



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΑΙΟΥ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

«Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας  
στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett»

Γρηγοριάδου Ι. Βιργινία

**ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

1. Θεολόγου Κώστας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ
2. Κουτελιέρης Φραγκίσκος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
3. Πουρνάρη Μαρία, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Αθήνα, Ιούλιος, 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΘΡΩΠΙΣΤΙΚΩΝ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΑΙΟΥ

### ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας  
στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett»

"Issues of similarity between scientific models and reality in  
the epistemology of Susan G. Sterrett"

Γρηγοριάδου Ι. Βιργινία

Πτυχιούχος του τμήματος Φιλολογίας, της Φιλοσοφικής Σχολής του Εθνικού  
Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Κάτοχος του Μεταπτυχιακού Διπλώματος με τίτλο Διοίκηση Πολιτισμικών Μονάδων, της  
Σχολής Κοινωνικών Επιστημών του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου

### ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Θεολόγου Κώστας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ
2. Κουτελιέρης Φραγκίσκος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
3. Πουρνάρη Μαρία, Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
4. Κιουβρέκης Γιάννης, Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
5. Κούτσιας Νίκος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
6. Μεράντζας Χρήστος, Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών
7. Στεφανέας Πέτρος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2022

## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ειλικρινείς και εγκάρδιες ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλαν στην έναρξη, στην εκπόνηση και στην τελική διαμόρφωσή της. Θα ήθελα να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Θεολόγου Κώστα, Αναπληρωτή Καθηγητή του ΕΜΠ, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ξεκινήσω το διδακτορικό μου, για την καθοδήγηση, τις συμβουλές, τις παρατηρήσεις του και όλες τις ενέργειες που έκανε μέχρι σήμερα προκειμένου να εξελιχθεί ομαλά και να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη διατριβή. Θερμές ευχαριστίες, θα ήθελα να εκφράσω στον κύριο Κουτελιέρη Φραγκίσκο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών, για τη συνεχή επίβλεψη, καθοδήγηση, υποστήριξη και τις καίριες συμβουλές και παρατηρήσεις του που συνέβαλαν καθοριστικά στην υλοποίηση του εγχειρήματος αυτού. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στην κυρία Πουρνάρη Μαρία, Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για τη συμμετοχή της στην τριμελή μου επιτροπή και τις κατευθύνσεις που μου έδωσε αλλά και στον κύριο Καναβούρα Αντώνη που κατά τα πρώτα δύο έτη της διατριβής μου ήταν μέλος της τριμελούς επιτροπής και με βοήθησε στο ξεκίνημα της έρευνας.

Θερμές ευχαριστίες εκφράζω και στα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς επιτροπής για τη συμμετοχή τους σε αυτήν, και συγκεκριμένα στον κύριο Κιουβρέκη Γιάννη, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Δημόσιας και Ενιαίας Υγείας της Σχολής Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στον κύριο Κούτσια Νίκο, Καθηγητή στο Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Πατρών, στον κύριο Μεράντζα Χρήστο, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Ιστορίας - Αρχαιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών και στον κύριο Στεφανέα Πέτρο, Αναπληρωτή Καθηγητή στη Σχολή ΕΜΦΕ του ΕΜΠ.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που σε κάθε βήμα, σε κάθε απόφαση, σε κάθε σημαντική επιδίωξη της ζωής μου με στηρίζει ουσιαστικά και με όλους τους δυνατούς τρόπους. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τους γονείς μου, Σοφία και Ιωάννη, και τον αδερφό μου Χρήστο, που από τα πρώτα μου βήματα μέχρι σήμερα με υποστηρίζουν με όλες τους τις δυνάμεις. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον σύζυγό μου Κωνσταντίνο, για την κατανόηση, την υπομονή και την υποστήριξή του όλα αυτά τα χρόνια. Η διδακτορική μου διατριβή αφιερώνεται σε όλα τα μέλη της οικογένειάς μου που στάθηκαν στο πλευρό μου, συνοδοιπόροι και συμπαραστάτες σε αυτή την προσπάθεια.

## Περίληψη

Στην παρούσα διατριβή διερευνάται ιστορικά και φιλοσοφικά η έννοια της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού που προσδιορίζει την αναπαραστατική λειτουργία των επιστημονικών μοντέλων αναλογίας, με επίκεντρο την καινοτόμο θεώρηση της σύγχρονης φιλοσόφου της επιστήμης Susan G. Sterrett. Η διατριβή διεξήχθη υπό το πρίσμα της ερευνητικής υπόθεσης, κατά την οποία «ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας του επιστημονικού μοντέλου αναλογίας είναι η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση συστήματος, η οποία θα πρέπει να ορίζεται βάσει αυστηρών επιστημονικών κριτηρίων προκειμένου να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική αξιοποίηση του μοντέλου και να επικυρώνεται η επιστημονική του φύση».

Η εκπόνηση της διατριβής πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια έρευνας που αντιστοιχούν στα τρία κεφάλαια που την απαρτίζουν. Στο θεωρητικό μέρος της διατριβής (κεφάλαιο 1), παρουσιάστηκαν σημαντικοί ορισμοί των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου και διατυπώθηκε ένας νέος ορισμός της έννοιας του μοντέλου. Ο ορισμός αυτός προέκυψε από την απάντηση στα ερωτήματα: *τι είναι μοντέλο, τι δεν είναι μοντέλο και ποιες οι βασικές κατηγορίες των επιστημονικών μοντέλων στη σύγχρονη επιστήμη;* Ο προτεινόμενος ορισμός περιγράφει τον ρόλο του μοντέλου στην επιστημονική μεθοδολογία, την ομοιότητα ως βασικό μηχανισμό λειτουργίας του και τα χαρακτηριστικά που συνθέτουν την ταυτότητα της σημαντικής αυτής επιστημονικής τεχνικής, χωρίς να εστιάζει σε συγκεκριμένες κατηγορίες μοντέλων ή να επικεντρώνεται αποκλειστικά στην αναπαραστατική λειτουργία των μοντέλων. Επίσης, διερευνήθηκε η ιστορική εξέλιξη της εννοιοδότησης και της πειραματικής αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας και της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου σε διάφορα στάδια εξέλιξης της επιστημονικής δραστηριότητας από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα και προτάθηκε η διάκριση πέντε συγκεκριμένων σταδίων στη μακρά ιστορική εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας. Επιπλέον, εξετάστηκε ο ρόλος της φιλοσοφίας της επιστήμης και των φυσικών επιστημών στην κατανόηση των εννοιών αυτών και στην αξιοποίηση των αντίστοιχων τεχνικών.

Το δεύτερο μέρος της διατριβής (κεφάλαια 2 και 3) αποτέλεσε μια προσπάθεια κριτικής προσέγγισης των βασικών ζητημάτων που ανέδειξε και εξέτασε η Sterrett αναφορικά με τις έννοιες της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου. Συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάστηκε η ιστορική προσέγγιση της

έννοιας της ομοιότητας, η εννοιοδότηση και ο ορισμός της τεχνικής αυτής από τη φιλόσοφο. Επίσης, παρουσιάστηκε η κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων της φιλοσόφου σε δύο ευρείες κατηγορίες και προτάθηκε μια διαφορετική, πιο εκτεταμένη κατηγοριοποίηση που ξεπερνά ορισμένους περιορισμούς που προκύπτουν από την κατηγοριοποίηση της Sterrett. Επιπλέον, προσεγγίστηκαν κριτικά ορισμένα σημαντικά ζητήματα που ανέδειξε και εξέτασε η Sterrett, τοποθετώντας μέσω της θεώρησής της τη διερεύνηση των δύο αυτών εννοιών και της σχέσης μεταξύ τους σε νέες βάσεις στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Ένα σημαντικό ζήτημα που διερευνήθηκε από τη φιλόσοφο είναι εάν τα μοντέλα κλίμακας είναι αμιγώς επιστημονικές τεχνικές. Η επιστημονικότητα της ευρείας αυτής κατηγορίας μοντέλων είχε αμφισβητηθεί στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η Sterrett διατύπωσε ένα ισχυρό επιχείρημα υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων φυσικών διατάξεων εστιάζοντας στον καθοριστικό ρόλο των νόμων, των αρχών και των εξισώσεων κατά την κατασκευή και την πειραματική αξιοποίησή τους. Άλλη σημαντική συμβολή της Sterrett είναι η αναγνώριση της μεθόδου φυσικής ομοιότητας ως βασικής μεθόδου λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας. Η συγκεκριμένη άποψη της φιλοσόφου στηρίχθηκε στην εξέταση πολλών παραδειγμάτων πειραματικής αξιοποίησης μοντέλων φυσικών διατάξεων και στην επιχειρηματολογία που η ίδια ανέπτυξε, και υπήρξε σημαντική για τον έλεγχο της ερευνητικής υπόθεσης υπό το πρίσμα της οποίας διεξήχθη η συγκεκριμένη έρευνα. Ένα άλλο ζήτημα που διερεύνησε η φιλόσοφος είναι εάν η αντιγραφή ενός συστήματος συνιστά την ομοιότητα που εμπλέκεται στη μοντελοποίηση κλίμακας. Επιπροσθέτως, παρουσιάστηκε η θεώρηση της Sterrett σχετικά με τα κριτήρια στα οποία πρέπει να στηρίζεται η επιβεβαίωση της ύπαρξης συγκεκριμένης ομοιότητας μεταξύ ενός μοντέλου και του συστήματος που αυτό αναπαριστά, και προσεγγίστηκε κριτικά η άποψή της κατά την οποία συχνά ο εμπειρικός προσδιορισμός της ομοιότητας αρκεί για την επιβεβαίωση της ύπαρξης ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και υπό διερεύνησης συστήματος. Μέσω των δύο πρώτων κεφαλαίων και συγκεκριμένα μέσω της ιστορικής ανασκόπησης των δυο υπό εξέταση εννοιών και της κριτικής προσέγγισης συγκεκριμένων πτυχών της θεωρίας της Sterrett, επικυρώθηκε το πρώτο σκέλος της ερευνητικής υπόθεσης, σύμφωνα με το οποίο η ομοιότητα αποτελεί βασικό μηχανισμό λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας, τον μηχανισμό κλίμακας από το μοντέλο στο υπό διερεύνηση σύστημα.

Στο τρίτο κεφάλαιο ασκήθηκε κριτική σε συγκεκριμένα σημεία της θεώρησης της Sterrett, στα οποία εντοπίστηκαν παραλείψεις ή διαμορφώθηκε διαφορετική άποψη από εκείνη της φιλοσόφου. Συγκεκριμένα, ενώ η Sterrett προσέγγισε, εξέτασε και όρισε την ομοιότητα μεταξύ δυο διαφορετικών συστημάτων ή φαινομένων, δεν αναφέρθηκε στην ομοιότητα μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων του ίδιου φαινομένου ή συστήματος. Στο πλαίσιο αυτό, παρουσιάστηκε η πρόταση διάκρισης της ομοιότητας στους δύο αυτούς επιμέρους τύπους, την εξωτερική και εσωτερική ομοιότητα, των Καναβούρα, Θεολόγου και Κουτελιέρη (Καναβούρας και συν, 2021: 210-213), βάσει της οποίας προέκυψε ορισμός της έννοιας της ομοιότητας που συνυπολογίζει τη συγκεκριμένη διάκριση και αποσαφηνίζει περισσότερο την έννοια. Επίσης, διατυπώθηκε επιχειρηματολογία αναφορικά με τη σημασία επιλογής αυστηρών κριτηρίων επικύρωσης της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και υπό εξέτασης συστήματος, όταν αυτό είναι εφικτό, βάσει της ισχυρής πεποίθησης κατά την οποία τα αυστηρά κριτήρια συμβάλλουν στον περιορισμό της ασάφειας κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας και κατ' επέκταση στον περιορισμό της πιθανότητας επιλογής εσφαλμένων κριτηρίων που μπορεί να οδηγήσει σε μη αποτελεσματική αξιοποίηση του μοντέλου ή σε επισφαλή αποτελέσματα. Η επιχειρηματολογία που αναπτύχθηκε στο τρίτο κεφάλαιο υποστηρίχθηκε από την παρουσίαση και περιγραφή συγκεκριμένων μεθοδολογιών και εργαλείων με απώτερο σκοπό την περαιτέρω αποσαφήνιση των δυο υπό εξέταση εννοιών στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Μέσω της ιστορικής ανασκόπησης της πειραματικής αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου στις φυσικές επιστήμες και στα πεδία της μηχανικής μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, που παρατηρείται η τάση προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και συστήματος στόχου βάσει μαθηματικών κριτηρίων, αλλά και μέσω της επιχειρηματολογίας που αναπτύχθηκε στο τρίτο κεφάλαιο της διατριβής, επικυρώθηκε το δεύτερο σκέλος της ερευνητικής υπόθεσης, κατά το οποίο η ύπαρξη συγκεκριμένης ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και υπό διερεύνησης συστήματος πρέπει να επιβεβαιώνεται βάσει αυστηρών, μαθηματικών κριτηρίων.

