, γιατί είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του μήκους και ποια είναι τελικά η σχέση της περιόδου με την επιτάχυνση της βαρύτητας που τόσο στο εργαστήριο της φυσικής όσο και στο εργαστήριο του Γαλιλαίου δεν ήταν δυνατόν να καθοριστεί. Είναι προφανές ότι σε αυτό το πλαίσιο δεν μπορούν να δοθούν απαντήσεις. Οι νόμοι περιγράφουν αλλά δεν εξηγούν τις σχέσεις που εκφράζουν. Τη μορφή των νόμων την εξηγούν τα μοντέλα διότι σε αυτά περιγράφονται οι μηχανισμοί που από τους οποίους προκύπτουν οι παρατηρήσιμες συμπεριφορές των συστημάτων τις οποίες και περιγράφουν οι νόμοι. Αντίθετα από το Γαλιλαίο, ο οποίος δεν μπόρεσε τελικά να εξηγήσει τους νόμους του εκκρεμούς, εμείς σήμερα έχουμε θεωρία και μοντέλο για το εκκρεμές. Το μοντέλο, επειδή περιλαμβάνει το μηχανισμό που είναι υπεύθυνος για τις παρατηρήσιμες συμπεριφορές του συστήματος, εμπεριέχει και την εξήγησή τους. Το επόμενο ζητούμενο είναι λοιπόν η θεωρητική απόδειξη της σχέσης της περιόδου που πραγματοποιείται στο επόμενο βήμα.

Βήμα 7: Από το δεύτερο νόμο της μηχανικής εκφρασμένο για τις αρμονικές ταλαντώσεις και τη σχέση της συνισταμένης των δυνάμεων που εξαγάγαμε από το μοντέλο καταλήγουμε στη σχέση: $T = 2\pi\sqrt{L/g}$. Αυτή η σχέση που προέκυψε από τη θεωρητική μελέτη του μοντέλου περιλαμβάνει αλλά και εξηγεί τα προηγούμενα πειραματικά συμπεράσματα και επιπλέον περιέχει και τη σχέση της περιόδου με την επιτάχυνση που, για τεχνικούς λόγους, ούτε εμείς αλλά ούτε ο Γαλιλαίος μπορέσαμε να βρούμε πειραματικά. Όπως στην

⁴⁰ Ο νόμος του Γαλιλαίου για το μήκος μιλούσε μόνο για την εξάρτηση της περιόδου από το μήκος και δεν περιέγραφε την ακριβή σχέση. Την εξάρτηση της περιόδου από την τετραγωνική ρίζα του μήκους απέδειξε αργότερα μαθηματικά ο Christian Huygens (Matthews, Clough and Ogilvie).

περίπτωση του εκκρεμούς, έτσι και για όλα τα φυσικά συστήματα, τα μοντέλα εξηγούν τις παρατηρήσιμες συμπεριφορές διότι περιλαμβάνουν τους μηχανισμούς ή υποθέσεις για τη φύση των μηχανισμών, που τις προκαλούν. Επίσης, οδηγούν και σε θεωρητικές προβλέψεις, όπως στην περίπτωση αυτή για την επιτάχυνση της βαρύτητας, για τις σχέσεις μεταξύ μεγεθών οι οποίες μπορούν, σε μεταγενέστερο στάδιο, να ελεγχθούν και πειραματικά. Σε πολλές περιπτώσεις ο πειραματικός έλεγχος κάποιων προβλέψεων μπορεί να απαιτεί τεχνολογικά μέσα που δεν είναι διαθέσιμα την εποχή της πρόβλεψης και να χρειαστεί να περάσουν πολλά χρόνια για να πραγματοποιηθεί. Τα πιο πρόσφατα παραδείγματα είναι αυτά του εντοπισμού του μποζονίου Higgs και των κυμάτων βαρύτητας που έγιναν σαράντα και εκατό χρόνια μετά τη θεωρητική τους πρόβλεψη αντίστοιχα. Ο πειραματικός έλεγχος αποτελεί όχι μόνο έλεγχο της πρόβλεψης αλλά και έλεγχο του μοντέλου και της ίδιας της θεωρίας από την οποία αυτό προέρχεται και η απόδειξη της ορθότητας της πρόβλεψης ενισχύει και την πίστη των επιστημόνων στις υποθέσεις του μοντέλου.

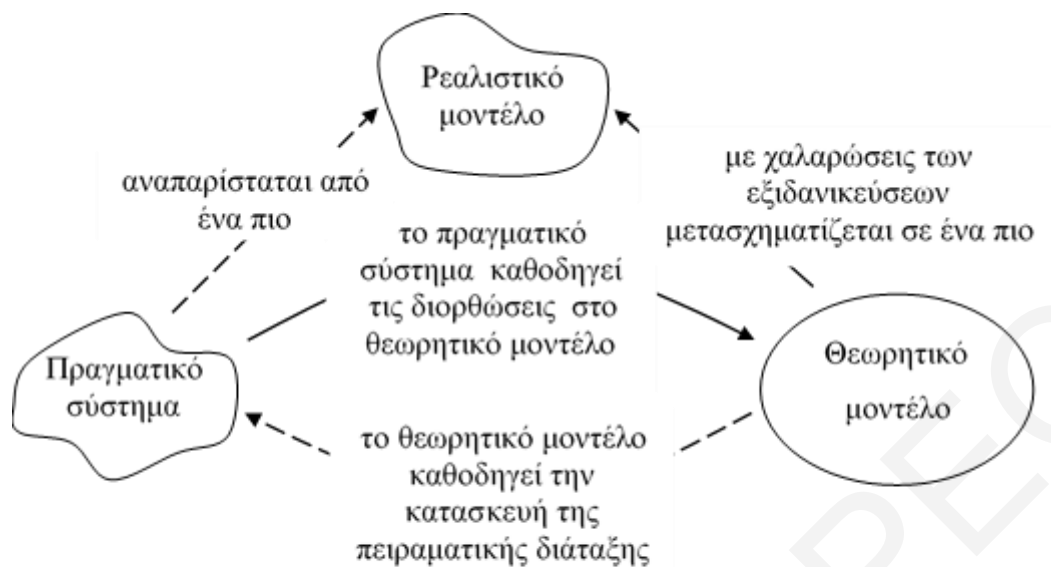
Βήμα 8: Στη μέχρι τώρα πορεία της διδασκαλίας οι μαθητές έχουν κατασκευάσει ένα μοντέλο και μελέτησαν συστήματα που ανήκουν στο πεδίο εφαρμογής του. Με την κατασκευή του μοντέλου απέκτησαν θεωρητική γνώση αλλά και γνώση για τα συστήματα στα οποία αυτή η γνώση εφαρμόζεται. Σε πολλές περιπτώσεις τα μοντέλα είναι τα μέσα για περαιτέρω διερευνήσεις του κόσμου. Το απλό εκκρεμές για παράδειγμα, λόγω της εξάρτησης της περιόδου του από το g μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως όργανο για τη μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας.⁴¹ Μάλιστα, οι αλλαγές στο μήκος συγκεκριμένου εκκρεμούς που ήταν απαραίτητες για να είναι η περίοδος του εκκρεμούς ίδια σε δύο διαφορετικούς τόπους ήταν η πρώτη ένδειξη ότι η Γη δεν είναι σφαιρική.⁴²

Για τη μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας θα χρειαστεί να μετασχηματίσουμε τη σχέση της περιόδου του εκκρεμούς στην $T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{g} \right) L$. Μεταβάλλοντας την ανεξάρτητη μεταβλητή L και μετρώντας την αντίστοιχη περίοδο μπορούμε να χαράξουμε τη γραφική παράσταση $T^2 = f(L)$ και από την κλίση της να υπολογίσουμε την επιτάχυνση της

⁴¹ Όπως και το σύστημα μάζας-ελατηρίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της σταθεράς K ενός ελατηρίου.

⁴² Την παρατήρηση έκανε τυχαία ο Jean Richer όταν βρισκόταν στην Cayenne της Γαλλικής Γουιάνας την περίοδο 1672-73. Ο Richer μελετούσε την αξιοπιστία των εκκρεμών που χρησιμοποιούνταν ως ρολόγια στη ναυσιπλοΐα και παρατήρησε ότι ένα εκκρεμές που είχε στο Παρίσι περίοδο 2 s θα έπρεπε, για να διατηρήσει την περίοδο αυτή στην Cayenne, να μειωθεί το μήκος του κατά 2,8 mm (Matthews, Clough, & Ogilvie).