**Abstract**

Although similarity and analogue models have been widely utilized in various scientific fields since the 18th century, the concept of similarity was somehow neglected in epistemological issues of philosophy of science until the late 20th century, despite that it is a core mechanism that enables experimentation. Although several approaches to scientific models have been provided by philosophers in recent decades, the wide use of the concept of similarity during the application of analogue models requires further discussion on the role of the concept itself during the representation of existing systems through analogue models, on the relationship between similarity and analogical reasoning and, on the criteria on which the verification of a specific similarity between an analogue model and a system under study should be based. On this basis, this dissertation aims to examine the relationship between similarity and representation through the scientific technique of analogue models, and, therefore, the relationship between similarity and analogue models, focusing on the innovative theory of Susan G. Sterrett, a modern philosopher of science, who identified physical similarity as the core method of analogue models.

In this context, the research hypothesis we investigated was: The basic mechanism that enables experimentation through analogue models is the similarity between the model and the system under study (the target system), which should be defined and verified by strict scientific criteria to both ensure the effective utilization of the model and to validate its scientific nature. Thus, a historical and philosophical approach to the concept of similarity as a core mechanism that determines the representation through scientific models was carried out, but also the issue of the appropriate criteria to validate the similarity between two systems was discussed, focusing on highly important aspects of Sterrett's theory.

Through this research, it is argued that Sterrett's theory is one of the important evolutionary milestones in the process of conceptualizing and defining the concepts of similarity and scientific model in modern philosophy of science. We accepted most aspects of Sterrett's theory and recognize her contribution to the clarification of these two concepts and the conceptualization of the concept of analogue models in the field of philosophy of science. However, as some omissions were traced in the philosopher's theory, we criticized specific aspects of it and re-examined some of the issues she

discussed, explaining, clarifying, or complementing the philosopher's approach, or suggesting something new or even something different from her.

Through the first chapter of this dissertation, we presented important definitions of the concepts of similarity and scientific models derived from different scientific fields. To further clarify the concept of the scientific model, a definition was formulated and proposed. The proposed definition describes the role of the model in the scientific methodology, the core operation mechanism, and the basic characteristics that compose the identity of this important scientific technique, without focusing on specific categories of models or, exclusively, on the representational operation of this technique.

Moreover, the historical evolution of the conceptualization and utilization of the mechanism of similarity and scientific models as practical and experimental techniques, in different spatial and temporal contexts, was examined. According to this approach, the concept of similarity went through five distinct stages of evolution (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). The first stage corresponds to Egyptian science from 3200 BC to 1200 BC and it could be characterized as the beginning of the utilization of similarity, which enabled ancient Egyptians to achieve various architectural, medicinal, and mathematical feats. During this period, ancient Egyptians used similarity in a generalized manner, as a technique to categorize knowledge and contribute to the description, explanation, and prediction of the world, primarily aimed at solving practical problems. The second stage corresponds to Classical antiquity, which is the era of the genesis of “episteme” and “natural philosophy” when the notion of similarity appeared in philosophy, mathematics, music, and geometry and was perceived to be of increased methodological importance (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). The third stage was during the Dark Ages, a period that proved unfavorable for the exploitation and development of experimental scientific techniques and mechanisms, such as the mechanism of similarity. During the next evolutionary stage, after Renaissance, the concept of similarity gained renewed importance, this time as the methodological idea of similar systems. This was the period of defining and consciously utilizing similarity as an experimental tool of the natural sciences (late 16th century to early 19th century) (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). Finally, the fifth stage corresponds to the period from the 19th century to the 21st century and constitutes the stage of the theoretical documentation and systematic application of the mechanism of similarity in the natural sciences as well as the extension of its application in many scientific fields.



Accordingly, in the same chapter, the history of the concept of the scientific model was examined. The study of the historical evolution of similarity and scientific models clarifies that the transition from the “technocratic” exploitation of similarity to its theoretical documentation as well as to its conscious and systematic application as a tool of scientific methodology was not completed in a single evolutionary stage (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). On the contrary, it took many centuries for the concept to evolve in parallel with the evolution of scientific thought and to reach its modern significance and application within the scientific methodology of the various scientific fields. The transition from the “technocratic” utilization of similarity to its conscious utilization can be detected in the classical era stage. The transition to its systematic use as a significant experimental tool is traced after Renaissance. Finally, the theoretical documentation of the concept of similarity and efforts to expand its application to more scientific fields, are traced after the 19th century (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). Although all stages contributed to the development of the concept of similarity, the period after the scientific revolution is considered crucial for the conceptualization and utilization of the mechanism of similarity, as the changes that occurred in science after the Scientific Revolution and the Enlightenment played a decisive role in the evolution of the concept of similarity. In other words, the Scientific Revolution and the Enlightenment helped shape a new way of thinking that changed the way scientists research the natural world. The incorporation of systematic experimentation into scientific methodology resulted in the need to develop new scientific practices, including measuring instruments and the systematic exploitation of mechanisms and scientific models capable of contributing to the explanation and prediction of phenomena (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). These conditions contributed to the immediate adoption of the mechanism of similarity and to its systematic application in scientific models, which was greatly expanded from the 18th century onwards. The historical review provided by this dissertation has presented the evolution of the concept of similarity from Newton’s concept of geometrical similarity to Buckingham’s concept of physical similarity, and finally, to the concept of physical similarity in the light of a specific research hypothesis in Sterrett’s approach. The historical approach enabled the adoption of a multifaceted approach, a deeper understanding, and a more sufficient definition of the concept of similarity and the scientific model and their evolution (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). In this chapter,

it was also supported that the first scientific models that have been discovered are the stone circle, the sculpture cowstone, and the bedrock sculpture of Nabta Playa, which were discovered in 1974 at Nubia dessert and systematically researched after 1998 by Thomas Brophy, an American astrophysicist.

Furthermore, throughout the first chapter, the role of the philosophy of science and natural sciences in understanding these concepts and utilizing the corresponding techniques were discussed. According to this issue, we concluded that both natural sciences and philosophy of science contribute to a comprehensive perception and an efficient application of the technique of the scientific model in modern scientific methodology. The knowledge for models, which is derived from the field of philosophy of science, is important for their more efficient use as a core experimental technique of natural sciences, while at the same time the natural sciences shape the field of applications of this tool and enhance it with further scientific value (Γρηγοριάδου, 2021:159-160). Thus, the development of a continuous interdisciplinary dialogue between philosophers and natural scientists concerning these two concepts is considered crucial as it can lead to a more sufficient understanding of the concept of the scientific model, but also the theoretical documentation, the effective utilization, and further development of this technique.

The second chapter provides a critical approach to the basic issues of similarity between scientific models and reality in the epistemology of Sterrett. Specifically, Sterrett's historical review and definition of the concept of similarity were presented and analyzed. Moreover, the innovative categorization of scientific models introduced by the philosopher was presented and discussed, but also a different and more extensive categorization was proposed, which is considered to overcome some limitations traced through Sterrett's categorization. Specifically, we, firstly, approached Sterrett's categorization of scientific models into two wide categories, based on the nature of the system under study and the operation of the representation mechanism. Sterrett proposed the categories "realm of thought" and "using one piece of the world to tell about another". Although Sterrett's approach was innovative and important, if we consider the variety of scientific models used in modern science, her models' categorization into only two basic categories is considered somehow restricted.

At this point the need for a more comprehensive and detailed categorization, capable of overcoming the limitations of Sterrett's categorization, and contributing to the understanding of the concept of the model in general, became apparent. Thus, we proposed that the most appropriate criterion for scientific models' categorization is the nature of the model itself. In other words, we distinguished five models' categories responding to the question: what kind of things are used as models? This criterion can be easily used during models' classification into general categories and can lead to a sufficient categorization of scientific models as it contributes to encompassing all kinds of models in the proposed categories and each kind in one single category. The chosen criterion is a fundamental criterion that indicates the classification of the models in specific categories and, therefore, can reduce the effect of the human factor during the categorization of scientific models. In this context, the proposed classes of scientific models are theoretical models, physical set-ups (analogue models), fiction or imaginary models, mathematical models, and models of informatics. Through the proposed categorization, details considering the core features of each model subcategory are estimated and clearly presented, while differences between models' subcategories are pointed out. Thus, the scheme of the five general categories of models we proposed is comprehensive and distinguishable. Classifying models in such a manner has the potential to highly impact the process of understanding and defining the notion of the scientific model in general.

In addition, in the second chapter, other highly important issues addressed by Sterrett were critically approached. Sterrett clarified the role of similarity in the experimental utilization of scale models through the distinction and description of five specific stages of selection or construction and operation of scale models' technique. Moreover, Sterrett discussed how the fundamental laws are involved in the construction of and drawing inferences from the experimental scale models and focused on the significant role of fundamental laws during scale modeling, she supported that the scale model is a scientific technique. Another significant aspect of Sterrett's theory is her observation that the kind of similarity that is involved in scale modeling is not the absolute structural similarity of a system -e.g. the construction of a replica of the system- but a kind of partial similarity focusing on specific characteristics or relations, in the light of a specific scientific hypothesis. Finally, we approached Sterrett's view on the kind of criteria considered appropriate to verify the existence of a specific similarity between a

model and the system under study. Through the first and second chapters, and specifically through the historical review and the presentation and analysis of the basic aspects of Sterrett's theory concerning the concepts of similarity and scientific model, the first part of the research hypothesis according to which similarity is the core mechanism that allows experimentation through analogue models was validated.

In the third chapter, a new perception of the concept of similarity as the core mechanism that allows the transfer of knowledge between different scales of the same phenomenon (internal similarity) or among different phenomena or systems of the same scale (external similarity) was presented (Kanavouras et al., 2021: 210-213). The distinction between the internal and external similarity succeeds in further clarification of the concept of similarity, specifically by describing the internal similarity that Sterrett didn't have pointed out. On this basis, a definition of the concept of similarity including both internal and external similarity was proposed. Finally, we highlighted that the validity of the scientific model's technique can be ensured if the verification of similarity between two or more systems, is based on strict, scientific, and objective criteria, capable of reducing the effect of the human factor on determining similarity and the possibility of choosing incorrect criteria which may lead to inefficient utilization of the model or unreliable results. The arguments developed in the third chapter were supported by the presentation and description of specific methodologies and tools with the main purpose of further clarifying the concepts of similarity and scientific model in the field of philosophy of science. Through the historical review of the experimental utilization of scientific models, especially after the 17<sup>th</sup> century, but also through the argumentation developed in the third chapter, the second part of the research hypothesis according to which the similarity between the model and target system should be defined based on strict scientific criteria, was validated.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	3
Abstract.....	6
Εισαγωγή.....	15
Μέρος πρώτο: Θεωρητικά ζητήματα.....	30
<b>Κεφάλαιο πρώτο: Η εννοιολόγηση και η ιστορική ανασκόπηση της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου.....</b>	<b>30</b>
1.1 Ομοιότητα: θεωρητική προσέγγιση της έννοιας.....	30
1.2 Ιστορική ανασκόπηση της έννοιας. Τα εξελικτικά στάδια της εννοιοδότησης και αξιοποίησης της ομοιότητας ως πειραματικής τεχνικής.....	34
1.2.1 Η ομοιότητα ως πρακτική τεχνική πριν την επιστήμη.....	36
1.2.2 Οι απαρχές της ομοιότητας στην αρχαία Αίγυπτο.....	38
1.2.3 Οι ρίζες της έννοιας της ομοιότητας κατά την κλασική αρχαιότητα.....	39
1.2.4 Η απουσία του μηχανισμού της ομοιότητας από την ερευνητική μεθοδολογία του Μεσαίωνα (500-1500 μ.Χ.).....	44
1.2.5 Η κατανόηση και αξιοποίηση της ομοιότητας στις φυσικές επιστήμες (16 <sup>ος</sup> -19 <sup>ος</sup> αι.).....	47
1.2.6 Το στάδιο της συστηματικής αξιοποίησης και θεωρητικής προσέγγισης του μηχανισμού της ομοιότητας στις φυσικές επιστήμες (19ος-21ος αιώνας).....	52
1.2.7 Από την «τεχνοκρατική» αξιοποίηση στη θεωρητική τεκμηρίωση της ομοιότητας.....	54
1.3 Επιστημονικά μοντέλα.....	55
1.3.1 Θεωρητική προσέγγιση της έννοιας.....	55
1.3.2 Ιστορική ανασκόπηση της έννοιας και της αξιοποίησης της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου.....	67
1.3.2.1 Τα πρώτα μοντέλα πριν την ανακάλυψη της γραφής: Το αστρονομικό παρατηρητήριο της Nabta Playa και τα γλυπτά cowstone και bedrock.....	68
1.3.2.2 Το επιστημονικό μοντέλο στην αρχαία Αιγυπτιακή και Βαβυλωνιακή αστρονομία.....	73
1.3.2.3 Η χρήση των επιστημονικών μοντέλων στην αρχαία ελληνική επιστήμη.....	75
1.3.2.4 Η περίοδος του Μεσαίωνα.....	80