βαρύτητας, g . Με το τέλος της διαδικασίας οι μαθητές αναφέρουν τις τιμές που υπολόγισαν, οι οποίες είναι συνήθως μεταξύ $9-10 \text{ m/s}^2$, να τις συγκρίνουν με την τιμή του g στη Λευκωσία που με άλλες μεθόδους έχει μετρηθεί να είναι $9,80 \text{ m/s}^2$ και να εξηγήσουν τις αποκλίσεις. Στη συντριπτική τους πλειοψηφία οι μαθητές αποδίδουν τις αποκλίσεις σε πειραματικά σφάλματα, εννοώντας αυτά που προκύπτουν κατά την πειραματική διαδικασία ή μερικές φορές και αυτά που οφείλονται στην ακρίβεια των οργάνων. Ο εκπαιδευτικός συμφωνεί ότι ένα μέρος των αποκλίσεων πραγματικά εξηγείται από αυτούς τους παράγοντες αλλά ζητάει από τους μαθητές να σκεφτούν αν υπάρχουν και άλλοι. Για να τους βοηθήσει μπορεί να ρωτήσει σε πιο σύστημα ισχύει η σχέση της περιόδου που χρησιμοποιήθηκε και σε πιο εφαρμόστηκε. Υπενθυμίζοντας τα χαρακτηριστικά που αποδόθηκαν στο απλό εκκρεμές κατά την κατασκευή του μοντέλου τονίζεται ότι η σχέση ισχύει στο απλό εκκρεμές το οποίο είναι ένα εξιδανικευμένο σύστημα που δε συναντούμε στον κόσμο και που εφαρμόστηκε στο πραγματικό εκκρεμές του εργαστηρίου μας. Στη συνέχεια συζητούνται τρόποι με τους οποίους είναι δυνατόν να σμικρύνουν οι διαφορές μεταξύ των δύο. Ο ένας είναι να κατασκευάσουμε ένα εκκρεμές που να προσεγγίζει αυτό του μοντέλου και ο άλλος είναι να προσαρμόσουμε το μοντέλο στο πραγματικό σύστημα. Στην πρώτη περίπτωση φροντίζουμε, για παράδειγμα, να έχουμε ένα όσο το δυνατόν πιο σταθερό στήριγμα και χρησιμοποιούμε ένα μακρύ νήμα με ένα μικρό σφαιρίδιο στερεωμένο στην άκρη του ώστε οι διαστάσεις της μάζας να είναι αμελητέες σε σύγκριση με το μήκος του νήματος, οπότε και πλησιάζουμε τις συνθήκες του υλικού σημείου και χρησιμοποιούμε νήμα από υλικό που ικανοποιεί, όσο είναι δυνατόν, τις ιδιότητες αβαρές και μη εκτατό. Στη δεύτερη διορθώνουμε το μοντέλο προσθέτοντας σε αυτό εκείνα τα στοιχεία που αφαιρέσαμε κατά την κατασκευή του, κάνουμε δηλαδή απεξιδανικεύσεις. Το μοντέλο που θα προκύψει είναι ένα άλλο πιο ρεαλιστικό μοντέλο που φέρνει το μοντέλο πιο κοντά στο πραγματικό σύστημα. Το Διάγραμμα 2 προσπαθεί να απεικονίσει την αλληλεπίδραση μεταξύ του θεωρητικού μοντέλου και του κόσμου στην κατασκευή ενός πιο ρεαλιστικού μοντέλου για το πραγματικό σύστημα.



Διάγραμμα 2: Οι δύο διαδικασίες με τις οποίες κατασκευάζουμε ένα πραγματικό σύστημα και ένα ρεαλιστικό μοντέλο του συστήματος αυτού.

Τα βήματα 6 και 8 αφορούν στην πειραματική διερεύνηση εννοιών και μεγεθών. Αυτό που γίνεται φανερό μέσα από την μέχρι τώρα πορεία είναι ότι η μελέτη μιας έννοιας ή ενός μεγέθους δεν μπορεί να γίνει αυτόνομα. Κάθε φυσικό μέγεθος συνδέεται με άλλα μέσα σε ένα ευρύτερο εννοιολογικό πλαίσιο και οι ιδιότητές του αλλά και οι σχέσεις του με άλλα μεγέθη εκδηλώνονται μέσα από συγκεκριμένες καταστάσεις. Η συγκεκριμένη κατάσταση σε κάθε περίπτωση περιγράφεται από ένα μοντέλο το οποίο προσφέρει το πλαίσιο για τη διερεύνηση (Hestenes, 1992). Το μοντέλο περιέχει την πληροφορία για τις σχέσεις αυτές και καθορίζει τις μετρήσιμες ποσότητες και είναι αυτή η πληροφορία που καθοδηγεί στην κατασκευή της κατάλληλης πειραματικής διάταξης. Με αυτή την έννοια είναι που τα μοντέλα μεσολαβούν μεταξύ της θεωρίας και του πειράματος και κατ' επέκταση του κόσμου, αφού οι ελεγχόμενες συνθήκες του πειράματος συνιστούν την εμπειρική φύση της επιστήμης.

Βήμα 9: Στη μέχρι τώρα διαδικασία γίνεται φανερό ότι το γενικό μοντέλο του απλού αρμονικού ταλαντωτή, δηλαδή, ενός υλικού σημείου που ταλαντώνεται υπό την επίδραση μιας συνισταμένης δύναμης ανάλογης της μετατόπισης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περιγραφή και εξήγηση της συμπεριφοράς πολλών συστημάτων. Οι εφαρμογές του απλού αρμονικού ταλαντωτή όμως δεν περιορίζονται μόνο στη μηχανική αλλά επεκτείνονται και σε άλλες πιο πολύπλοκες καταστάσεις για τις οποίες δεν έχουμε άμεση αισθητηριακή

αντίληψη. Ως απλοί αρμονικοί ταλαντωτές θεωρούνται τα άτομα σε ένα κρυσταλλικό πλέγμα στην εξήγηση της ειδικής θερμοχωρητικότητας των στερεών, τα δεσμευμένα

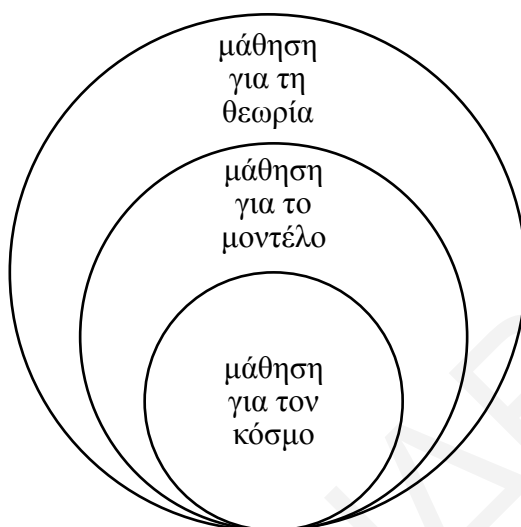
ηλεκτρόνια στο άτομο για την εξήγηση της διάδοσης του φωτός σε ένα μέσο, τα ηλεκτρόνια σε μια κεραία εκπομπής για την εξήγηση της παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτό το εύρος εφαρμογών είναι ενδεικτικό του γεγονότος ότι, στην επιστήμη, γνωστά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουμε πολλές, μη οικείες, καταστάσεις. Τέτοιες αναφορές έχουν στόχο να βοηθήσουν τους μαθητές να κατανοήσουν ότι ένα μαθηματικό μοντέλο αποτελεί, όχι την περιγραφή ενός συγκεκριμένου συστήματος αλλά ένα μοτίβο συμπεριφοράς που εκδηλώνεται στον κόσμο σε διάφορες περιπτώσεις στις οποίες τα συστήματα ή μέρος αυτών ικανοποιούν τις προϋποθέσεις του μοντέλου. Αυτό το χαρακτηριστικό των μοντέλων είναι συνέπεια του τρόπου κατασκευής τους και συγκεκριμένα της χρήσης αφαιρέσεων και εξιδανικεύσεων. Αυτές, επειδή απογυμνώνουν την περιγραφή από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων συστημάτων, καθιστούν τα μοντέλα γενικούς κανόνες που εξειδικεύονται, κατά την εφαρμογή τους και προσαρμόζονται στα πραγματικά συστήματα. Αυτό υπογραμμίζει και τη σημασία της αφαίρεσης στην επιστημονική μεθοδολογία και στην κατασκευή των μοντέλων ειδικότερα, η οποία και τα καθιστά ικανά να τυγχάνουν διάφορων, πολλαπλής φύσης εφαρμογών, συνεισφέροντας στην οικονομία στις θεωρητικές περιγραφές του κόσμου.

Από γνωστική σκοπιά, η πιο πάνω διδακτική πορεία ξεκινά με μια διαδικασία στην οποία οι μαθητές επεξεργάζονται νοητικά κάποια υπάρχουσα γνώση και καλούνται να περιγράψουν κάποιες συνέπειές της δημιουργώντας μια νοερή εικόνα της κατάστασης αυτής. Μέσα από την προσπάθεια περιγραφής της κατανοούν ότι μια επιστημονική περιγραφή της κατάστασης απαιτεί την ακρίβεια που μόνο ένας μαθηματικός φορμαλισμός μπορεί να προσφέρει. Με την ολοκλήρωση της παραγωγής του μαθηματικού φορμαλισμού αναμένεται ότι οι μαθητές θα έχουν κατασκευάσει ένα νοητικό μοντέλο για τον αρμονικό ταλαντωτή. Η ύπαρξη ενός τέτοιου μοντέλου είναι απαραίτητη ώστε οι μαθητές να μπορούν να αναγνωρίσουν μια νέα κατάσταση ως μία στην οποία το μοντέλο θα ήταν δυνατόν να εφαρμοστεί αλλά και θέτει τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή του. Στα υπόλοιπα βήματα διαμορφώνεται το επιστημολογικό πλαίσιο στο οποίο πρέπει να ερμηνεύονται οι ισχυρισμοί αυτού αλλά και των μοντέλων των συγκεκριμένων συστημάτων.

8.2.2 Μερικές επισημάνσεις για την πρόταση

8.2.2.1 Επιστημολογικές

Ο απώτερος στόχος της επιστήμης είναι η μάθηση για τον κόσμο. Η μάθηση αυτή όμως δεν επιτυγχάνεται μόνο με την άμεση αλληλεπίδραση του επιστήμονα με τον κόσμο αλλά όταν



Διάγραμμα 3: Τα τρία επίπεδα μάθησης στην επιστήμη

αυτή συνοδεύεται με περιγραφές που διαμορφώνουν ένα πλαίσιο έρευνας και που αυτές είναι προϊόντα των μοντέλων. Τα μοντέλα κατασκευάζονται με τη βοήθεια των εννοιών και των νόμων που παρέχουν οι σχετικές θεωρίες. Έτσι, η επιστημονική μάθηση έχει τρία επίπεδα, τη μάθηση για τη θεωρία, τη μάθηση για τα μοντέλα και τελικά τη μάθηση για τον κόσμο. Κατασκευάζοντας μοντέλα αξιοποιώ τα εργαλεία που μου παρέχει η θεωρία, ή οι θεωρίες, για την περιγραφή νέων καταστάσεων επεκτείνοντας έτσι τις δυνατότητες εφαρμογής της. Ταυτόχρονα, η κατασκευή ενός μοντέλου οδηγεί σε μάθηση για τα χαρακτηριστικά του μοντέλου καθώς και για τις συνθήκες που απαιτούνται για την εφαρμογή του. Τέλος, με την εφαρμογή και τη χρήση του μοντέλου μαθαίνω για τα συστήματα στα οποία αυτό εφαρμόζεται, μαθαίνω δηλαδή τελικά για τον κόσμο (Διάγραμμα 3).

Και τα τρία αυτά επίπεδα μάθησης σχετίζονται άμεσα με την κατασκευή και διαχείριση μοντέλων. Η πορεία διδασκαλίας που προτείνεται εδώ διακρίνει τα τρία αυτά επίπεδα μάθησης αλλά και τονίζει τον καθοριστικό ρόλο των μοντέλων στην απόκτηση και περιγραφή της νέας γνώσης σε κάθε επίπεδο. Δίνει όμως και την ευκαιρία για αναφορά και συζήτηση για το γεγονός ότι όλη η γνώση που έχουμε για τον κόσμο προκύπτει με την εξέταση του κόσμου μέσα από το πρίσμα της θεωρητικής γνώσης, ότι δηλαδή σημαντικό μέρος των παρατηρήσεών μας για τον κόσμο είναι εμποτισμένο από τη θεωρία. Αυτό είναι φανερό και από το διάγραμμα 3 στο οποίο φαίνεται ότι η θεωρητική γνώση είναι

υπερκείμενη αυτής των μοντέλων και του κόσμου και συνεπώς η τελευταία απορρέει από την πρώτη και ότι τα μοντέλα είναι αυτά που μεσολαβούν μεταξύ των δύο.

8.2.2.2 Μεθοδολογικές

Στην παρούσα διδακτική πρόταση υπάρχουν τρεις διαδικασίες μοντελοποίησης που αντιστοιχούν στα τρία επίπεδα μάθησης που αναφέρθηκαν πιο πάνω. Στην πρώτη φάση κατασκευάζεται ένα θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει μια τάξη φυσικών συστημάτων, στη δεύτερη κατασκευάζεται το μοντέλο ενός συστήματος που περιγράφει μια κατηγορία συστημάτων που ικανοποιεί τις προϋποθέσεις του θεωρητικού μοντέλου και στην τελευταία κατασκευάζεται το αναπαραστατικό μοντέλο ενός συγκεκριμένου συστήματος.

Ως διδακτική πρακτική η μοντελοκεντρική προσέγγιση που περιγράφεται στην προηγούμενη ενότητα ταιριάζει στο γενικότερο πλαίσιο της θεωρίας μοντελοποίησης για τη διδασκαλία της φυσικής των Hestenes και Wells (Hestenes 1987, 1992, Wells et al, 1995). Η μεθοδολογία μοντελοποίησης που προτείνουν οι πιο πάνω ερευνητές περιλαμβάνει έναν κύκλο μάθησης με τρία στάδια και ένα κύκλο μοντελοποίησης με δύο στάδια. Τα τρία στάδια μάθησης είναι: το στάδιο της **εξερεύνησης** (exploration) στο οποίο οι μαθητές διερευνούν ένα άγνωστο για αυτούς φαινόμενο ή σύστημα, το στάδιο της **επινόησης** ή **εισαγωγής των εννοιών** (invention or concept introduction) που αφορά στον καθορισμό των νέων εννοιών και των συμβολικών εργαλείων που τις αναπαριστούν και τέλος το στάδιο της **ανακάλυψης** ή **εφαρμογής των εννοιών** (discovery or concept application) στο οποίο το μοντέλο γενικεύεται και εφαρμόζεται σε νέες καταστάσεις (η έμφαση στο πρωτότυπο). Οι ερευνητές προτιμούν τον όρο “ανακάλυψη” αντί του όρου “εφαρμογή” διότι σε πολλές περιπτώσεις η διαδικασία απαιτεί γνήσιες “ανακαλύψεις” από πλευράς των μαθητών σε σχέση με το γνωσιακό τους επίπεδο. Τα στάδια μοντελοποίησης είναι: το στάδιο I, η **ανάπτυξη του μοντέλου** (model development) και το στάδιο II, η **αξιοποίηση του μοντέλου** (model deployment). Όπως και στην περίπτωση του σταδίου της ανακάλυψης στη μάθηση, έτσι και στην περίπτωση της μοντελοποίησης οι ερευνητές αποφεύγουν τον όρο “εφαρμογή” και προτιμούν τον όρο “αξιοποίηση” για να τονίσουν «τις πτυχές στρατηγικής και τακτικής οι οποίες δεν είναι τόσο σαφείς στη μοντελοποίηση όσο υποδηλώνεται από τον όρο “εφαρμογή”» (Wells et al, 1995). Επειδή κάθε στάδιο μοντελοποίησης συνεπάγεται μάθηση, η ανάπτυξη του μοντέλου περιλαμβάνει τα στάδια εξερεύνησης και επινόησης ενώ η αξιοποίηση του μοντέλου αντιστοιχεί στο στάδιο της ανακάλυψης.

Οι τρεις διαδικασίες μοντελοποίησης που περιέχονται στην παρούσα πρόταση περιλαμβάνουν, η κάθε μία χωριστά, στο στάδιο της ανάπτυξης του μοντέλου, τα δύο πρώτα

στάδια του κύκλου μάθησης δηλαδή την εξερεύνηση και την επινόηση. Για την κατασκευή του πρώτου μοντέλου η εξερεύνηση γίνεται στο πλαίσιο της θεωρίας ενώ στις δύο επόμενες σε συγκεκριμένα συστήματα. Στις δύο πρώτες περιπτώσεις το στάδιο της επινόησης αντιστοιχεί στις διαδικασίες της ερμηνείας και της ταυτοποίησης αντίστοιχα ενώ στην τελευταία στη διαδικασία περιγραφής του μοντέλου που στοχεύει στην πιο ρεαλιστική περιγραφή του συγκεκριμένου συστήματος. Το στάδιο της αξιοποίησης του μοντέλου σε κάθε περίπτωση συμπίπτει με την ανάπτυξη του μοντέλου στο επόμενο επίπεδο μάθησης, δηλαδή η αξιοποίηση του θεωρητικού μοντέλου συνιστά την εφαρμογή του σε συγκεκριμένες κατηγορίες συστημάτων και η αξιοποίηση του μοντέλου μιας συγκεκριμένης κατηγορίας σημαίνει την προσαρμογή του σε μια συγκεκριμένη κατάσταση ώστε να αναπαριστά με μεγαλύτερη ακρίβεια το πραγματικό σύστημα. Είναι λοιπόν η αξιοποίηση του μοντέλου σε κάθε επίπεδο μάθησης συνυφασμένη με την ανάπτυξη ενός μοντέλου στο επόμενο επίπεδο, με κάθε ένα να μας φέρνει πιο κοντά στον πραγματικό κόσμο.

Στη μεθοδολογία των Hestenes και Wells το στάδιο I της μοντελοποίησης, η ανάπτυξη του μοντέλου αναλύεται σε τέσσερις φάσεις: της περιγραφής (description), της διαμόρφωσης (formulation), του ελέγχου των συνεπειών (ramification) και του ελέγχου εγκυρότητας (validation) (η έμφαση στο πρωτότυπο). Αυτές οι φάσεις αποτελούν μέρος της όλης πορείας που προτείνεται εδώ και συμπίπτουν με τα βήματα 5, 6 και 7 για την περίπτωση του απλού εκκρεμούς. Στο βήμα 5 έχουμε την περιγραφή και διαμόρφωση του μοντέλου, όπου το μοντέλο περιγράφεται και ορίζονται οι μετρήσιμες παράμετροι του μοντέλου (περιγραφή) και διαμορφώνεται μια σχέση μεταξύ συγκεκριμένων παραμέτρων (διαμόρφωση). Από τη μελέτη των εξισώσεων και την ανάλυση του συστήματος προκύπτει ότι το σύστημα εκδηλώνει συμπεριφορές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, που στην περίπτωση του απλού εκκρεμούς είναι η σταθερή περίοδος (έλεγχος συνεπειών). Στο βήμα 6, μέσω μιας πειραματικής διαδικασίας, εξάγεται πειραματικά η σχέση μεταξύ των μεταβλητών, συγκεκριμένα η σχέση της περιόδου για το απλό εκκρεμές και στο βήμα 7 η σχέση αυτή ελέγχεται και θεωρητικά (έλεγχος εγκυρότητας). Η πορεία αυτή συμπίπτει και με την ιστορική εξέλιξη της γνώσης για το απλό εκκρεμές αφού, όπως προαναφέρθηκε οι νόμοι του εκκρεμούς πρώτα καταγράφηκαν πειραματικά και κατόπιν εξάχθηκαν θεωρητικά, όταν διαμορφώθηκε το κατάλληλο εννοιολογικό πλαίσιο που επέτρεπε την εξήγησή τους.

Η μερική αυτή συμφωνία των δύο μεθόδων οφείλεται σε δύο λόγους. Πρώτον, στο γεγονός ότι η παρούσα πρόταση είναι διευρυμένη. Αντίθετα από τη μεθοδολογία των πιο πάνω ερευνητών στην οποία η διαδικασία ξεκινά με τη μελέτη ενός πραγματικού συστήματος, η παρούσα πορεία ξεκινά από τη θεωρητική και γενικευμένη εξαγωγή ενός μοντέλου. Αυτό

δε σημαίνει ότι η επιστημονική έρευνα ξεκινά πάντοτε από τη θεωρία. Σε πολλές περιπτώσεις αρχίζει με τη μελέτη ενός νέου και άγνωστου μέχρι τότε φαινομένου του πραγματικού κόσμου και η γνώση αρχίζει να οικοδομείται από αυτό. Η παρούσα πρόταση μπορεί να ενταχθεί σε μια ευρύτερη μοντελοκεντρική διδασκαλία που πιθανόν να ακολουθεί τη μεθοδολογία που προτείνεται από τους Hestenes και Wells. Αυτό που υπογραμμίζει όμως είναι ότι υπάρχουν περιπτώσεις που η επιστημονική μελέτη είναι δυνατόν να ξεκινά από τη θεωρητική ανάλυση.