1.3.2.5	Η αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων μετά την επιστημονική επανάσταση και τον Διαφωτισμό (17ος-19ος αι.).....	81
1.3.2.6	Η προσπάθεια κατανόησης και ορισμού των επιστημονικών μοντέλων στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης (20ος -21ος αι.).....	87
1.4	Η κατανόηση των εννοιών του επιστημονικού μοντέλου και της ομοιότητας μέσα από τον διεπιστημονικό διάλογο μεταξύ φυσικών επιστημών και φιλοσοφίας της επιστήμης.....	93
<b>Μέρος δεύτερο: Κριτική προσέγγιση της θεωρίας της Susan G. Sterrett περί της έννοιας της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.....</b>		<b>100</b>
<b>Κεφάλαιο δεύτερο: Η θεώρηση της Sterrett.....</b>		<b>100</b>
2.1	Η Sterrett, μια σύγχρονη φιλόσοφος της επιστήμης.....	100
2.1.1	Σπουδές-Επιστημονική-Επαγγελματική πορεία.....	100
2.1.2	Δημοσιεύσεις.....	102
2.1.3	Η αρθρογραφία της Sterrett ως βιβλιογραφική πηγή.....	110
2.2	Η έννοια των όμοιων συστημάτων και της ομοιότητας στη σκέψη της Sterrett.....	110
2.3	Τα επιστημονικά μοντέλα στη σκέψη της Sterrett.....	121
2.3.1	Η κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων της Sterrett.....	121
2.3.2	Η πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες.....	129
2.4	Ζητήματα αντιστοίχισης μοντέλου και πραγματικότητας.....	138
2.4.1	Το βασικό επιχείρημα της Sterrett υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας.....	138
2.4.2	Η ομοιότητα ως μηχανισμός αλλαγής κλίμακας από το μοντέλο στην πραγματικότητα.....	146
2.4.3	Η αντιγραφή ή η αναπαραγωγή ως ομοιότητα.....	155
<b>Κεφάλαιο τρίτο: Κριτική στη θεώρηση της Sterrett αναφορικά με την εννοιοδότηση της ομοιότητας και την επιλογή κριτηρίων προσδιορισμού αυτής κατά τον πειραματισμό.....</b>		<b>161</b>
3.1	Εισαγωγή.....	161
3.2	Οι δύο μορφές της ομοιότητας: Εσωτερική-εξωτερική ομοιότητα των φυσικών φαινομένων.....	163

3.3	Το ζήτημα της επιλογής των κριτηρίων εντοπισμού και επιβεβαίωσης της εσωτερικής ομοιότητας: Το εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης των φυσικών φαινομένων βάσει της εσωτερικής ομοιότητας, matrix.....	167
3.4	Προτεινόμενο εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης συστημάτων όμοιων φυσικών φαινομένων (ΣυσΟΦΦ) βάσει της εξωτερικής ομοιότητας: Matrix cube.....	180
	<b>Συμπεράσματα.....</b>	<b>195</b>
	<b>Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....</b>	<b>220</b>
	<b>Βιβλιογραφικές αναφορές.....</b>	<b>224</b>
	<b>Παράρτημα.....</b>	<b>239</b>

## **Εισαγωγή**

Οι έννοιες της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου έχουν διερευνηθεί και αξιοποιηθεί πειραματικά στο πλαίσιο της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας, σε διάφορες περιόδους εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα (Grigoriadou et al., 2021: 101-121). Αρκετοί φυσικοί φιλόσοφοι και επιστήμονες αξιοποίησαν μεθοδολογικά την ομοιότητα προκειμένου να κατανοήσουν, να περιγράψουν, να εξηγήσουν τον φυσικό κόσμο, να προβλέψουν φαινόμενα ή καταστάσεις του φυσικού κόσμου ή ακόμα και προκειμένου να βρουν πρακτικές λύσεις σε καθημερινά προβλήματα. Κορυφαιοί διανοητές που ενέταξαν την ομοιότητα στη μεθοδολογία τους είναι ο Θαλής ο Μιλήσιος, ο Ευκλείδης, οι Πυθαγόρειοι φιλόσοφοι, ο Αριστοτέλης, ο Γαλιλαίος, ο Νεύτωνας, ο Edgar Buckinham, ο William Froude καθώς και ένας μεγάλος αριθμός επιστημόνων που δραστηριοποιήθηκαν σε διάφορα επιστημονικά πεδία κατά τον 19<sup>ο</sup> και 20<sup>ο</sup> αιώνα, με κυρίαρχα τα πεδία των φυσικών επιστημών και των επιστημών της μηχανικής (Sterrett, 2017(b): 377-411, 380-383· Grigoriadou et al., 2021: 101-121).

Η σταθερή παρουσία της ομοιότητας στη διαδικασία της κατάκτησης και κατηγοριοποίησης της επιστημονικής γνώσης αλλά και στη διαδικασία της επιστημονικής συμπερασματολογίας από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, αναδεικνύει αφενός τον ρόλο που παίζει η ομοιότητα στην επιστημονική μεθοδολογία, αφετέρου τη σημασία της προσπάθειας κατανόησης, ορισμού και θεωρητικής τεκμηρίωσης της έννοιας της ομοιότητας. Η έννοια της ομοιότητας συνδέεται και εξελίσσεται παράλληλα με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου καθώς η βασική λειτουργία του επιστημονικού μοντέλου συνοψίζεται είτε στην αναπαράσταση μη προσβάσιμων συστημάτων, φαινομένων, καταστάσεων του φυσικού κόσμου είτε στην ερμηνεία θεωριών (Rogers, 2012· Frigg and Hartmann, 2020· Γρηγοριάδου, 2021: 146). Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η αναπαράσταση ενός συστήματος απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο εντοπισμός των συγκεκριμένων όμοιων χαρακτηριστικών, ιδιοτήτων, σχέσεων ή συμπεριφορών του συστήματος που ο ερευνητής επιδιώκει να αναπαραστήσει μέσω ενός μοντέλου. Τα όμοια αυτά χαρακτηριστικά, οι όμοιες ιδιότητες, σχέσεις ή συμπεριφορές προσδιορίζονται από την συγκεκριμένη, κάθε φορά, υπό έλεγχο ερευνητική υπόθεση, που καθορίζει την κατεύθυνση και τον σκοπό της ερευνάς. Υπό αυτούς τους όρους, η ομοιότητα αποτελεί τον βασικό μηχανισμό που



προσδιορίζει την αναπαραστατική λειτουργία του επιστημονικού μοντέλου και τοιουτοτρόπως συνδέεται άρρηκτα με αυτό.

Η μελέτη της ιστορικής εξέλιξης των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου αναδεικνύει μια σημαντική αντίθεση. Ενώ ο ρόλος της ομοιότητας και του μοντέλου στην επιστημονική μεθοδολογία φαίνεται ότι είχε γίνει αντιληπτός ήδη από την αρχαιότητα και οι τεχνικές αυτές εντάχθηκαν συστηματικά στην πειραματική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών μετά την επιστημονική επανάσταση, η ιστορική και φιλοσοφική προσέγγιση, διερεύνηση και κατανόησή τους καθυστέρησαν σημαντικά. Οι πρώτες σημαντικές θεωρίες αναφορικά με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης εντοπίζονται μετά το 1920 (Hesse, 1967: 354–356) και από τότε μέχρι σήμερα, παρόλο που η κατανόησή της στο συγκεκριμένο πεδίο έχει εξελιχθεί μέσω πολλών διαδοχικών θεωρητικών προσεγγίσεων, χαρακτηρίζεται από αρκετά και σημαντικά κενά, μερική κατανόηση ή ακόμα και αρκετές παρανοήσεις. Ιδιαίτερα μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα η κατανόηση των δυο αυτών εννοιών υπήρξε αρκετά αποσπασματική στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, καθώς οι φιλόσοφοι εστίαζαν περισσότερο στην κατανόηση των μοντέλων ως θεωρητικών δομών ή ως τεχνικών ενδιάμεσων σταδίων μεταξύ θεωρίας και πραγματικότητας, απορρίπτοντας ή ακόμα και αγνοώντας μία ευρεία κατηγορία μοντέλων που αποτελούν φυσικές διατάξεις, δηλαδή φυσικά αντικείμενα, συστήματα, φαινόμενα, καταστάσεις ή ακόμα και οργανισμούς, των οποίων βασικός μηχανισμός λειτουργίας είναι η ομοιότητα (Hesse, 1967: 354-356· Bell and Machover, 1977: κεφ 5· Giere, 1988: 319-323· Hodges, 1997: κεφ 1, 2, 3· Morrison, 1995: 6· Morrison and Morgan, 1999: 10-13· Sterrett 2005: 1-14, 2002: 51-53, 2006: 69-76, 2017(a): 857-861· Γρηγοριάδου 2021: 147, 151-152, 154-155).

Σε αυτό το πλαίσιο, στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα διατυπώνεται η ριζοσπαστική θεωρία της σύγχρονης φιλοσόφου της επιστήμης και εν ενεργεία Πανεπιστημιακού στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Wichita στο Κάνσας, Susan G. Sterrett, μέσω της οποίας οι έννοιες της ομοιότητας και του μοντέλου τοποθετούνται σε νέες βάσεις, εξετάζονται ιστορικά και φιλοσοφικά μέσω της αξιοποίησης ενός ευρέος φάσματος παραδειγμάτων προερχόμενων από τις φυσικές επιστήμες, κυρίως μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, και ορίζονται με μεγαλύτερη επάρκεια. Η Sterrett αποδεχόμενη την επιστημονικότητα της κατηγορίας των μοντέλων φυσικών διατάξεων προσεγγίζει, προσδιορίζει και περιγράφει τη λειτουργία της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού λειτουργίας της

ευρείας αυτής κατηγορίας επιστημονικών μοντέλων (Sterrett 2002: 51-66, 2003: 1-3, 7-8, 2006, 20: 69-80, 2017 (a): 857-878· Γρηγοριάδου, 2021: 158). Η θεώρηση της Sterrett είναι μεν αρκετά ριζοσπαστική για το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης αλλά δεδομένου ότι αφενός στηρίζεται σε σημαντικό βαθμό στον τρόπο αξιοποίησης και λειτουργίας των επιστημονικών αυτών τεχνικών κατά την πειραματική τους εφαρμογή αφετέρου συμπεριλαμβάνει και κατηγορίες μοντέλων που στο παρελθόν δεν είχαν κατανοηθεί, εξεταστεί και οριστεί από τους φιλοσόφους της επιστήμης, δηλαδή των μοντέλων φυσικών διατάξεων που εντάσσονται στην ευρύτερη κατηγορία των μοντέλων αναλογίας, κρίνεται ικανή να αποδώσει σφαιρικότερα τον ρόλο του επιστημονικού μοντέλου και της ομοιότητας στη σύγχρονη επιστήμη.

Η εκτεταμένη αξιοποίηση ενός ευρέος φάσματος επιστημονικών μοντέλων σε έναν διαρκώς αυξανόμενο αριθμό επιστημονικών πεδίων, εγείρει πολλά ερωτήματα αναφορικά με την αποσπασματική κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης ενώ, ταυτόχρονα, αναδεικνύει τη σημασία της συστηματικότερης και επαρκέστερης προσέγγισης των εννοιών αυτών που θα οδηγήσει σ' έναν σαφέστερο ορισμό, σε μια καλύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων που παρέχουν στη σύγχρονη επιστήμη και κατ' επέκταση σε μια ακόμα πιο αποτελεσματική πειραματική εφαρμογή τους.