Δεύτερον, ενώ οι Hestenes και Wells προτείνουν τη μοντελοκεντρική οργάνωση του μαθήματος της φυσικής με σκοπό την καλύτερη οργάνωση και κατανόηση του περιεχομένου της φυσικής από τους μαθητές μέσω μιας μεθοδολογίας που «διδάσκει αρχές και τεχνικές μοντελοποίησης, που εξοικειώνει τους μαθητές με ένα σύνολο από μοντέλα και τους προσφέρει ευκαιρίες εξάσκησης στην κατασκευή και στον έλεγχο εγκυρότητας των μοντέλων με πειράματα και στην αξιοποίηση των μοντέλων για την εξήγηση, περιγραφή και πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων» (Hestenes, 1992, σελ. 732). Στην παρούσα πρόταση η πτυχή της μοντελοποίησης αξιοποιείται και για άλλους λόγους, πέρα από αυτούς της κατανόησης του περιεχομένου. Πρώτον, βοηθάει στην οργάνωση της γνώσης με έναν τρόπο που είναι σύμφωνος με τις τρέχουσες αντιλήψεις της γνωστικής ψυχολογίας για τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι οργανώνουν και επεξεργάζονται την όποια γνώση, δηλαδή, με την κατασκευή νοητικών μοντέλων. Δεύτερον, υπογραμμίζει το γεγονός ότι η μοντελοποίηση στην επιστήμη δεν γίνεται διαισθητικά ή αποκλειστικά από ερμηνεία της άμεσης εμπειρίας αλλά ακολουθεί συγκεκριμένη μεθοδολογία και σύνθετες τεχνικές που είναι αυτές που την καθιστούν επιστημονική. Τρίτον, βοηθάει τους μαθητές να κατανοήσουν το ρόλο των μοντέλων στην επιστήμη ως μέσα παραγωγής και οργάνωσης της γνώσης και ως δυναμικά εργαλεία έρευνας, με στόχο να αντιμετωπίσει την απλοϊκή αντίληψη των μαθητών σύμφωνα με την οποία τα μοντέλα είναι απλά βοηθήματα για την κατανόηση μιας ήδη υπάρχουσας στατικής γνώσης. Τέλος, καταδεικνύει πώς, μέσω της μοντελοποίησης, μπορούν να αναδειχθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της επιστημονικής πρακτικής και της φύσης της επιστημονικής γνώσης τα οποία και εξηγούν την ανάγκη για την εφαρμογή της μεθοδολογίας και των τεχνικών μοντελοποίησης. Με άλλα λόγια, βοηθάει και στην κατανόηση αυτού που στη βιβλιογραφία της διδακτικής χαρακτηρίζεται ως φύση της επιστήμης.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Abd-El-Khalick, F. (2012). «Nature of science in science education: Toward a coherent framework for synergistic research and development». In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (Vol. 2, pp. 1041–1060). The Netherlands: Springer.
- Achinstein, P. (1965). Theoretical Models. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 16 (62), 102-120.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A ‘semantic’ view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Utilising the ‘3P-model’ to characterise the discipline of didactics of science. *Science & Education*, 14(1), 29-41.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- Alters, B. J. (1997). «Whose nature of science? » *Journal of Research on Science Teaching*, 34(1), 39–55.
- Baddeley, A.D. (2002). Is working memory still working? *European Psychol.* 7, 85–97.
- Bailer-Jones, D. (2002). Scientists’ Thoughts on Scientific Models. *Perspectives on Science* 10(3), 275-301.
- Bailer-Jones, D. (2009). *Scientific models in the Philosophy of Science*. Pittsburg: University of Pittsburg Press.
- Bailer-Jones, D. (1999). Tracing the Development of Models in the Philosophy of Science. In *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, edited by L. Magnani, N.J. Nersessian, and P. Thagard, New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptions of perceptual symbols. *Behavioral and brain sciences*, 22(04), 637-660.
- Bauer, M. I., & Johnson-Laird, P. N. (1993). How diagrams can improve reasoning. *Psychological Science*, 4(6), 372-378.
- Besnard, D., Greahead, D., & Baxter, G. (2004). When mental models go wrong: co-occurrences in dynamic, critical systems. *Int. J. Human-Computer Studies*, 60, 117-128.

Bogen, J., & Woodward, J. (1988). Saving the Phenomena. *The Philosophical Review*, 97(3), 303-352. doi:10.2307/2185445

Boltzmann, L. (1911[1902]). Model. *Encyclopaedia Britannica*. London: "The Times" Printing House 10th Edition, volume XXX, 1902, 788-791. Fully reprinted in: Cambridge University Press. 11th Edition, 1911, Bd. 18, 638-640. Ανακτήθηκε στις 7/12/13 από http://www.muellerscience.com/MODELL/Definitionen/Encyclopaedia_Britannica.htm

Boltzmann, L. (1899[1974]). On the fundamental principles and equations of mechanics. In B. Mc. Guinness (ed.), *Ludwig Boltzmann: Theoretical physics and philosophical problems*, 101-128. Boston: Reidel.

Borges, A.T., & Gilbert, J. K. (1999). Mental models of electricity. *International Journal of Science Education*, 21(1), 95-117.

Borges, A. T., Tecnico, C., & Gilbert, J. K. (1998). Models of magnetism. *International Journal of Science Education*, 20(3), 361-378.

Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert and C. J. Boulter (Eds.) *Developing Models in Science Education* (pp. 41-57). New York: Springer Science+Business Media.

Boumans, M. (1999). Built-in justification. In M. Morgan and M. Morrison (eds) *Models as Mediators, perspectives on natural and social science* (pp. 66-96). Cambridge: Cambridge University Press.

Bower H.G. & Morrow G.D. (1990). Mental Models in Narrative Comprehension, *Science*, V. 247, 44-48.

Braithwaite, R.B. (1954). The Nature of Theoretical Concepts and the Role of Models in an Advanced Science. *Revue Internationale de Philosophie*, Vol. 8, 114-131.

Brewer, W. F. (1999). Scientific theories and naive theories as forms of mental representation: Psychologism revived. *Science & Education*, 8(5), 489-505.

Bryant, D. J., Tversky, B., & Franklin, N. (1992). Internal and external spatial frameworks for representing described scenes. *Journal of Memory and language*, 31(1), 74-98.

Bunge, M. (1974). *Theory and Reality*. Sao Paulo, Brazil: Editora Perspectiva.

Bunge, M. (1973). *Method, Model and Matter*. Boston, MA: D. Reidel.

Callender, G. & Cohen, J. (2006). There Is No Special Problem About Scientific Representation. *Theoria* 55, 67-85. Ανακτήθηκε στις 11/11/2015 από <http://aardvark.ucsd.edu/science/representation.pdf>

Campbell, N., (1957). *Foundations of science* (New York, Dover). Originally published as Campbell, N. (1920). *Physics: The elements*. Cambridge: Cambridge University Press.

Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational psychologist*, 28(3), 235-251.

Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., & Unger, C. (1989). An experiment is when you try it and see if it works: a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(5), 514-529.

Carnap, R. (1966). *Philosophical Foundations of Physics*. New York: Basic Books Inc.

Carnap, R. (1938). Foundations of Logic and Mathematics. In O. Neurath, C. Morris and R. Carnap (eds.) *International Encyclopaedia of Unified Science*. Vol. 7, pp. 139-213. Chicago.

Carruthers, P., Stich, S., & Siegal, M. (2002). What makes science possible. In P. Carruthers, S. Stich, & M. Siegal (Eds), *The cognitive basis of science* (pp. 1-22). Cambridge University Press, UK.

Cartwright, N. (1999). Quantum Hamiltonians and the BSC model of superconductivity. In M. Morgan and M. Morrison (Eds) *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences*, (pp. 241-281). Cambridge: Cambridge University Press.

Cartwright, N. (1989). *Nature's Capacities and their Measurement*. Oxford: Oxford University Press.

Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Oxford University Press.

Cartwright, N., Shomar, T., & Suárez, M. (1995). The tool box of science. In W. Herfel, W. Krajewski, I. Niiniluoto, & R. Wojcicki (Eds.), *Theories and models in scientific processes* (pp. 137-149). Amsterdam: Rodopi.

Chandrasekharan, S., & Nersessian, N. J. (2015). Building cognition: the construction of computational representations for scientific discovery. *Cognitive science*, 39(8), 1727-1763.

Chi, M. T., Slotta, J. D., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, 4(1), 27-43.

Chi, M. T., Feltovich, J. P., & Glaser, R. (1981). Representation Physics Problems by Experts

and Novices, *Cognitive Science* 5, 121-152.

Chiou, G. L. (2013). Reappraising the relationships between physics students' mental models and predictions: An example of heat convection. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 9(1), 010119.

Chiou, G. L., & Anderson, O. R. (2010). A study of undergraduate physics students' understanding of heat conduction based on mental model theory and an ontology-process analysis. *Science Education*, 94(5), 825-854.

Chittleborough, G. D., & Treagust, D. F. (2009). Why models are advantageous to learning science. *Quimica educacion*, 20(1), 12-17.

Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., & Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. *Research in Science & Technological Education*, 23(2), 195-212.

Clement, J. J. (2009). The role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science*, 1(4), 686-710.

Clement, J. (2008). Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation. B.V.: Springer Science & Business Media.

Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.

Clough, M. P. (2007). Teaching the Nature of Science to Secondary and Post-Secondary Students: Questions Rather Than Tenets, *The Pantaneto Forum*, Issue 25, <http://www.pantaneto.co.uk/issue25/front25.htm>, January. Republished (2008) in *the California Journal of Science Education*, 8(2), 31-40.

Constantinou, C.P. (1999). The Cocoa microworld as an environment for modelling physical phenomena. *International Journal of Continuing Education and Life-Long Learning* 8(2), 65-83.

Contessa, G. (2010). Scientific models and fictional objects. *Synthese* 172, 215-229.

Contessa, G. (2007). "Scientific representation, interpretation and surrogative reasoning", *Philosophy of Science*, 74 (1), 48-68.