Μία πιθανή αιτία της αποσπασματικής κατανόησης των δυο αυτών υπό εξέταση εννοιών στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, εντοπίζεται στην απουσία συστηματικής μελέτης της ιστορικής εξέλιξης της κατανόησής και της αξιοποίησής τους. Η ιστορική διερεύνηση της εννοιοδότησης και εφαρμογής των τεχνικών αυτών είναι σημαντική για διάφορους λόγους. Η ιστορία της επιστήμης συνδέεται με τη φιλοσοφία της επιστήμης. Η ιστορία της επιστήμης παρέχει τη δυνατότητα περιγραφής και παρουσίασης των ιστορικών πλαισίων μέσα στα οποία εμφανίστηκαν, εξελίχθηκαν, κατανοήθηκαν και ορίστηκαν οι υπό διερεύνηση έννοιες. Δεν συμβάλλει απλά στην καταγραφή θεωριών ή την παρουσίαση της εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης γενικότερα, αλλά τοποθετεί τις θεωρίες σε συγκεκριμένα ιστορικά πλαίσια που διαμορφώνονται από διάφορες συνθήκες (κοινωνικές, θρησκευτικές, οικονομικές, εκπαιδευτικές, συνθήκες σχετικές με τη διανοητική δραστηριότητα και την επιστημονική μεθοδολογία της κάθε περιόδου) και συμβάλλει στην κατανόησή τους μέσα σε αυτά τα συγκεκριμένα πλαίσια. Αποδεχόμενοι την άποψη του Imre Lakatos, κατά την οποία «Η φιλοσοφία της επιστήμης χωρίς την ιστορία της επιστήμης είναι

κενή και η ιστορία της επιστήμης χωρίς τη φιλοσοφία της επιστήμης είναι τυφλή», στη συγκεκριμένη έρευνα επιδιώκεται η ιστορικοφιλοσοφική προσέγγιση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου (Lakatos 1971, p. 91· Ariew, 1986: 77-78).

Σε αυτό το πλαίσιο, προέκυψαν δύο βασικά ερευνητικά ερωτήματα. Το πρώτο ερώτημα είναι «ποια είναι η ιστορική εξέλιξη των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου αλλά και της πειραματικής τους αξιοποίησης από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα;» και το δεύτερο ερώτημα είναι «ποια είναι η εξέλιξη της κατανόησης και της εννοιοδότησης του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης;». Με την ισχυρή πεποίθηση κατά την οποία η μελέτη της ιστορικής εξέλιξης μίας επιστημονικής τεχνικής είναι ικανή να συμβάλλει στη σφαιρικότερη κατανόηση της, στην πολύπλευρη προσέγγισή της και στην κατανόηση του ρόλου και των δυνατοτήτων που παρέχει στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία, στην παρούσα διατριβή επιδιώκεται να καλυφθεί ως έναν βαθμό το υπάρχον αυτό κενό αναφορικά με τις έννοιες της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου. Επιδιώκεται, δηλαδή, η ιστορική ανασκόπηση των δυο αυτών εννοιών και των αντίστοιχων τεχνικών από τις αρχές της αξιοποίησης τους στο πλαίσιο της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας μέχρι την εφαρμογή τους στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία.

Τοιουτοτρόπως, συγκεντρώθηκαν και παρουσιάστηκαν σημαντικές πληροφορίες αφενός αναφορικά με τον τρόπο της εφαρμογής τους και αφετέρου αναφορικά με την εξέλιξη της κατανόησης τους από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, εστιάζοντας σε παραδείγματα που κρίθηκαν ως αντιπροσωπευτικά για την κάθε ιστορική περίοδο. Η σημασία της μελέτης της ιστορίας των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου, όπως αναφέρθηκε, δεν περιορίζεται στη συγκέντρωση μεμονωμένων πληροφοριών, αντιθέτως οι λόγοι που οδηγούν σε αυτήν είναι καθοριστικοί για την κατανόηση των εννοιών αυτών. Όπως κρίνεται σημαντικό, για παράδειγμα, για έναν επιστήμονα, να γνωρίζει πως ξεκίνησε η ανθρώπινη διανοητική δραστηριότητα, από ποια στάδια πέρασε και ποιες θεωρίες καθόρισαν την πορεία της και τη μορφή της μέχρι σήμερα, αντιστοίχως και η κατανόηση της ιστορικής εξέλιξης της ομοιότητας και του μοντέλου μπορεί να αποκαλύψει σημαντικές πτυχές και να σκιαγραφήσει την ταυτότητα των τεχνικών αυτών με αποτέλεσμα ο ερευνητής που προτίθεται να τις αξιοποιήσει να γνωρίζει ποιες δυνατότητες του παρέχουν και κατ' επέκταση να μπορεί να τις

κατανοήσει και να τις χρησιμοποιεί με τον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο. Βάσει των ανωτέρω, αναδεικνύεται η σημασία της διερεύνησης και της παρουσίασης της ιστορικής εξέλιξης της ομοιότητας και του μοντέλου και πιο συγκεκριμένα της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων, που αποτελεί μία από τις βασικές επιδιώξεις της παρούσας διατριβής.

Επίσης, η ιστορική μελέτη της εξέλιξης της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας δείχνει ότι η επιστήμη και η επιστημονική σκέψη εξελίσσονται σε σημαντικό βαθμό μέσω της διαδοχής θεωριών αναφορικά με ένα συγκεκριμένο υπό εξέταση κάθε φορά ζήτημα· μέσω, δηλαδή, μίας διαδικασίας κατά την οποία η μια θεωρία διαδέχεται την προηγούμενη ασκώντας της κριτική, συμπληρώνοντάς την, διορθώνοντάς την, επεκτείνοντάς την, επαναπροσδιορίζοντας συγκεκριμένες πτυχές της ή ακόμα και απορρίπτοντάς κάποιες άλλες (Καναβούρας και συν, 2021). Κατά τη διαδικασία αυτή αναδεικνύονται και οι πιο άρτιες, ισχυρές, καινοτόμες θεωρίες, οι οποίες, στηριζόμενες σε ισχυρή επιχειρηματολογία, καλύπτουν σημαντικά κενά και σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνουν να αλλάξουν και τον ίδιο τον τρόπο αντιμετώπισης του υπό εξέταση ζητήματος και να υποδείξουν τη νέα κατεύθυνση στην οποία θα πρέπει να στραφεί μελλοντικά η έρευνα, αναφορικά με αυτό. Υπό αυτούς τους όρους, στη συγκεκριμένη διατριβή υποστηρίζεται ότι η επιχειρηματολογία που διατυπώνεται στη θεωρία της Sterrett, την τοποθετεί ανάμεσα στους πιο σημαντικούς σταθμούς εξέλιξης των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, δίνοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα επέκτασης ή συμπλήρωσής της καθώς έχει επιτύχει σε σημαντικό βαθμό να παρουσιάσει τα γνωστικά κενά που υφίστανται στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης αναφορικά με τις συγκεκριμένες έννοιες και κατ' επέκταση την ανάγκη συστηματικότερης εξέτασης τους προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις από εκπροσώπους του εν λόγω πεδίου. Σε αυτό το σημείο προκύπτουν ορισμένα ερωτήματα, όπως «ποιες υπήρξαν οι σημαντικότερες συμβολές της θεωρίας της Sterrett αναφορικά με τις έννοιες της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου;» και κατ' επέκταση «ποιες συμβολές της Sterrett τοποθετούν τη θεωρία της ανάμεσα στις σημαντικότερες προσπάθειες εννοιοδότησης των εννοιών του μοντέλου και της ομοιότητας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης;». Άλλο ερώτημα που εξετάζεται είναι «εάν εντοπίζονται παραλείψεις ή ανεπάρκειες στην θεώρηση της Sterrett». Επίσης, στην περίπτωση που υπάρχουν παραλείψεις ή ανεπάρκειες «με ποιόν τρόπο μπορούν να ξεπεραστούν;». Μέσω της απάντησης αυτών

των ερωτημάτων στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, υποστηρίχθηκε ότι η προσέγγιση της Sterrett αποτελεί θεωρία σταθμό στην φιλοσοφική διερεύνηση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου και κρίνεται σημαντική η κριτική προσέγγισή της και η συνέχεια του διαλόγου που η Sterrett ξεκίνησε, ιδιαίτερα δεδομένου του ότι δεν έχει εντοπιστεί άλλη αντίστοιχη έρευνα που να διερευνά τις δυο αυτές έννοιες με επίκεντρο τη δική της προσέγγιση.

Αφενός, λοιπόν, ο γενικότερος προβληματισμός αναφορικά με την αποσπασματική κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης και αφετέρου η μελέτη της προσέγγισης της Sterrett, που φαίνεται να καλύπτει αρκετά κενά και να θέτει την προσέγγιση των εννοιών αυτών σε νέες βάσεις στο εν λόγω πεδίο, ανέδειξαν τη σημασία μίας συστηματικότερης και εκτενέστερης διερεύνησης του συγκεκριμένου ζητήματος και οδήγησαν στην επιλογή του στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής.

Αντιλαμβανόμενοι, λοιπόν, τη σημασία της αποσαφήνισης των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου, επιδιώκεται η εξέταση της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού λειτουργίας του επιστημονικού μοντέλου, ως του μηχανισμού εκείνου που συνδέει το επιστημονικό μοντέλο με το τμήμα της πραγματικότητας που αναπαριστά, με επίκεντρο τη φιλοσοφική σκέψη της Sterrett. Επίσης, διερευνώνται τα περιθώρια κριτικής και επέκτασης της θεωρίας της φιλοσόφου σε σχέση με συγκεκριμένα ζητήματα, όπως την έννοια και τις μορφές της ομοιότητας στην πειραματική πρακτική, την έννοια και την κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων αλλά και το ζήτημα επιλογής κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ του επιστημονικού μοντέλου και του συστήματος που αυτό αναπαριστά.

Ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά ερωτήματα που εξετάζονται στην παρούσα διατριβή είναι «βάσει τι είδους κριτηρίων πρέπει να εντοπίζεται και να επικυρώνεται η ομοιότητα μεταξύ του επιστημονικού μοντέλου και του υπό εξέταση συστήματος;». Στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, δεδομένου ότι μέχρι περίπου τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα η πλειοψηφία των φιλοσόφων δεν αποδεχόταν ως επιστημονικές τεχνικές τα μοντέλα αναλογίας, των οποίων βασικός μηχανισμός λειτουργίας είναι η ομοιότητα, το συγκεκριμένο ζήτημα δεν έχει εξεταστεί επαρκώς ενώ συχνά εκφράζεται η άποψη κατά την οποία η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση συστήματος ορίζεται ή είναι αποδεκτό να ορίζεται εμπειρικά βάσει των γνώσεων και των επιλογών του ερευνητή. Η άποψη αυτή έχει εκφραστεί ως έναν βαθμό και από τη Sterrett. Εδώ,

βέβαια, προκύπτουν δύο εύλογα ερωτήματα. Εάν τα κριτήρια που θα επιλεγούν εμπειρικά δεν είναι κατάλληλα, τι θα συμβεί; Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα της πειραματικής εφαρμογής του μοντέλου δε θα είναι τα επιδιωκόμενα και δε θα εξυπηρετούν τους σκοπούς της έρευνας. Επίσης, μπορεί ένα μοντέλο, εν τέλει, να γίνει αποδεκτό ως επιστημονική τεχνική όταν η ομοιότητα του με το υπό εξέταση φυσικό σύστημα έχει οριστεί εμπειρικά ή κατά προσέγγιση; Από αυτά τα ζητήματα που αποτελούν κεντρικούς θεματικούς άξονες αυτής της έρευνας αλλά και από το ζήτημα που ανέδειξε και η Sterrett αναφορικά με τη σχέση της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου προέκυψε η υπό έλεγχο ερευνητική υπόθεση της παρούσας διατριβής, κατά την οποία **«Ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας του επιστημονικού μοντέλου αναλογίας είναι η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση συστήματος, η οποία θα πρέπει να ορίζεται βάσει αυστηρών επιστημονικών κριτηρίων προκειμένου αφενός να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική αξιοποίηση του μοντέλου και αφετέρου να επικυρώνεται η επιστημονική του φύση»**. Η συγκεκριμένη υπόθεση αποτελεί σημαντικό ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης προκειμένου αφενός να τεκμηριωθεί θεωρητικά ότι ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων, και κυρίως των μοντέλων αναλογίας, είναι η ομοιότητα και αφετέρου να συζητηθεί και ενδεχομένως να αντικρουστεί με τεκμηριωμένο τρόπο η άποψη, που συχνά συναντάται στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, κατά την οποία τα εμπειρικά κριτήρια εντοπισμού της ομοιότητας μεταξύ ενός υπό εξέταση συστήματος και του μοντέλου που το αναπαριστά επαρκούν για τον προσδιορισμό αυτής. Η υποστήριξη της άποψης αυτής από κάποιους φιλοσόφους της επιστήμης, και ως έναν βαθμό και από τη Sterrett, έρχεται σε αντίθεση με την πειραματική πρακτική των φυσικών επιστημών, των επιστημών της μηχανικής αλλά και άλλων επιστημονικών πεδίων, κατά την οποία, η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του υπό εξέταση συστήματος συχνά επικυρώνεται βάσει επιστημονικών ή μαθηματικών κριτηρίων, όπως για παράδειγμα μέσω της αξιοποίησης συγκεκριμένων νόμων ή αρχών ομοιότητας ή εξισώσεων. Υπό αυτούς τους όρους, η επιλογή κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση συστήματος δε βασίζεται αποκλειστικά στις γνώσεις και τη διορατική αξιοποίηση αυτών από τον εκάστοτε ερευνητή αλλά σε πολλές περιπτώσεις βασίζεται σε αυστηρές μαθηματικές μεθόδους,

η αξιοποίηση των οποίων προσδίδει αντικειμενικότητα, αυστηρότητα και επιστημονική αξία στο επιστημονικό μοντέλο.