- Cooley, W., & Klopfer, L. (1963). The evaluation of specific educational innovations. *Journal of Research in Science Teaching*, 1(1), 73-80.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W. G. Chase (ed.) *Visual Information Processing*. NY: Academic Press.
- Cosmides, L., Tooby, J., Fiddick, L., & Bryant, G. A. (2005). Detecting cheaters. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 505-506.
- Craik, K., (1943). *The nature of explanation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1379-1401.
- Crawford, B., & Cullin, M. (2005). Dynamic assessments of preservice teachers' knowledge of models and modelling. In *Research and the quality of science education* (pp. 309-323). Springer: Netherlands.
- Da Costa N. C. A. & French, S. (2003). *Science and Partial Truth: A Unitary Approach to Models and Scientific Reasoning*, Oxford: Oxford University Press.
- Dagher, Z. R., & Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. *Science & Education*, 25(1-2), 147-164.
- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Develaki, M. (2007). The Model Based View for Scientific Theories and the Structure of School Scientific Programmes, *Science and Education*, 16, 725-749.
- Duhem, P. (1991[1914]). *The Aim and Structure of Physical Theory*. Princeton, NJ: Princeton.
- Dunbar, K. (1999). How scientists build models in vivo science as a window on the scientific mind. In Magnani, Nersessian, Thagard (Eds) *Model-based reasoning in scientific discovery*, (pp. 85-99). US: Springer.
- Eflin, J.T., Glennan, S. & Reisch, G. (1999). The nature of science: A perspective from the philosophy of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (1), 107-116. Available from: http://digitalcommons.butler.edu/facsch_papers/295.

- Elgin, C. (2009). Exemplification, Idealization and Scientific Understanding. In M. Suarez (Ed.), *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modelling and Idealization*, (pp. 77-90). N.Y.: Routledge.
- Else, M. and Honeywill, C. (1998). *Matter and Waves*. UK: Nelson.
- Evans, J. S. B., Handley, S. J., & Harper, C. N. (2001). Necessity, possibility and belief: A study of syllogistic reasoning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 54 (3), 935-958.
- Ferguson, S. E. (1994). *Engineering and the Mind's Eye*. The MIT Press.
- Feynman, R. P. (1985). Ralph Leighton (ed.). "Surely, You're Joking, Mr. Feynman!": *Adventures of a Curious Character*. W. W. Norton & Co.
- Fortus, D., Rosenfeld, S., & Shwartz, Y. (2010). High school students' modeling knowledge. Paper presented in *annual conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Philadelphia, PA*.
- Fourier, J. (1878). *The Analytical Theory of Heat*. Trans. A. Freeman. Cambridge: Cambridge University Press.
- Franco, C., & Colinvaux, D. (2000). Grasping mental models. In *Developing models in science education*, J. K. Gilbert and C. J. Boulter (Eds) (pp. 93-118). Springer Netherlands.
- Franco, C., Lins de Barros, H., Colinvaux, D., Krapas S., Queiroz, G. and 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.
- Franklin, N., & Tversky, B. (1990). Searching imagined environments. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119(1), 63.
- Frède, V., Nobes, G., Frappart, S., Panagiotaki, G., Troadec, B., & Martin, A. (2011). The acquisition of scientific knowledge: the influence of methods of questioning and analysis on the interpretation of children's conceptions of the earth. *Infant and child development*, 20(6), 432-448.
- French, S. (2008). The Structure of Theories. In M. Curd & S. Psillos (eds.) *The Routledge Companion to Philosophy of Science* (pp. 269-280). Abington and New York: Routledge.
- French, S. (2010). Keeping quiet on the ontology of models, *Synthese* 172, 231-249.

- French, S., & Ladyman, J. (1999). Reinflating the semantic approach. *International Studies in the Philosophy of Science*, 13(2), 103-121.
- Frigg, R. (2010a). Models and fiction. *Synthese* 172, σ. 251-268.
- Frigg, R. (2010b). Fiction and Scientific Representation. In R. Frigg and M. Hunter (Eds.): *Beyond Mimesis and Nominalism: Representation in Art and Science*. Berlin and New York: Springer, 97-138.
- Frigg, R. (2006). Scientific Representation and the Semantic View of Theories., *Theoria*, 55, 49-65.
- Frigg, R. (2003). *Re-presenting Scientific Representation*. Doctoral Thesis, London School of Economics.
- Frigg, R. and Hartmann, S. (2012). Models in Science, *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*, E. N. Zalta (ed.). Ανακτήθηκε στις 25/10/2015 από URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/models-science/>
- Galili, I., (2009). Thought Experiment: establishing conceptual meaning. *Science & Education*, 18 (1) 1-23.
- Gentner, D. & Gentner R. D. (1983). Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity. In D. Gentner and L. A. Stevens (Eds), *Mental Models* (pp. 99-130). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Gentner, D. & Stevens, L. A. (1983). *Mental Models*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Giere, R. N. (2010). An Agent-Based Conception of Models and Scientific Representation. *Synthese* 172(2), 269-281.
- Giere, R. N. (2009). Why Scientific Models Should Not Be Regarded As Works Of Fiction. In *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modelling and Idealization*, M. Suarez (ed.), 248-258.
- Giere, R. N. (2008). "Models, Metaphysics and Methodology". In Stephan Hartmann, Carl Hoefer and Luc Bovens (eds) *Nancy Cartwright's Philosophy of Science*, 123-133, Routledge, New York.
- Giere, R. N. (2004). How Models are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science* 71, 742-752.

- Giere, R. N. (2002). 15 Scientific cognition as distributed cognition. In *The cognitive basis of science*, Carruthers, Stich and Siegal (eds), 285-299, Cambridge University Press, UK.
- Giere, R. N. (2001). Theories. In W.H. Newton-Smith (ed) *A Companion to the Philosophy of Science* (pp. 515-524). Malben, Massachusetts: Blackwell Publishers Ltd.
- Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Giere, R. N. (1994). The cognitive structure of scientific theories. *Philosophy of Science*, 61(2), 276-296.
- Giere, R. N. (1992). Cognitive Models of Science. In R. N. Giere (ed) *Cognitive Models of Science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Giere, R. (1990). *Explaining Science: A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education* 2, 115-130.
- Gilbert, J. K., & Boulter, C. (Eds.) (2012). *Developing models in science education*. New York: Springer Science & Business Media.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A. & Franco, C. (2000). Science and education: notion of reality, theory and model, in: J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds) *Developing models in science education* (pp. 19-40). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K. and Boulter, C. J. (1998). "Learning science through models and modeling. In B. Fraser and St. K. Tobin (Eds), *International handbook of science education* (pp. 53–66). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Gobert, J. D., & Discenna J. (1997). The Relationship between Students' Epistemologies and Model-Based Reasoning. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association (Chicago, IL, March 28, 1997)*. Washington, D.C.: National Academy of Education.
- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horwitz, P., Buckley, B. C., Levy, S. T., & Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' understanding of the nature of models and

conceptual learning in biology, physics, and chemistry. *International Journal of Science Education*, 33(5), 653-684.

Gobert, J. D., & Pallant, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. *Journal of Science education and Technology*, 13(1), 7-22.

Godfrey-Smith, P. (2009). Models and Fictions in Science. *Philosophical Studies* 143, 101-116.

Godfrey-Smith, P. (2006). The strategy of model-based science. *Biol. Philos.* 21, σ. 725-740.

Goodman, N. (1976). *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*. 2nd edition, Indianapolis: Hackett Publishing Company.

Grandy, E.R. (2003). What Are Models and Why Do We Need Them. *Science & Education* 12, 773-777.

Grandy, R. E., & Duschl, R. A. (2008). Consensus: Expanding the scientific method and school science. In R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 304–325). Rotterdam, The Netherlands: Sense.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2002). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86(1), 106-121.

Greca, I. and Moreira, M. (2000). Mental models, conceptual models and modelling. *Int. J. Sci. Educ.* 22 (1), 1-11.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations - models, propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education* 19(6), 711-724.

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.

Guerra-Ramos, M. (2012). Teachers' ideas about the Nature of Science: A critical analysis of research approaches and their contribution to pedagogical practice. *Science & Education*, 21, 631–655.

- Hadamard, J. (1945). *The mathematician's mind: The psychology of invention in the mathematical field*. Princeton N.J.: Princeton University Press.
- Halloun A.I. (2007). Mediated Modeling in Science Education. *Science & Education* 16(6-7), 653-697.
- Halloun, A.I. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. *American Journal of Physics*, 55(5), 455-462.
- Hanson, N. R. (1965). *Πρότυπα ανακάλυψης*. Μτφρ. Γ. Παρασκευόπουλος, Δ. Παπαγιαννάκος, Β. Κιντή. Ηράκλειο, Κρήτη: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης (2007).
- Harré, R. (1961). Metaphor, Model, and Mechanism. *Proceedings of the Aristotelian Society*, 60, 101-122.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Hartmann, S. (1999). Models and stories in hadron physics. In M. Morgan and M. Morrison (Eds) *Models as mediators: Perspectives on natural and social science*, (pp. 326-346). New York: Cambridge University Press
- Hayes, P.: The frame problem and related problems in artificial intelligence. In Webber, B., Nilsson, N., eds.: *Readings in Artificial Intelligence*. Morgan Kaufman, Los Altos, CA (1981), 223-230. Ανακτήθηκε στις 14/5/2016 από <http://aitopics.org/sites/default/files/classic/Webber-Nilsson-Readings/Rdgs-NW-Hayes-FrameProblem.pdf>.
- Hegarty, M. (2004). Mechanical reasoning by mental simulation. *Trends in Cognitive Science*, 8 (6), 280-285.
- Hegarty, M. (1992) Mental animation: inferring motion from static diagrams of mechanical systems. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.* 18, 1084–1102.
- Hegarty, M., & Kozhevnikov, M. (1999). Types of visual–spatial representations and mathematical problem solving. *Journal of educational psychology*, 91(4), 684-689.