Η έρευνα διεξήχθη σε τρία στάδια. Ξεκίνησε από την αναζήτηση της υπάρχουσας γνώσης περί την ομοιότητα και τα επιστημονικά μοντέλα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, συνεχίστηκε στην κριτική προσέγγιση της θεωρίας της Sterrett και ολοκληρώθηκε με συγκεκριμένες προτάσεις που κρίθηκε ότι συμβάλλουν στην επαρκέστερη κατανόηση των υπό εξέταση εννοιών στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, αναφορικά με ζητήματα στα οποία η θεώρηση της Sterrett δε φαίνεται να απαντά ή για τα οποία διατυπώνεται μια διαφορετική άποψη από εκείνη της φιλοσόφου. Οι βασικοί στόχοι της έρευνας κατ' αντιστοιχία με τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα και την υπό έλεγχο υπόθεση είναι πέντε. Σημαντικός στόχος είναι η ιστορική ανασκόπηση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα αλλά και η παρουσίαση της εξέλιξης της κατανόησης των εννοιών αυτών στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Η σημασία διερεύνησης του συγκεκριμένου ζητήματος συνοψίζεται σε δύο σημεία. Αφενός, κρίνεται ότι η ιστορική ανασκόπηση των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου θα συμβάλλει στη συγκέντρωση και οργάνωση της υπάρχουσας γνώσης αναφορικά με αυτές τις έννοιες, υπό το πρίσμα της υπό έλεγχο ερευνητικής υπόθεσης της διατριβής. Αφετέρου, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η μελέτη της ιστορίας της κατανόησης και της αξιοποίησης μιας επιστημονικής τεχνικής είναι ικανή να συμβάλλει στην επαρκέστερη θεωρητική τεκμηρίωσή της, στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας, των δυνατοτήτων πειραματικής εφαρμογής της και κατ' επέκταση στον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο εφαρμογής της.

Ένας άλλος σημαντικός στόχος της έρευνας είναι η κριτική προσέγγιση συγκεκριμένων πτυχών της θεώρησης της Sterrett, όπως της προσέγγισης των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου, της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας, της επιχειρηματολογίας της υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων φυσικών διατάξεων, των σταδίων κατασκευής και λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας, του ζητήματος ύπαρξης απόλυτης ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και υπό εξέταση συστήματος και της πρότασης κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων από τη φιλόσοφο. Κρίνοντας ότι η προσέγγιση της Sterrett βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου και άνοιξε νέους δρόμους αναφορικά με την έρευνα των δυο αντίστοιχων τεχνικών στο πεδίο της

φιλοσοφίας της επιστήμης, η ανάδειξη της θεωρίας της και η κριτική προσέγγιση αυτής θα συμβάλλουν στην επαρκέστερη κατανόηση των ίδιων των εννοιών, στην γνωστοποίηση της συμβολής της Sterrett αναφορικά με την κατανόησή τους στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης αλλά και στη συνέχιση του διαλόγου που η ίδια ξεκίνησε.

Άλλη βασική επιδίωξη της παρούσας έρευνας είναι η διατύπωση ορισμού της έννοιας του μοντέλου, η οποία να ανταποκρίνεται σε όλα τα υπάρχοντα είδη επιστημονικών μοντέλων, και η διατύπωση πρότασης κατηγοριοποίησης των μοντέλων σε συγκεκριμένες βασικές κατηγορίες, συνεχίζοντας την προσπάθεια θεωρητικής τεκμηρίωσης και εννοιοδότησης της σημαντικής αυτής επιστημονικής τεχνικής που ξεκίνησε η Sterrett. Άλλος σημαντικός στόχος είναι η διερεύνηση μεθόδων ή εργαλείων που θα μπορούν να συμβάλλουν σε έναν αντικειμενικότερο τρόπο προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ των δυο συστημάτων και κατ' επέκταση να περιορίσουν την πιθανότητα επιλογής ή κατασκευής ακατάλληλου μοντέλου, η αξιοποίηση του οποίου είναι πιθανόν να οδηγήσει σε μη επιθυμητά, επισφαλή ή ακόμα και εσφαλμένα αποτελέσματα.

Κατά το πρώτο στάδιο της έρευνας διερευνήθηκαν ορισμένα σημαντικά επιμέρους ερωτήματα αναφορικά με την εννοιοδότηση της ομοιότητας και του μοντέλου αλλά και την ιστορική εξέλιξη των τεχνικών αυτών από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Σημαντικό ερώτημα που εξετάστηκε στο πρώτο κεφάλαιο είναι: πώς γίνεται κατανοητή η έννοια της ομοιότητας σε διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς; Προκειμένου να απαντηθεί το συγκεκριμένο ερώτημα, προσεγγίστηκε θεωρητικά η έννοια της ομοιότητας μέσω τεσσάρων ορισμών, προερχόμενων από τη φιλοσοφία, τη γεωμετρία, τη φυσική και τις επιστήμες της μηχανικής. Δεύτερο σημαντικό ερώτημα που εξετάστηκε είναι: ποια είναι τα εξελικτικά στάδια εννοιοδότησης και αξιοποίησης της ομοιότητας σε διαφορετικά χωροχρονικά πλαίσια, διαμορφωμένα από τις αντίστοιχες ιστορικές, θρησκευτικές, κοινωνικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθοδολογίας των διαφορετικών αυτών περιόδων; Στο πλαίσιο αυτού του προβληματισμού προέκυψαν άλλα δύο ερωτήματα: πότε και υπό ποιες συνθήκες σημειώθηκε η μετάβαση από την «τεχνοκρατική» αξιοποίηση της ομοιότητας (η οποία αποσκοπεί κυρίως στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων), στη θεωρητική τεκμηρίωση και στη συστηματική αξιοποίησή της ως σημαντικού επιστημονικού μεθοδολογικού εργαλείου; Ποια υπήρξε η επίδραση της επιστημονικής επανάστασης



και των ιδεών του Διαφωτισμού στην εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας και στην αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας ως πειραματικής τεχνικής της μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών; Στο πρώτο κεφάλαιο συμπεριλήφθηκε η ιστορική ανασκόπηση της έννοιας και της αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας, από την οποία προέκυψε η διάκριση πέντε εξελικτικών σταδίων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα παράλληλα με την εξέλιξη της επιστήμης. Επίσης, διερευνήθηκαν οι σημαντικότερες μεταβάσεις στην εξέλιξη της έννοιας και της αξιοποίησης της ομοιότητας στην πειραματική πρακτική.

Επιπροσθέτως, στο πρώτο κεφάλαιο διερευνήθηκε η έννοια και η αξιοποίηση του επιστημονικού μοντέλου. Σημαντικά ερωτήματα που προέκυψαν είναι: πώς αντιλαμβάνονται οι σύγχρονοι φιλόσοφοι της επιστήμης την έννοια του επιστημονικού μοντέλου; Σε ποιον βαθμό έχουν επιτύχει να ορίσουν το μοντέλο, να ερμηνεύσουν τη λειτουργία του επιστημονικού μοντέλου ως εργαλείου περιγραφής και κατανόησης του κόσμου και να αναγνωρίσουν τον ρόλο του στην επιστημονική πρακτική; Έχουν καταφέρει να τεκμηριώσουν θεωρητικά την τεχνική αυτή; Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που εξετάζεται επίσης είναι για ποιόν λόγο τα μοντέλα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης πειραματικής μεθοδολογίας. Ποιες δυνατότητες, δηλαδή, παρέχουν, ποιες ερευνητικές ανάγκες εξυπηρετούν που άλλες τεχνικές δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν; Το πιο σημαντικό ερώτημα που προέκυψε κατά τη διερεύνηση της έννοιας του μοντέλου είναι εάν θα μπορούσε να διατυπωθεί ορισμός που να ανταποκρίνεται σε όλα τα είδη επιστημονικών μοντέλων.

Προκειμένου να απαντηθούν όλα αυτά τα σημαντικά ερωτήματα, προσεγγίστηκε θεωρητικά η έννοια του επιστημονικού μοντέλου, παρουσιάστηκαν οι βασικές αντιλήψεις της έννοιας που προέρχονται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, αναπτύχθηκαν οι λόγοι που καθιστούν σημαντική την αξιοποίηση των μοντέλων κατά την πειραματική πρακτική και επιδιώχθηκε η διατύπωση ορισμού της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου που να ανταποκρίνεται σε όλα τα είδη μοντέλων και να μην περιορίζεται μόνο στην αναπαραστατική λειτουργία της τεχνικής αυτής.

Επίσης, εξετάστηκε η ιστορική εξέλιξη της τεχνικής του μοντέλου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Διερευνήθηκαν οι λόγοι που οδήγησαν στη συστηματική ένταξη των επιστημονικών μοντέλων στην επιστημονική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών μετά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, δηλαδή οι συνθήκες και οι παράγοντες που οδήγησαν στην άμεση υιοθέτηση, την ανάπτυξη και την επέκταση της αξιοποίησής τους μετά τον

Αιώνα των Φώτων. Επιπλέον, διερευνήθηκαν οι λόγοι που οδήγησαν στην εκτενέστερη αξιοποίηση της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου από τις φυσικές επιστήμες εν συγκρίσει με την προσέγγιση των εννοιών αυτών από εκπροσώπους του πεδίου της φιλοσοφίας της επιστήμης, αλλά και ο ρόλος των φυσικών επιστημών και της φιλοσοφίας της επιστήμης στην κατανόηση, τη θεωρητική τεκμηρίωση και την αξιοποίηση των μοντέλων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο προσεγγίστηκε κριτικά η θεωρία της Sterrett. Παρουσιάστηκαν βιογραφικά στοιχεία της φιλοσόφου, οι σπουδές, τα ερευνητικά της ενδιαφέροντα, η αρθρογραφία της αλλά και η απήχηση της αρθρογραφίας της ως δευτερογενούς πηγής. Επίσης, προσεγγίστηκε κριτικά η θεώρηση της Sterrett αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας, την έννοια του μοντέλου καθώς και η καινοτόμος πρόταση κατηγοριοποίησης των μοντέλων σε δύο ευρείες κατηγορίες. Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που διερευνήθηκε είναι σε ποιο κριτήριο πρέπει να επικεντρωθούν οι σύγχρονοι επιστήμονες και φιλόσοφοι προκειμένου να διακρίνουν τις βασικές κατηγορίες επιστημονικών μοντέλων, στις οποίες θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν όλα τα είδη μοντέλων. Ποια κατηγοριοποίηση θα μπορούσε να επιτύχει μια σαφή ταξινόμηση κάθε μοντέλου σε μία μόνο κατηγορία; Σε αυτό το πλαίσιο, επιλέχθηκε διαφορετικό κριτήριο κατηγοριοποίησης από εκείνο που είχε επιλέξει η Sterrett και βάσει αυτού προτάθηκε μια κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες.

Ένα επιπλέον σημαντικό ερευνητικό ερώτημα που επιδιώχθηκε να απαντηθεί στο δεύτερο κεφάλαιο είναι εάν τα μοντέλα κλίμακας αποτελούν και πρέπει να γίνονται αποδεκτά ως επίσημες επιστημονικές τεχνικές. Το ζήτημα αυτό διερευνήθηκε μέσω της παρουσίασης της επιχειρηματολογίας της φιλοσόφου, η οποία επικεντρώνεται στο πώς εμπλέκονται η θεωρία, οι νόμοι και οι αρχές στην κατασκευή και τη λειτουργία των μοντέλων κλίμακας. Άλλο ερώτημα που εξετάστηκε είναι πώς πρέπει να ορίζονται τα κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας κατά την πειραματική εφαρμογή των μοντέλων αναλογίας. Στο πλαίσιο εξέτασης αυτού του ζητήματος η Sterrett, παρόλο που παρουσιάζει τρεις τρόπους επιλογής κριτηρίων προσδιορισμού ομοιότητας, η ίδια εκφράζει την άποψη κατά την οποία η διορατική χρήση των γνώσεων του ερευνητή συχνά αρκεί για τον ορισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων. Το συγκεκριμένο ζήτημα αποτέλεσε ένα από τα βασικά σημεία κριτικής στη θεώρησή της και κατ'

επέκταση ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας.

Άλλα ερωτήματα που εξετάστηκαν είναι: πώς λειτουργεί ο μηχανισμός της ομοιότητας ως μηχανισμός κλίμακας από το μοντέλο στην πραγματικότητα και ποια είναι τα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση των μοντέλων κλίμακας; Τέλος, διερευνήθηκε η ενδιαφέρουσα προσέγγιση της φιλοσόφου αναφορικά με το εάν η αντιγραφή ενός φυσικού συστήματος ή η αναπαραγωγή ενός φυσικού φαινομένου συνιστά ομοιότητα. Μέσω του συγκεκριμένου κεφαλαίου επιδιώχθηκε η σφαιρική παρουσίαση των βασικών θέσεων, επιχειρημάτων και καινοτόμων προτάσεων της Sterrett αναφορικά με σημαντικές πτυχές της έννοιας και της αξιοποίησης της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού κλίμακας από το μοντέλο στην πραγματικότητα αλλά και ο έλεγχος της επάρκειας της θεωρίας της. Στο δεύτερο κεφάλαιο, δηλαδή, συζητήθηκαν οι απαντήσεις που προκύπτουν από τη θεώρηση της Sterrett για τα ανωτέρω ερωτήματα ενώ παράλληλα σε ορισμένα σημεία επιδιώχθηκε η συμπλήρωση ή επέκταση των επιχειρημάτων της και ο εντοπισμός ορισμένων ζητημάτων που η φιλόσοφος δεν έχει εξετάσει. Επιπλέον, διερευνήθηκε η συνολική επάρκεια της θεωρίας της φιλοσόφου αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας και την πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε δύο ευρείες κατηγορίες.

Στο τρίτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκαν σημαντικά ζητήματα, τα οποία η Sterrett δε φαίνεται να έχει διερευνήσει. Συγκεκριμένα μέσω της επιχειρηματολογίας που αναπτύσσεται στο τρίτο κεφάλαιο επικυρώνεται η ερευνητική υπόθεση της παρούσας διατριβής ενώ ταυτόχρονα επιδιώκεται η απάντηση σε πέντε σημαντικά ερευνητικά ερωτήματα. Βάσει της θεώρησης της Sterrett, η ομοιότητα γίνεται αντιληπτή ως μηχανισμός κλίμακας μεταξύ δυο διαφορετικών συστημάτων, φαινομένων ή φυσικών διατάξεων, υπό το πρίσμα της ίδιας υπόθεσης. Σε αυτό το σημείο προέκυψε το ερώτημα: τι είδους ομοιότητα υφίσταται, εντοπίζεται και οδηγεί σε συμπεράσματα για διαφορετικές κλίμακες του ίδιου φαινομένου ή του ίδιου συστήματος; Τι είδους ομοιότητα υφίσταται μεταξύ ενός υποσυστήματος, δηλαδή του μέρους, και όλου του συστήματος, δηλαδή του όλου;

Το δεύτερο ερώτημα που εξετάζεται προέκυψε από τη θέση της Sterrett κατά την οποία αρκετές φορές η μερική γνώση του υπό εξέταση συστήματος και η διορατική διαχείριση της γνώσης αυτής από τον ερευνητή, αρκούν για τον προσδιορισμό κριτηρίων ομοιότητας. Σε αυτό το σημείο προέκυψε το ερώτημα εάν αποτελεί ασφαλή

τρόπο προσδιορισμού της ομοιότητας η επιλογή κριτηρίων βάσει των γνώσεων ή των μεθοδολογικών επιλογών του εκάστοτε ερευνητή. Επίσης, σε αυτό το κεφάλαιο διερευνάται η ύπαρξη κάποιου παραδείγματος μεθοδολογίας ή εργαλείου ικανού να αυστηροποιήσει τα κριτήρια εντοπισμού και αξιοποίησης της ομοιότητας κατά την εξέταση δύο ή περισσότερων συστημάτων, στο γενικότερο πλαίσιο ελέγχου του δεύτερου σκέλους της ερευνητικής υπόθεσης της διατριβής, κατά το οποίο η ομοιότητα ανάμεσα στο επιστημονικό μοντέλο και στο υπό εξέταση σύστημα, θα πρέπει, όταν είναι εφικτό, να επικυρώνεται βάσει αυστηρών επιστημονικών κριτηρίων.

Στο τρίτο κεφάλαιο επιδιώχθηκε η εξέταση αυτών των σημαντικών ζητημάτων που δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης μέχρι σήμερα. Συγκεκριμένα, διασαφηνίστηκε ακόμα περισσότερο η έννοια της ομοιότητας μέσω της αποδοχής και παρουσίασης μιας ενδιαφέρουσας πρότασης για τη διάκριση της ομοιότητας σε δύο επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με το εάν εξετάζουμε την ομοιότητα μεταξύ δύο διαφορετικών φαινομένων ή συστημάτων ή την ομοιότητα μεταξύ του μέρους και του όλου του ίδιου συστήματος ή φαινομένου (Καναβούρας και συν, 2021: 212-213) και την παρουσίαση ενός εργαλείου ικανού να επιτύχει την αυστηροποίηση των κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων ενός φαινομένου, των Κουτελιέρη και Καναβούρα (Καναβούρας και συν, 2021: 212-213· Coutelieris, F. A. et al., 2016(a): Vol.36(4), 2241-2245· Coutelieris, F. A. and Kanavouras A., 2018: 81-95). Επίσης, παρουσιάστηκε πρόταση διαμόρφωσης συγκεκριμένου εργαλείου ως επέκτασης του πιλοτικά δοκιμασμένου εργαλείου των Κουτελιέρη και Καναβούρα (Καναβούρας και συν, 2021: 212-213· Coutelieris, F. A. et al., 2016(a): Vol.36(4), 2241-2245· Coutelieris, F. A. and Kanavouras A., 2018: 81-95) με σκοπό την αξιοποίησή του για την αυστηροποίηση των κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ διαφορετικών φαινομένων ή συστημάτων, την κατηγοριοποίηση της γνώσης αλλά και τον εντοπισμό πιθανών γνωστικών κενών αναφορικά με τα υπό εξέταση φαινόμενα.

Η βασική μεθοδολογία διεξαγωγής της παρούσας διατριβής υπήρξε η βιβλιογραφική αποδελτίωση και ανάλυση. Ήδη μέσω της παρουσίασης των ερευνητικών ερωτημάτων και της διατύπωσης της υπόθεσης της έρευνας, γίνονται αντιληπτά τα επιστημονικά πεδία στα οποία εμπίπτει η συγκεκριμένη έρευνα, η μορφή και ο τύπος της καθώς και τα στάδια μεθοδολογίας που αξιοποιήθηκαν για την εκπόνησή της. Αρχικά, η έρευνα τοποθετείται στα πεδία της ιστορίας και φιλοσοφίας

της επιστήμης και εντάσσεται στην κατηγορία των βασικών ερευνών καθώς κατά το μεγαλύτερο μέρος της πραγματοποιήθηκε αναζήτηση, μελέτη και κριτική προσέγγιση της ιστορικής εξέλιξης των υπό εξέταση εννοιών και των σημαντικότερων θεωριών με επίκεντρο τη θεωρία της Sterrett. Ως προς τον τύπο έρευνας εντάσσεται στις αναλυτικές έρευνες, καθώς βασική επιδίωξη υπήρξε η έρευνα, αξιολόγηση και κριτική παρουσίαση διαθέσιμων θεωριών και η ανασκευή υφιστάμενης γνώσης με σκοπό την ερμηνεία σύνθετων ζητημάτων. Εκτός από την επισκόπηση και την κριτική ανάλυση, η επιδίωξη παρουσίασης αλλά και διαμόρφωσης μεθοδολογικών προσεγγίσεων και εργαλείων στο υπό διερεύνηση γνωστικό πεδίο. Επομένως, πλην της κριτικής προσέγγισης των ιστορικών μελετών και των φιλοσοφικών θεωριών που συνέβαλαν σημαντικά στον έλεγχο των ερευνητικών ερωτημάτων και της υπόθεσης, βασική επιδίωξη αποτέλεσε και η πρόταση διαμόρφωσης εργαλείου ικανού να ενισχύσει την προσπάθεια αποδοχής ή διάψευσης της υπόθεσης.

Η καινοτομία του παρόντος εγχειρήματος συνοψίζεται στα ακόλουθα σημεία. Πρώτη συμβολή της συγκεκριμένης έρευνας είναι η διάκριση των πέντε εξελικτικών σταδίων της έννοιας και της αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Σημαντική προσθήκη αποτελεί και η επιχειρηματολογία αναφορικά με το πρώτο επιστημονικό μοντέλο που έχει εντοπιστεί μέχρι σήμερα, που σύμφωνα με την παρούσα προσέγγιση είναι ο κύκλος των πετρών στην περιοχή της Nabta Playa στην έρημο Νουβία. Κατ' αντιστοιχία με την ιστορική ανασκόπηση της έννοιας της ομοιότητας, σημαντική είναι και η ιστορική ανασκόπηση της αξιοποίησης του μοντέλου, με χρήση αντιπροσωπευτικών παραδειγμάτων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα καθώς παρουσιάζει τον διαφορετικό τρόπο κατανόησης και πειραματικής αξιοποίησης του μοντέλου σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους. Καινοτόμο στοιχείο αποτελεί και η διατύπωση ορισμού για την έννοια του επιστημονικού μοντέλου που να ανταποκρίνεται σε όλα τα είδη μοντέλων χωρίς να εστιάζει μόνο στην αναπαραστατική του λειτουργία καθώς και η πρόταση κατηγοριοποίησης μοντέλων βάσει της φύσης του ίδιου του μοντέλου σε πέντε βασικές κατηγορίες με σκοπό τη σαφή τοποθέτηση κάθε είδους μοντέλου σε μία και μόνο κατηγορία αλλά και την τοποθέτηση όλων των ειδών μοντέλων στις πέντε προτεινόμενες κατηγορίες.

Η βασικότερη συμβολή του παρόντος εγχειρήματος συνοψίζεται στην ανάδειξη και στην κριτική προσέγγιση μιας ιδιαίτερα καινοτόμου και ριζοσπαστικής για το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης θεωρίας, της θεωρίας της Sterrett αλλά και στην προσπάθεια

συμπλήρωσης και αναθεώρησης ορισμένων πτυχών αυτής με σκοπό την ενίσχυση της κατανόησής τους στο εν λόγω πεδίο. Συγκεκριμένα, σημαντική υπήρξε η ανάδειξη της σημασίας και η κριτική προσέγγιση της θεωρίας της Sterrett αναφορικά τις έννοιες της ομοιότητας και του μοντέλου στη φιλοσοφία της επιστήμης, τον ρόλο της ερευνητικής υπόθεσης κατά τον ορισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων, την επιχειρηματολογία της υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας, τα κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και συστήματος στόχου, τα στάδια λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας κατά την πιραματική αξιοποίησή τους και την διερεύνηση του ζητήματος ύπαρξης απόλυτης ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και υπό εξέταση συστήματος.