- Hegarty, M. and Sims, V.K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Mem. Cogn.* 22, 411–430.
- Hegarty, M. and Steinhoff, K. (1997). Use of diagrams as external memory in a mechanical reasoning task. *Learning Individual Differences* 9, 19–42.
- Hesse, M. (1966). *Models and analogies in science*. South Bend, IN: Notre Dame University Press.
- Hesse, M. (1953). Models in Physics. *The British Journal for the philosophy of Science*, 4 (15), pp. 198-214.
- Hestenes, D. (2006). Notes for a modeling theory. In Proceedings of the 2006 GIREP conference: Modeling in physics and physics education (Vol. 31, p. 27).
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics*, 60(8), 732-748.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5), 440-454.
- Hofer, B. K. & Pintrich, P. R. (1997). The Development of Epistemological Theories: Beliefs About Knowledge and Knowing and Their Relationship to Learning. *Review of Educational Research*, 67 (1), 88–140.
- Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modeling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, 10(4), 319-345.
- Holton, G. (1971). On trying to understand scientific genius. *The American Scholar*, 95-110.
- Hrepic, Z., Zollman, D. A., & Rebello, N. S. (2010). Identifying students' mental models of sound propagation: The role of conceptual blending in understanding conceptual change. *Physical review special topics-physics education research*, 6(2), 020114.
- Hubber, P. (2006). Year 12 students' mental models of the nature of light. *Research in Science Education*, 36(4), 419-439.
- Hughes, R.I.G. (1997). "Models and Representation", *Philosophy of Science*, 64, S325-S336.
- Hutten, H. E. (1954). The Role of Models in Physics. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 4 (16), 284-301.

- Irzik, G., & Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In *International handbook of research in history, philosophy, and science teaching* (pp. 999-1021). Netherlands: Springer.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7-8), 591-607.
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Johnson-Laird, P. N. (2008). Mental Models and Deductive Reasoning. In L. Rips and J. Adler (Eds.) *Reasoning: Studies in Human Inference and Its Foundations*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Johnson-Laird, P.N. (2006). *How We Reason*. Oxford: Oxford University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2005). Mental Models and Thought. In K. J. Holyoak and R. G. Morrison (Eds) *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 185-208). Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2004). The history of mental models. *Psychology of reasoning: Theoretical and historical perspectives*, 179-212.
- Johnson-Laird, P. N. (1996). Images, models and propositional representations. In M. de Vega, M. Intons-Peterson, P. N. Johnson-Laird, M. Denis, M. Marschark *Models of Visuospatial Cognition*. Oxford N.Y.: Oxford University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1989). Mental models. In M. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (pp. 469-500). Cambridge, MA: MIT Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). Mental Models. Towards a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird P.N., Byrne R.M.J. &, Schaeken W.S. (1992). Propositional reasoning by model. *Psychol. Rev.* 99, 418–439.
- Johnson-Laird, P. N., Girotto, V., & Legrenzi, P. (2004). Reasoning from Inconsistency to Consistency. *Psychological Review*, 111(3), 640-661.
- Johnson-Laird, P. N., & Khemlani, S. S. (2014). Toward a unified theory of reasoning. *Psychology of Learning and Motivation*, 59(1), 1-42.

- Johnson-Laird, P. N. and Savary F. (1999). Illusory inferences: a novel class of erroneous deductions, *Cognition* 71, 191-229.
- Jonassen, D., Strobel, J., & Gottdenker, J. (2005). Model building for conceptual change. *Interactive Learning Environments*, 13(1-2), 15-37.
- Jones, R.M. (2005). Idealization and abstraction: A framework. In: Martin R. Jones and Nancy Cartwright (eds.), *Idealization XII: Correcting the Model. Idealization and Abstraction in the Sciences*, Poznań Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities, vol. 86 (pp. 173-217). Amsterdam/New York, NY: Rodopi.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of science education*, 25(11), 1369-1386.
- 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.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2000). History and philosophy of science through models: some challenges in the case of the atom. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (1999). History and philosophy of science through models: The case of chemical kinetics. *Science & Education*, 8(3), 287-307.
- Kampourakis, K. (2016). The “general aspects” conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667-682.
- Karnaou, P., Nicolaou, Th. Chr., & Constantinou, P. C. (2015). Expert scientists' ideas on modeling in science and education. Paper presented at the *Workshop on Scientific Modeling: Describing the Abstract and Representing the Real*, held in Nicosia Cyprus in 28-30 May 2015.
- Kempton, W. (1986). Two Theories of Home Heat Control. *Cognitive Science*, 10(1), 75-90.
- Khemlani, S. S., Barbey, A. K., & Johnson-Laird, P. N. (2014). Causal reasoning with mental models. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.

Khemlani S. S. & Johnson-Laird P.N. (2011). The need to explain, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, DOI:10.1080/17470218.2011.592593

Klein, U. (1999). Techniques of modelling and paper-tools in chemistry. In M. Morgan and M. Morrison (Eds) *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Sciences* (pp. 146-169). Cambridge UK: Cambridge University Press.

Knauff M, Fangmeier T, Ruff CC, & Johnson-Laird PN (2003). Reasoning, models, and images: Behavioural measures and cortical activity. *J Cogn Neurosci* 15, 559–573.

Knauff, M., & Johnson-Laird, P. N. (2002). Visual imagery can impede reasoning. *Memory & cognition*, 30(3), 363-371.

Knauff, M., Mulack, T., Kassubek, J., Salih, H. R., & Greenlee, M. W. (2002). Spatial imagery in deductive reasoning: a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 13(2), 203-212.)

Koponen, I. T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16(7), 751-773.

Kosslyn, M. S. (2005). Mental Images and the Brain. *Cognitive Neuropsychology*, 22 (3/4), 333-347.

Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., & Ganis, G. (2006). *The Case for Mental Imagery*. Oxford: Oxford University Press.

Kozhevnikov, M., et al Hegarty, M., & Mayer, R. E. (2002). Revising the visualizer-verbalizer dimension: Evidence for two types of visualizers. *Cognition and Instruction*, 20(1), 47-77.

Krell, M., Reinisch, B., & Krüger, D. (2015). Analyzing students' understanding of models and modeling referring to the disciplines biology, chemistry, and physics. *Research in Science Education*, 45(3), 367-393.

Krell, M., zu Belzen, A. U., & Krüger, D. (2014). Students' levels of understanding models and modelling in biology: Global or aspect-dependent? *Research in Science Education*, 44(1), 109-132.

Krell, M., zu Belzen, A. U., & Krüger, D. (2012). Students' understanding of the purpose of models in different biological contexts. *International Journal of Biology Education*, 2(2).

- Kuhn, T.S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions (first edition)*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Laymon, R. (1991), Thought Experiments by Stevin, Mach and Gouy: Thought Experiments as Ideal Limits and Semantic Domains. In T. Horowitz and G. J. Massey (Eds) *Thought experiments in science and philosophy* (pp. 167–91). Rowman & Littlefield Publishers.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of research in science teaching*, 39(6), 497-521.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy: Supporting development in learning in contexts. In W. Damon, R.M. Lerner, K.A. Renniger & I.E. Sigel (Eds.) *Handbook of child psychology* (6th ed. Vol. 4). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Losee, J. (1980). *Φιλοσοφία της Επιστήμης. Μια ιστορική εισαγωγή*. Μτφρ. Θ.Μ. Χρηστίδης. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Βάνιας 1992.
- Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64(4), 471-492.
- Mackay, L.D. (1971). Development of understanding about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 8(1), 57-66.
- Mani, K., & Johnson-Laird, P. N. (1982). The mental representation of spatial descriptions. *Memory & Cognition*, 10(2), 181-187.
- Manz, E., (2012). Understanding the co-development of modeling practice and ecological knowledge. *Science Education* 96, 1071-1105.
- Markman, B. A. (1999). *Knowledge Representation*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. WH San Francisco: Freeman and Company.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In *Advances in nature of science research* (pp. 3-26). Springer Netherlands.

- Matthews, M. R. (2007). "Models in science and in science education: an introduction". *Science & Education*, 16(7-8), 647-652.
- Matthews, M. R. (2004). Idealisation and Galileo's pendulum discoveries: historical, philosophical, and pedagogical considerations. *Science & Education*, 13(7-8), 689-715.
- Matthews, M. R. (1994). Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science. In M. R. Matthews (Ed.) *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science* (pp. 19- 35). London, UK: Routledge.
- Matthews, M. R., Gauld, C. F., & Stinner, A. (Eds.). (2005). *The pendulum: Scientific, historical, philosophical and educational perspectives*. Springer Science & Business Media.
- Matthews, P. M., Clough, P.M & Ogilvie, G. *The Role of Theory: Pendulum Motion, Time Measurement, and the Shape of the Earth*. Ανακτήθηκε στις 17/5/2017 από www.storybehindthescience.org.
- Maxwell, J. C. (1861). "On Faraday's Lines of Force." *Philosophical Magazine*, V 21 & 23. Ανακτήθηκε από http://en.wikisource.org/wiki/On_Physical_Lines_of_Force στις 7/12/13.
- McMullin, E. (1985). Galilean idealization. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 16(3), 247-273.
- Mead, M., & Metraux, R. (1957). Image of the scientist among high school students. *Science*, 126, 384-390.
- Men, W., Falk, D., Sun, T., Chen, W., Li, J., Yin, D., Zang, L. & Fan, M. (2014). The corpus callosum of Albert Einstein's brain: another clue to his high intelligence? *Brain*, 137(4), e268. <https://doi.org/10.1093/brain/awt252>
- Meyer, R. J., Baker, E. J., Broad, K. F., Czajkowski, J., & Orlove, B. (2014). The dynamics of hurricane risk perception: Real-Time Evidence from the 2012 Atlantic Hurricane Season. *American Meteorological Society*.
- Miller, P.E. (1963). A comparison of the abilities of secondary teachers and students of biology to understand science. *Iowa Academy of Science*, 70, 510-513.
- Mormann, T. (2008). The Structure of Scientific Theories in Logical Empiricism. In *The Cambridge Companion to Logical Empiricism*, edited by A. Richardson and T. Uebel, 136-162. Ανακτήθηκε στις 20/8/2013 από <http://dx.doi.org/10.1017/CCOL0521791782>.