Επίσης, προσθήκη στη θεώρηση της Sterrett αποτέλεσε η αναφορά στη διάκριση της ομοιότητας σε δυο συγκεκριμένες επιμέρους μορφές από τους Καναβούρα, Θεολόγου και Κουτελιέρη (Καναβούρας και συν, 2021: 212-213). Η προσθήκη αυτή κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική καθώς αναδεικνύει συγκεκριμένες δυνατότητες που παρέχει η αξιοποίηση της ομοιότητας κατά την προσπάθεια κατάκτησης της γνώσης των φαινομένων, οι οποίες δεν είναι ευδιάκριτες από τις πρώτες προσεγγίσεις την έννοιας της ομοιότητας. Βάσει της διάκρισης των δυο επιμέρους μορφών τις ομοιότητας προέκυψε ορισμός, ο οποίος ανταποκρίνεται και στις δύο αυτές μορφές της ομοιότητας, αποσαφηνίζοντας περισσότερο την έννοια της ομοιότητας. Σημαντική προσθήκη που προκύπτει από την παρούσα έρευνα και συνηγορεί υπέρ της επικύρωσης της ερευνητικής υπόθεσης της παρούσας διατριβής, αποτελεί και η επιχειρηματολογία υπέρ της αξιοποίησης αυστηρών μαθηματικών κριτηρίων κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας των υπό εξέταση φυσικών φαινομένων. Η επιχειρηματολογία αυτή στηρίζεται σε σημαντικό βαθμό στην περιγραφή του παραδείγματος συγκεκριμένου εργαλείου που επιτρέπει τον προσδιορισμό της ομοιότητας από μια κλίμακα ενός φαινομένου ή συστήματος σε μια άλλη κλίμακα του φαινομένου ή του συστήματος αυτού, που έχει προταθεί από τους Κουτελιέρη και Καναβούρα (Coutelieris, F. A. et al., 2016(a): Vol.36(4), 2241-2245· Coutelieris, F A. and Kanavouras A., 2018: 81-95· Καναβούρας και συν, 2021: 212-213), αλλά και από τη διατύπωση πρότασης επέκτασής του σε νέο εργαλείο η αξιοποίηση του οποίου θα αποσκοπεί στον προσδιορισμό της ομοιότητας μεταξύ μιας ομάδας φαινομένων, με αυστηρά μαθηματικά κριτήρια.

## **Μέρος πρώτο: Θεωρητικά ζητήματα**

### **Κεφάλαιο πρώτο: Η εννοιολόγηση και η ιστορική ανασκόπηση της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου**

#### **1.1 Ομοιότητα: θεωρητική προσέγγιση της έννοιας**

Η έννοια της ομοιότητας έχει διερευνηθεί από σημαντικούς φιλοσόφους και επιστήμονες που δραστηριοποιήθηκαν σε διαφορετικά επιστημονικά πεδία, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Στην αρχαιότητα οι Πυθαγόρειοι φιλόσοφοι, ο Θαλής ο Μιλήσιος, ο Ευκλείδης και ο Αριστοτέλης αντιλήφθηκαν την έννοια της ομοιότητας και την ενέταξαν στην πειραματική τους μεθοδολογία προκειμένου να κατανοήσουν, να περιγράψουν και να εξηγήσουν τον φυσικό κόσμο. Κατά την περίοδο της Αναγέννησης ο Γαλιλαίος πραγματοποίησε πλήθος νοητών αλλά και φυσικών πειραμάτων, βασιζόμενος στην αξιοποίηση των όμοιων συστημάτων, τα οποία αργότερα όρισε ο Νεύτωνας στο 2<sup>ο</sup> βιβλίο της *Principia* εστιάζοντας στην αναλογία μεταξύ φυσικών ποσοτήτων (Sterrett, 2017(b): 382). Η έννοια της ομοιότητας των φυσικών συστημάτων, όπως γίνεται αντιληπτή σήμερα, δεν είχε οριστεί μέχρι τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, όταν το 1914 ο Edgar Buckingham όρισε τα φυσικά όμοια συστήματα εστιάζοντας στην αναλογία των σχέσεων μεταξύ φυσικών ποσοτήτων. Από τα μέσα περίπου του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα, η ομοιότητα συνδέεται άρρηκτα με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και προσεγγίζεται συχνά κατά την προσπάθεια ορισμού της έννοιας του μοντέλου από πολλούς φιλοσόφους της επιστήμης, όπως για παράδειγμα από τη Mary Hesse, τη Margaret C. Morrison και τη Susan G. Sterrett.

Οι συγκεκριμένοι φιλόσοφοι και επιστήμονες αποτελούν ορισμένα μόνο παραδείγματα κορυφαίων διανοητών που αντιλήφθηκαν και εξέτασαν την έννοια της ομοιότητας, αλλά και επιδίωξαν να την ορίζουν και να την αξιοποιήσουν στο πλαίσιο της επιστημονικής τους μεθοδολογίας. Η έννοια της ομοιότητας συνεχίζει να κατέχει σημαντική θέση στη σύγχρονη επιστήμη καθώς αποτελεί έναν σημαντικό μηχανισμό που αξιοποιείται κατά την κατασκευή και πειραματική αξιοποίηση της διαδομένης τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου. Στο πλαίσιο αυτό, ο μηχανισμός της ομοιότητας χρησιμοποιείται ευρέως κατά τον σχεδιασμό πειραμάτων στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών. Επίσης, οι προσεγγίσεις της έννοιας της ομοιότητας από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία 60 χρόνια, κατά τα οποία παρατηρείται μια σταδιακή στροφή των

φιλοσόφων της επιστήμης στη διερεύνηση όχι μόνο των θεωρητικών δομών αλλά και των πειραματικών τεχνικών που γίνονται πλέον αποδεκτές ως επίσημες επιστημονικές μέθοδοι. Όπως είναι αναμενόμενο, το πλήθος των προσεγγίσεων της έννοιας της ομοιότητας έχει ως αποτέλεσμα ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών ορισμών, προσαρμοσμένων στις ανάγκες των εκάστοτε επιστημονικών πεδίων. Στην προσπάθεια μίας πρώτης προσέγγισης της έννοιας της ομοιότητας παρατίθενται τέσσερις ευρέως αποδεκτοί ορισμοί, οι οποίοι προέρχονται από τα πεδία της φιλοσοφίας, της γεωμετρίας, της φυσικής και της μηχανικής και ορίζουν την ομοιότητα από διαφορετική οπτική.

Στο πεδίο της φιλοσοφίας, η ομοιότητα ορίζεται ως η ύπαρξη μιας κοινής, όμοιας ή ανάλογης ιδιότητας ή χαρακτηριστικού μεταξύ δύο ή περισσότερων αντικειμένων, όπως για παράδειγμα η αναλογία ως προς το χρώμα ή την απόχρωση δύο ή περισσότερων αντικειμένων (Sterrett, 2017(b): 384-386· Sterrett, 2010: 799-801· Grigoriadou et al., 2019: 178· Grigoriadou et all, 2021: 100). Ο ορισμός αυτός πιθανόν να θεωρηθεί γενικός. Ωστόσο, ακριβώς αυτό το χαρακτηριστικό του δίνει τη δυνατότητα να ανταποκρίνεται στην περιγραφή του μηχανισμού της ομοιότητας ανεξάρτητα από το πεδίο εφαρμογής του. Σε αυτό το σημείο εντοπίζεται και η σημασία της φιλοσοφικής διερεύνησης επιστημονικών τεχνικών ή των μηχανισμών λειτουργίας τους, όπως του μηχανισμού της ομοιότητας, καθώς μέσω αυτής μπορεί να επιτευχθεί μια προσέγγιση, η οποία να περιγράφει και να ορίζει τις τεχνικές αυτές κατά τρόπο ικανό να ανταποκρίνεται σε οποιαδήποτε εφαρμογή τους από οποιοδήποτε πεδίο. Αυτό οφείλεται σε μια βασική διαφορά ανάμεσα στη διερεύνηση των εννοιών αυτών στη φιλοσοφία της επιστήμης εν συγκρίσει με τη διατύπωση ορισμών προερχόμενων από τα πεδία, για παράδειγμα, των φυσικών επιστημών. Σύμφωνα με τον John Losee, ένα από τα αντικείμενα της φιλοσοφίας της επιστήμης είναι η ανάλυση των επιστημονικών μεθόδων ενώ της επιστήμης η ερμηνεία των γεγονότων (Losee, 1993: 13). Υπό αυτούς τους όρους, οι εκπρόσωποι του πεδίου της φιλοσοφίας της επιστήμης επιδιώκουν την αναζήτηση και κατάκτηση της γνώσης αναφορικά με τις ίδιες τις επιστημονικές τεχνικές ή τους μηχανισμούς, ενώ οι εκπρόσωποι των πεδίων των φυσικών, για παράδειγμα, επιστημών εστιάζουν, κυρίως, στον εντοπισμό του καταλληλότερου και αποτελεσματικότερου τρόπου εφαρμογής τους που θα οδηγήσει στην κατάκτηση της γνώσης για τον φυσικό κόσμο. Στη φιλοσοφία της επιστήμης, η έννοια της ομοιότητας ή του επιστημονικού μοντέλου αντιμετωπίζονται ως αντικείμενα διερεύνησης και



επιδιώκεται η οριοθέτηση, εννοιοδότηση, η κατανόησή τους ενώ στις φυσικές επιστήμες, στην ιατρική ακόμα και στις οικονομικές και κοινωνικές επιστήμες οι τεχνικές αυτές αντιμετωπίζονται και κατ' επέκταση ορίζονται ως μέσα που αξιοποιούνται για τη διερεύνηση των εκάστοτε υπό εξέταση φαινομένων υπό το πρίσμα συγκεκριμένων υπό έλεγχο ερευνητικών υποθέσεων. Η φιλοσοφία της επιστήμης παρέχει τη δυνατότητα διαμόρφωσης του θεωρητικού πλαισίου, στο οποίο εντάσσονται οι υπό εξέταση τεχνικές και μηχανισμοί και συμβάλλει στη διαμόρφωση θεωρητικού υποβάθρου για τις αντίστοιχες έννοιες κατά τρόπο κατανοητό από ερευνητές διαφορετικών επιστημονικών πεδίων. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα των φιλοσοφικών προσεγγίσεων αναφορικά με επιστημονικές τεχνικές και μηχανισμούς, το ότι δίνουν, δηλαδή, τη δυνατότητα διατύπωσης ορισμών με γενική ισχύ, εν συγκρίσει με ορισμούς προερχόμενους από άλλα πεδία, οι οποίοι είναι πιο εξειδικευμένοι, συνήθως ανταποκρίνονται στις ανάγκες του εκάστοτε πεδίου και συμβάλλουν στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των εν λόγω τεχνικών για την κατάκτηση της γνώσης του κόσμου.

Στη γεωμετρία η ομοιότητα αποδίδεται ως η ίση ή ανάλογη διάσταση, η ίση απόσταση μεταξύ δύο σημείων, δηλαδή η αναλογία συγκεκριμένων γραμμικών τμημάτων. Για παράδειγμα όταν η απόσταση μεταξύ σημείων  $X$  και  $\Psi$  ενός σχήματος  $A$  είναι ίση με την απόσταση  $X_1$  και  $\Psi_1$  ενός σχήματος  $B$ , τότε τα σχήματα  $A$  και  $B$  είναι γεωμετρικά όμοια ως προς αυτή την απόσταση (Sterrett, 2010: 799-801). Ο γεωμετρικός ορισμός είναι πιο συγκεκριμένος από τον φιλοσοφικό ορισμό της ομοιότητας και αξιοποιείται εκτός από την ίδια τη γεωμετρία σε διάφορα πεδία της μηχανικής (Sterrett, 2017b: 384-386· Sterrett, 2010: 799-801· Grigoriadou et al., 2019: 178· Grigoriadou et al., 2021: 100).

Στη φυσική, ομοιότητα θεωρείται η αναλογία μεταξύ συγκεκριμένων σχέσεων συγκεκριμένων φυσικών ποσοτήτων δύο ή περισσότερων φυσικών συστημάτων (Sterrett, 2017(b): 384-386· Sterrett, 2010: 799-801· Grigoriadou et al., 2019: 178· Grigoriadou et al., 2021: 100). Σε αυτή την περίπτωση η ομοιότητα αναφέρεται σε σχέσεις φυσικών ποσοτήτων και όχι διαστάσεων ή ιδιοτήτων. Στις επιστήμες της μηχανικής, η ομοιότητα γίνεται αντιληπτή ως ένας μηχανισμός που λειτουργεί με βάση ένα σύνολο κανόνων, νόμων, αρχών ή μαθηματικών σχέσεων που αξιοποιούνται από την πειραματική τεχνική των μοντέλων αναλογίας, κατά τη διαδικασία επιλογής ή κατασκευής του μοντέλου και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας επέκτασης των

συμπερασμάτων από το μοντέλο στο φαινόμενο, αντικείμενο ή σύστημα του ενδιαφέροντος (Sterrett, 2002: 56-58· Sterrett, 2006: 69-80· Grigoriadou et al., 2019: 178· Grigoriadou et al., 2021: 100). Κοινός τόπος των διαφορετικών αυτών προσεγγίσεων της έννοιας της ομοιότητας είναι ο εντοπισμός μίας συγκεκριμένης αναλογίας μεταξύ ιδιοτήτων στη φιλοσοφία, φυσικών διαστάσεων στη γεωμετρία, φυσικών ποσοτήτων ή σχέσεων φυσικών ποσοτήτων στη φυσική και αναλογίας διαστάσεων και φυσικών ποσοτήτων στις επιστήμες της μηχανικής (Grigoriadou et al., 2019: 178· Grigoriadou et al., 2021: 100). Η έννοια της ομοιότητας, όπως επισήμανε η σύγχρονη φιλόσοφος της επιστήμης Susan G. Sterrett, συνδέεται με την έννοια της αναλογίας και στις περισσότερες περιπτώσεις ορίζεται βάσει αυτής (Sterrett, 2010: 799-782).