- Morrison, M. (2011). One phenomenon, many models: Inconsistency and complementarity. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 42(2), 342-351.
- Morrison, M. (2005). Approximating the real: The role of idealizations in physical theory. In Martin R. Jones and Nancy Cartwright (eds.), *Idealization XII: Idealization and Abstraction in the Sciences* (pp. 145-172). *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, 86. Amsterdam/New York, NY: Rodopi.
- Morrison, M. (1999). Models as autonomous agents. In M. Morgan and M. Morrison (Eds) *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences* (pp. 38-65). Cambridge, Cambridge University Press.
- Morrison, M. C. (1998). Modelling nature: Between physics and the physical world. *Philosophia Naturalis*, 35(1), 65-85.
- Morrison, M. and Morgan, M. (1999). Models as mediating instruments. in M. Morgan and M. Morrison (eds) *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Sciences* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press,
- Nagel, E. (1961). *The structure of science*. New York: Harcourt, Brace, and World.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Science Teachers Association (1995). Scope, Sequence, and Coordination of Secondary Schools Science. Volume 3. A High School Framework for National Science Education Standards. Washington, DC: NSTA.
- Nelson, R. & Olsson, M. G. (1986). The Pendulum – Rich Physics from a Simple System. *American Journal of Physics*, 54, 112–21.
- Nersessian, N. J. (2008a). Mental modeling in conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.) *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 391-416). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum. Ανακτήθηκε στις 28/1/2018 από https://www.researchgate.net/profile/Nancy_Nersessian/publication/264869173_Mental_Modeling_in_Conceptual_Change/links/543bf42f0cf204cab1db5a32.pdf
- Nersessian, J. N. (2008b). *Creating Scientific Concepts*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. Stich and M. Siegal (Eds), *The cognitive basis of science* (pp. 133-153). Cambridge UK: Cambridge University Press.

Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. N. (ed.) *Cognitive Models of Science Vol XV* (pp. 3-45). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

Nersessian, N. J. (1995). Should physicists teach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics. *Science & Education* 4 (3), 203-226.

Thomas, Nigel J.T., "Mental Imagery", *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy* (Winter 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/mental-imagery/>>.

Nola, R. (2004). Pendula, models, constructivism, and reality. *Science & Education* 13, 349-377.

Nola, R. (1997). Constructivism in science and science education: A philosophical critique. *Science & Education*, 6(1-2), 55-83.

Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds) *Mental models* (pp. 7-14). NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Nowak, L. (1995). Remarks on the Nature of Galileo's Methodological Revolution. In M. Kuokkanen (Ed.) *Idealization, Structuralism and Approximation, Poznań Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, vol. 42 (pp. 111-126). Amsterdam/Atlanta, GA.: Rodopi.

Nowak, L. (1992). The idealization approach to science: A new survey. In J. Brzezinski and L. Nowak (Eds.) *Idealization III: Approximation and Truth* (pp. 9-63). Amsterdam and Atlanta, GA: Rodopi.

NTSB, National Transportation Safety Board. 2014. Descent Below Visual Glidepath and Impact With Seawall, Asiana Airlines Flight 214, Boeing 777-200ER, HL7742, San Francisco, California, July 6, 2013. Aircraft Accident Report NTSB/AAR-14/01. Washington, DC. Ανακτήθηκε στις 17/3/2016 από <http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1401.pdf>

Oakhill J, Johnson-Laird PN, Garnham A (1989). Believability and syllogistic reasoning. *Cognition* 31:117-140.

- O'Brien, D. P. (2009). Human reasoning includes a mental logic. *Behavioral and Brain Sciences*, 32(1), 96-97.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720.
- Papaevripidou, M., Constantinou, C. P., & Zacharia, Z. C. (2007). Modeling complex marine ecosystems: An investigation of two teaching approaches with fifth graders. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 145-157.
- Passmore, C. & Stewart, J. (2002). A modeling approach to teaching evolutionary biology in high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 39 (3) 185-204.
- Portides, D. (2014). How Scientific Models Differ from Works of Fiction. In L. Magnani (ed.), *Model-Based reasoning in Science and Technology, Studies in Applied Philosophy, Epistemology, and Ethics* 8 (pp. 75-87). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Portides, D. (2011). «Seeking representations of phenomena: Phenomenological models». *Studies In History and Philosophy of Science Part A*, 42(2), 334-341.
- Portides, D. (2010). “Why the Model-theoretic view of theories does not adequately depict the methodology of theory application”. In M. Dorato M. Suárez (eds.), *Epsa Epistemology and Methodology of Science*. Springer, 211-220.
- Portides, D. (2008). “Models”. In S. Psillos and M. Curd (Eds) *The Routledge Companion to the Philosophy of Science* (pp. 385-395). NY: Routledge.
- Portides, D. (2007a). Idealization and Abstraction in the Physical Sciences. *History, Philosophy and Education of the Physical Sciences*, Proceedings of the 4th Pan-Hellenic Conference, Koliopoulos D. (ed.), Athens: Othisi, 105-113.
- Portides, D. (2007b). The relation between idealisation and approximation in scientific model construction. *Science & Education*, 16(7-8), 699-724.
- Portides, D. (2005a). Scientific Models and the Semantic View of Scientific Theories. *Philosophy of Science*, 72 (5), pp. 1287-1298.
- Portides, D. P. (2005b). A theory of scientific model construction: The conceptual process of abstraction and concretisation. *Foundations of Science*, 10(1), 67-88.

- Profitt, D.R. & Gilden, D.L. (1989). 'Understanding Natural Dynamics', *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 15, 384–393.
- Psillos, S. (2011). «Living with the abstract: realism and models». *Synthese*, 180(1), 3-17.
- Psillos, S. (1999). *Scientific Realism. How science tracks truth*. Philosophical Issues in Science, London, NY, Canada: Routledge.
- Pylyshyn, W. Z. (2002). Mental imagery. In search for a theory. *Behavioral and Brain Sciences* 25, 157–238
- Pylyshyn, W. Z. (2003a). *Seeing and Visualizing. It's Not What You Think*. Cambridge, MA, MIT Press. Ανακτήθηκε στις 11/2/2016 από <http://ruccs.rutgers.edu/images/personal-zenon-pylyshyn/class-info/bookall.pdf>
- Pylyshyn, W. Z., (1980). Computation and cognition: Issues in the foundations of cognitive science. *Behavioural and Brain Sciences* 3, 111-169.
- Quine, V, W. (1969). Epistemology Naturalized. In *Ontological relativity and other essays*. New York: Columbia University Press.
- Raghavan, K., Sartoris, M. L., & Glaser, R. (1998). Impact of the MARS curriculum: The mass unit. *Science Education*, 82(1), 53-91.
- Redhead, M. (1980). Models in Physics. *British Journal for the Philosophy of Science*, 145-163.
- Redish, E. F. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62(9), 796-803.
- Reichenbach, H. (1938). *Experience and Prediction*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Reichenbach, H. (1936). Logistic empiricism in Germany and the present state of its problems. *Journal of Philosophy*, 33, 141-160.
- Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological bulletin*, 100 (3), 349-363.
- Ryan, M. P. (1984). Monitoring text comprehension: Individual differences in epistemological standards. *Journal of Educational Psychology* 76, 248-258.

- Schecker, H. P. (1992). The paradigmatic change in mechanics: Implications of historical processes for physics education. *Science & Education*, 1(1), 71-76.
- Schoenfeld, A. H. (1989). Explorations of students' mathematical beliefs and behavior. *Journal for research in mathematics education* 20, 338-355.
- Schommer, M. (1990). Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 498.
- Schwartz, D. L. (1999). Physical imagery: Kinematic versus dynamic models. *Cognitive psychology*, 38(3), 433-464.
- Schwartz, D. L., & Black, T. (1999). Inferences through imagined actions: Knowing by simulated doing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 116.
- Schwartz, D. L., & Black, J. B. (1996a). Shuttling between depictive models and abstract rules: Induction and fallback. *Cognitive science*, 20(4), 457-497.
- Schwartz, D. L., & Black, J. B. (1996b). Analog imagery in mental model reasoning: Depictive models. *Cognitive Psychology*, 30(2), 154-219.
- Schwartz, S. R., Lederman, G. N. (2005). What scientists say: Scientists' views of models. Paper presented as part of the symposium, *Learning about models and modelling in science: International views of research issues* at the annual meeting of the American Educational Research Association, April 2005, Montreal, Canada.
- Schwarz, C. and White, B. (1998). Fostering Middle School Students' Understanding of Scientific Modeling. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*, San Diego, CA.
- Schwarz, C. and White, B. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V. (2002). Using Model-Centered Science Instruction to Foster Students' Epistemologies in Learning with Models. *Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association*, New Orleans, LA.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & 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.
- Seel, N. (2006). Mental models in learning situations. *Advances in Psychology*, 138, 85-107.
- Shepard, R. N. (1978). The mental image. *American psychologist*, 33(2), 125.
- Shepard, R. N., & Cooper, L. A. (1986). *Mental images and their transformation*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Shepard, R.N. and Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensional objects. *Science* 171, 701–703
- Skyrme, T. H. R. (1994). *Selected papers, with commentary. of Tony Hilton Royle Skyrme*. E. Brown (Ed). Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Silva, S. S. and Hansman, R. J., (2015). Divergence Between Flight Crew Mental Model and Aircraft System State in Auto-Throttle Mode Confusion Accident and Incident Cases, *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(4), pp. 312–328, DOI: 10.1177/1555343415597344.
- Sims, V.K. and Hegarty, M. (1997). Mental animation in the visual-spatial sketchpad: evidence from dual-task studies. *Mem. Cogn.* 25, 321–332
- Sins, P. H., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The Difficult Process of Scientific Modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695-1721.
- Sins, P. H., Savelsbergh, E. R., van Joolingen, W. R., & van Hout-Wolters, B. H. (2009). The relation between students' epistemological understanding of computer models and their cognitive processing on a modelling task. *International Journal of Science Education*, 31(9), 1205-1229.
- Skelding, R. and Bethel, M. (1996). *Φυσική και Μουσική, Γ' Τάξη, Ενισχυτικό Πρόγραμμα Εκμάθησης Φυσικής*. Μτρφ. Γ. Θεοδούλου. Λευκωσία: Υπηρεσία Ανάπτυξης Προγραμμάτων Μέσης Τεχνικής και Επαγγελματικής Εκπαίδευσης (2001).
- Snyder, J. L. (2000). An investigation of the knowledge structures of experts, intermediates, and novices in physics. *International Journal of Science Education*, 22(9), 979-992.
- Songer, N. B., & Linn, M. C. (1991). How do students' views of science influence knowledge integration? *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 761-784.

- Stevens, L. A. and Gentner, D. (1983). Introduction. In D. Gentner and A. L. Stevens (eds.), *Mental Models* (pp. 1-6). NJ: Lawrence Erlbaum Associate.
- Stillings A. N., Weisler E. S., Chase H. C., Feinstein H. M., Garfield L. J. and Rissland L. E. (1998) *Cognitive Science, an introduction*, 2nd ed. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Suarez, M. (2010). Scientific representation. *Philosophy Compass* 5(1), 91-101.
- Suarez, M. (2004). An Inferential Conception of Scientific Representation, *Philosophy of Science* 71(5), 767-779.
- Suarez, M. (2003). “Scientific representation: Against similarity and isomorphism”, *International Studies in the Philosophy of Science*, 17, 225-244.
- Suarez, M. (1999a). Theories, Models, and Representations. In L. Magnani, N. J. Nersessian, and P. Thagard (Eds.) *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 75-83). N.Y.: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Suarez, M. (1999b). “The role of models in the application of scientific theories. In *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Sciences*”, edited by Mary Morgan and Margaret Morrison, 168-195. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Suarez, M. (1997). *Models of the world, data-models and the practice of science: The semantics of quantum theory*. PhD thesis, London School of Economics and Political Science (United Kingdom).
- Suarez, M., & Cartwright N., (2008). Theories: Tools versus models”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39, 62-81.
- Suppe, F. (2000). Understanding Scientific Theories: An Assessment of Developments, 1969-1998. *Philosophy of Science*, 67, S102-S115. Ανακτήθηκε στις 30/11/2012 από <http://www.jstor.org/stable/188661>.
- Suppe, F. (1989). *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*. Urbana and Chicago: University of Illinois Press.
- Suppe, F. (1977). The search for philosophic understanding of scientific theories. In F. Suppe (Ed.), *The structure of scientific theories* (2nd ed., pp. 3-241). Urbana: University of Illinois Press.

- Suppes, P. (1962). Models of Data. In *Logic Methodology and Philosophy of Science: Proceedings of the 1960 International Congress* (pp. 252-261). Stanford: Stanford University Press.
- Suppes, P. (1957). What is a scientific theory? In S. Morgenbesser (ed.) *Philosophy of Science Today*, (pp. 55-66). N.Y.: Basic Books Inc.
- Suppes, P. (1960). A comparison of the meaning of models and uses of models in mathematics and the empirical sciences. *Synthese*, 12 (2), 287-301.
- Suppes, P. (1957). *Introduction to logic*. Van Nostrand Reinhold Company.
- Teller, P. (2009). Fictions, Fictionalization, and Truth in Science. In: M. Suárez (ed.): *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modelling and Idealisation* (pp. 235–247). London: Routledge.
- Teller, P. (2001). Twilight of the Perfect Model Model. *Erkenntnis* 55, 393–415.
- Thagard, P. (2012). *The Cognitive Science of Science: Explanation, Discovery, and Conceptual Change*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton University Press.
- Thomson-Jones M. (2010). Missing systems and the face value practice. *Synthese* 172, σ. 283-299.
- Thomson-Jones M. (1997). *Models and the Semantic View*. [Preprint] Ανακτήθηκε στις 1/7/2013 από <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/8994>.
- Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189-208.
- Toon, A. (2010a). Models as make believe, in Roman Frigg and Matthew Hunter (eds.): *Beyond Mimesis and Nominalism: Representation in Art and Science*, Berlin and New York: Springer, 71-96.
- Toon, A. (2010b). The ontology of theoretical modelling: models as make believe. *Synthese* 172, 301-315.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2004). Students' understanding of the descriptive and predictive nature of teaching models in organic chemistry. *Research in Science Education*, 34(1), 1-20.

- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D. & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Van Der Valk, T., Van Driel, J.H., and De Vos, W. (2007). Common characteristics of models in present-day scientific practice. *Journal of Research in Science Education*, v. 37, p. 469-488.
- Van Dijk, E. M. (2011). Portraying real science in science communication. *Science Education*, 95(6), 1086–1100.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- van Fraassen, B. (2010). Scientific Representation: Paradoxes of Perspectives. *Analysis Reviews Vol 70(3)* pp. 511–514. doi:10.1093/analys/anq042.
- van Fraassen, B. (1987). The semantic Approach to Scientific Theories. In N. Nersessian (ed.) *The Process of Science*, Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers.
- van Fraassen, B. (1980), *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.
- van Fraassen, B. (1970). On the Extension of Beth's Semantics of Physical Theories, *Philosophy of Science*, Vol. 37, (3), 325-339. Ανακτήθηκε στις 21-10-2015 από <http://www.jstor.org/stable/186462>
- Vosgerau, G. (2006). The perceptual nature of mental models. *Advances in Psychology*, 138, 255-275.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive science*, 18(1), 123-183.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive psychology*, 24(4), 535-585.
- Vosniadou, S., Skopeliti, I., & Ikospentaki, K. (2004). Modes of knowing and ways of reasoning in elementary astronomy. *Cognitive Development*, 19(2), 203-222.
- Walton, K. (1990). Mimesis as make-believe. On the Foundations of the Representational Arts. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Waskan, J. (2010). Applications of an implementation story for non-sentential models. In *Model-Based Reasoning in Science and Technology* (pp. 463-476). Springer Berlin Heidelberg.

Waskan, J. (in press) Neural Circuitry to Mechanistic Model-based Reasoning. To appear in *Springer Handbook of Model-based Science*, (Magnani and Bertolotti eds), Springer.

Ανακτήθηκε

από

https://www.researchgate.net/profile/Jonathan_Waskan/publication/277328380_From_Neural_Circuitry_to_Mechanistic_Model-Based_Reasoning/links/556860fd08aefcb861d3dfd2/From-Neural-Circuitry-to-Mechanistic-Model-Based-Reasoning.pdf

Wason, P.C., and Johnson-Laird, P.N. (1972.) *The Psychology of Deduction: Structure and Content*. Cambridge, MA: Harvard University Press. London: Batsford.

Weisberg, M. (2007). Three kinds of idealization. *The journal of Philosophy*, 104(12), 639-659.

Wells, M., Hestenes, D., & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63(7), 606-619.

Westfall, R. S. (1988). Newton and the Scientific Revolution. In M.S. Stayer, *Newton's Dream*, McGill-Queen's University Press, Kingston, pp 4-18.

White, B. Y. (1993). Thinker Tools: Causal models, conceptual change, and science education. *Cognition and instruction*, 10(1), 1-100.

White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and instruction*, 16(1), 3-118.

Wilson, L. (1954). A study of opinions related to the nature of science and its purpose in society. *Science Education*, 38(2), 159- 164.

Winther, R.G. (2015). "The Structure of Scientific Theories", *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy* (Fall 2015 Edition), Edward N. Zalta (ed.). Ανακτήθηκε στις 24/10/2015 από <http://plato.stanford.edu/archives/fall2015/entries/structure-scientific-theories/>

Wolpert, L. (1992). *The Unnatural Nature of Science*. Harvard University Press, Cambridge MA.

- Wong, S. L., & Hodson, D. (2010). More from the horse's mouth: What scientists say about science as a social practice. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1431-1463.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2009). From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. *Science Education*, 93(1), 109-130.
- World Bank. (2015). *World Development Report 2015: Mind, Society, and Behavior*. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-1-4648-0342-0. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.
- Young, M. R. (2005). Personal epistemological beliefs and their relationship to learning. *Journal for Advancement of Marketing Education*, V. 6, 63-76.
- Zwann, R. A., & Radvansky, G. A. (1998). Situation models in language comprehension and memory. *Psychological Bulletin*, 123, 162-185.
- Αρχοντής, Γ., Πτωχός, Φ., Ζαχαρία, Ζ., Ιωάννου, Μ., Καρμιώτης, Ι., Πολυδωρίδης, Σ., Φιλίππου, Δ., Ελευθερίου, Π., & Χατζηκωστής, Γ. (2017). *Φυσική Γ' Λυκείου, Μέρος Β', Ταλαντώσεις, Ενότητες 2.1-2.14*. Λευκωσία: Υπηρεσία Ανάπτυξης Προγραμμάτων.
- Ιωάννου, Α., Ντάνος, Γ., Πήττας, Α. και Ράπτης Σ. (1999). *Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης, Γ' Τάξη Ενιαίου Λυκείου*. Αθήνα: Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων.
- Κατσελλής, Γ. & Δωρίτης, Π. (2001). *Φυσική, Γ' Ενιαίου Λυκείου, Ειδίκευση Α, τόμος 1*. Λευκωσία: Υπηρεσία Ανάπτυξης Προγραμμάτων.
- Κρασιάς, Χ., Λουκαΐδου, Ε., Παπαστυλιανού Α. & Σαββίδου Κ. (1997). *Φυσική, Γ' Ενιαίου Λυκείου, Ειδίκευση Β, τόμος 1*. Λευκωσία, Υπηρεσία Ανάπτυξης Προγραμμάτων.
- Νικολάου, Χ. και Κωνσταντίνου, Π. Κ. (2006). «Επιστημονικές επιστημολογικές δυσκολίες που αντιμετωπίζουν προπτυχιακοί εκπαιδευτικοί όταν αναπτύσσουν μοντέλα για τις φάσεις της Σελήνης». Εργασία που παρουσιάστηκε στο *IX Συνέδριο Παιδαγωγικής Εταιρείας Κύπρου*.
- Χατζηκωνσταντίνου, Γ. & Στρατής, Τ. (1998). *Φυσική, Γ' Λυκείου (Σ2), τόμος 1*. Λευκωσία: Υπηρεσία Ανάπτυξης Προγραμμάτων.