Επιπροσθέτως, η έννοια της ομοιότητας συνδέεται με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου, καθώς ο μηχανισμός της ομοιότητας αποτελεί τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων. Τα επιστημονικά μοντέλα επιλέγονται, επινοούνται ή κατασκευάζονται βάσει μίας συγκεκριμένης και σαφώς προσδιορισμένης ομοιότητάς τους με κάποιο τμήμα του πραγματικού κόσμου που οι ερευνητές επιθυμούν να εξετάσουν, το οποίο συχνά στη βιβλιογραφία της φιλοσοφίας της επιστήμης αναφέρεται ως «σύστημα στόχος» (Frigg, and Nguyen, 2017: 49-51· Frigg, and Hartmann, 2020). Οι ερευνητές, έχοντας προσδιορίσει την ομοιότητα μεταξύ των δύο συστημάτων, προχωρούν στην πειραματική εφαρμογή του μοντέλου και στη συνέχεια μελετούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτήν με σκοπό την περιγραφή, την εξήγηση ή την πρόβλεψη αναφορικά με το σύστημα στόχο. Η τόσο στενή σχέση των εννοιών του μοντέλου και της ομοιότητας επιβεβαιώνεται και από τις προσπάθειες ορισμού της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου που προέρχονται κυρίως από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και τοποθετούνται χρονικά από το 1920 έως σήμερα. Παρατηρείται ότι στην πλειοψηφία των θεωρητικών προσεγγίσεων της έννοιας του μοντέλου κυρίως μετά το 1950 αναγνωρίζεται η ομοιότητα ή κατά πολλούς η αναλογία ως βασικός μηχανισμός κατασκευής και λειτουργίας τους (βλ. κεφ. 1.3).

Έχοντας ως βασική επιδίωξη την ενίσχυση της κατανόησης της έννοιας και της αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας και θεωρώντας ότι η ιστορική εξέλιξη κάθε επιστημονικής μεθοδολογίας είναι ικανή να παρουσιάσει ιδιαίτερες πτυχές της αλλά κυρίως τη διαδικασία μέσα από την οποία η τεχνική αυτή κατέληξε στη σύγχρονη

μορφή της, στη συνέχεια επιδιώκεται ο προσδιορισμός των σταδίων εξέλιξης της έννοιας της ομοιότητας σε αντιστοιχία με τα εξελικτικά στάδια της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα.

## **1.2 Ιστορική ανασκόπηση της έννοιας**

### ***Τα εξελικτικά στάδια της εννοιολόγησης και αξιοποίησης της ομοιότητας ως πειραματικής τεχνικής***

Η έννοια της ομοιότητας χαρακτηρίζεται από μια μακρά ιστορική εξέλιξη, η οποία εκτυλίσσεται παράλληλα με την ιστορική εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης από την αρχαιότητα έως σήμερα. Ένας σημαντικός αριθμός φιλοσόφων και επιστημόνων που προέρχονται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, έχουν προσεγγίσει την έννοια της ομοιότητας, γεγονός που οδηγεί σε ένα ευρύ φάσμα ορισμών. Το πλήθος και το εύρος των ορισμών της ομοιότητας ορισμένες φορές δυσχεραίνουν την κατανόηση της έννοιας, του ρόλου του μηχανισμού της ομοιότητας στην επιστημονική μεθοδολογία και τον προσδιορισμό των επιστημονικών τομέων στους οποίους θα μπορούσε να αξιοποιηθεί. Η ιστορική ανασκόπηση της έννοιας της ομοιότητας, δηλαδή η εξέταση των διαφορετικών σημασιών που έλαβε καθώς και ο προσδιορισμός των διαφορετικών τρόπων αξιοποίησής της ως μεθοδολογικού εργαλείου σε διαφορετικές εποχές της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας, είναι ικανή να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση της έννοιας και στη διαμόρφωση μίας σφαιρικότερης αντίληψης αυτής. Σε αυτό το πλαίσιο, διερευνάται και η ύπαρξη συγκεκριμένων διακριτών σταδίων εξέλιξης της έννοιας της ομοιότητας μέσα στη μακρά ιστορία της.

Σημαντικά ερωτήματα που προέκυψαν και διερευνώνται είναι: πότε εντοπίζεται για πρώτη φορά η έννοια της ομοιότητας στην επιστημονική δραστηριότητα και πώς αξιοποιείται, πότε αρχίζει να αξιοποιείται στο πεδίο των φυσικών επιστημών, πότε και υπό ποιες συνθήκες παρατηρείται η μετάβαση από την «τεχνοκρατική» αξιοποίηση της ομοιότητας, που αποσκοπεί κυρίως στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων, στη θεωρητική τεκμηρίωση, στη συνειδητή και συστηματική αξιοποίησή της ως σημαντικού επιστημονικού μεθοδολογικού μηχανισμού; Άλλο σημαντικό ερώτημα που προκύπτει είναι εάν υπήρξε κάποια συγκεκριμένη περίοδος που ευνόησε την ανάπτυξη και την αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας περισσότερο από άλλες ιστορικές περιόδους και γιατί. Προκειμένου να διερευνηθούν αυτά τα ζητήματα εξετάζονται οι θεωρητικές προσεγγίσεις και η πειραματική αξιοποίηση της ομοιότητας

σε διαφορετικά χωρικά και χρονικά πλαίσια, που διαμορφώνονται από τις αντίστοιχες ιστορικές, θεσμικές, θρησκευτικές και κοινωνικές συνθήκες καθώς και από τα χαρακτηριστικά της επιστημονικής μεθοδολογίας των διαφορετικών αυτών περιόδων.

Όπως προέκυψε από τη διερεύνηση της ιστορίας της έννοιας της ομοιότητας, χρειάστηκε να περάσουν αιώνες προκειμένου να εξελιχθεί η έννοια και να αποκτήσει το σύγχρονο νόημά της κυρίως μέσα στην επιστημονική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών. Μέσα σε αυτή τη μακρά ιστορική εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας διακρίνουμε τα εξής πέντε στάδια (Grigoriadou et al., 2021: 100-119):

- Το αιγυπτιακό στάδιο που αντιστοιχεί σε έναν γενικευμένο τρόπο αξιοποίησης της ομοιότητας, επιτρέποντας στους αρχαίους Αιγύπτιους να πραγματοποιήσουν διάφορα επιτεύγματα στην αρχιτεκτονική, την ιατρική και τα μαθηματικά.
- Το στάδιο της κλασικής εποχής, δηλαδή της εποχής της γένεσης της επιστήμης και της φυσικής φιλοσοφίας, όταν η έννοια της ομοιότητας εμφανίστηκε στη φιλοσοφία, στα μαθηματικά, στη μουσική, στη γεωμετρία και απέκτησε σημαντική μεθοδολογική σημασία.
- Το τρίτο στάδιο τοποθετείται στην εποχή του Μεσαίωνα και αντιστοιχεί στο στάδιο απουσίας του μηχανισμού της ομοιότητας από την επιστημονική μεθοδολογία της περιόδου αυτής, η οποία στο μεγαλύτερο μέρος της χαρακτηρίζεται από την απουσία πειραματικών τεχνικών ή μηχανισμών και επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στη συγκέντρωση, στη μετάφραση και στον σχολιασμό αρχαίων ελληνικών και λατινικών κειμένων.
- Το στάδιο της κατανόησης και αξιοποίησης της ομοιότητας στις φυσικές επιστήμες (16ος-19ος αιώνας) που συμπίπτει με την εμφάνιση της νέας επιστήμης. Κατά το στάδιο αυτό η έννοια της ομοιότητας απέκτησε νέα σημασία, αυτή τη φορά ως μεθοδολογική ιδέα των όμοιων συστημάτων που εξέφρασε κυρίως ο Γαλιλαίος, ο οποίος φαίνεται ότι ήταν ο πρώτος που αντιλήφθηκε την ιδέα όμοιων συστημάτων και τη χρησιμοποίησε εκτενώς στην πειραματική μεθοδολογία του, ενώ ο πρώτος ορισμός προέρχεται από τον Νεύτωνα.
- Το πέμπτο στάδιο αντιστοιχεί στην περίοδο από τον 19<sup>ο</sup> αι. έως σήμερα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ο μηχανισμός ομοιότητας έχει γίνει αποδεκτός στο πεδίο των φυσικών επιστημών, η αξιοποίησή του

επεκτείνεται και σε άλλους τομείς ενώ η έννοια της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων έχει εξεταστεί και οριστεί από σημαντικό αριθμό σύγχρονων επιστημόνων και φιλοσόφων (βλ. εν. 1.2.6 και κεφ. 2).

Πριν προχωρήσουμε στην αναλυτική εξέταση των σταδίων εξέλιξης της ομοιότητας θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρά το εύρος των προσεγγίσεων της έννοιας της ομοιότητας, η εξέταση της ιστορικής της εξέλιξης αποκαλύπτει ότι η ομοιότητα συνδέεται κυρίως με τις φυσικές επιστήμες κατά τη διάρκεια των περισσότερων αν όχι όλων των εξελικτικών της σταδίων. Οι φυσικές επιστήμες έχουν διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην κατανόηση και τον ορισμό των εννοιών της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων αλλά και στη χρήση του μηχανισμού ομοιότητας ως τεχνικής πειραματικής μεθοδολογίας, ειδικά μετά τον 17ο αιώνα. Μια θεωρία που μπορεί να αιτιολογήσει τη σημαντικά εκτεταμένη χρήση του μηχανισμού ομοιότητας στον τομέα των φυσικών επιστημών σε σύγκριση με άλλα επιστημονικά πεδία, είναι η θεωρία του ντετερμινισμού, σύμφωνα με την οποία όλα όσα συμβαίνουν στον φυσικό κόσμο καθορίζονται πλήρως από προϋπάρχουσες αιτίες, οι οποίες οδηγούν πάντα στο ίδιο αποτέλεσμα (Earman, 1999: 319-320) (βλ. κεφ. 1.4). Σε αυτό το πλαίσιο, η χρήση του μηχανισμού ομοιότητας πιθανώς να θεωρήθηκε πιο ασφαλής, αποτελεσματική και ενδεχομένως κατάλληλη κατά την περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων παρά για παράδειγμα των κοινωνικών φαινομένων.

### **1.2.1 Η ομοιότητα ως πρακτική τεχνική πριν την επιστήμη**

Οι προϊστορικοί λαοί που τοποθετούνται χρονικά πριν το 3.200 π.Χ., που εντοπίζονται οι ρίζες της επιστήμης στην Αίγυπτο, κατάφεραν να αναπτύξουν μια συνεχώς αυξανόμενη τεχνογνωσία έχοντας ως βασική επιδίωξη την επιβίωση και την εξασφάλιση του καλύτερου δυνατού τρόπου διαβίωσης (Lindberg, 2003: 6-7). Σε ένα πρώτο στάδιο οι προϊστορικοί άνθρωποι έμαθαν να ανάβουν φωτιά, να επεξεργάζονται μέταλλα και να κατασκευάζουν εργαλεία, να συλλέγουν καρπούς, να ξεχωρίζουν τα δηλητηριώδη φυτά από τα θεραπευτικά βότανα, να κυνηγούν και να ψαρεύουν (Lindberg, 2003: 6-7· Ingold, 2000· Gregersen: <https://www.britannica.com/story/history-of-technology-timeline>). Παρατήρησαν ότι αξιοποιώντας με όμοιο τρόπο δυο πέτρες μπορούν να ανάψουν φωτιά, η οποία τους ζεσταίνει ή τους βοηθά να μαγειρέψουν την τροφή τους. Επίσης, ήταν σε θέση να διακρίνουν ποια υλικά ήταν κατάλληλα για την κατασκευή των εργαλείων τους

(Farrington, 1989: 20-24). Έτσι κάθε φορά που επιθυμούσαν να κατασκευάσουν ένα εργαλείο με συγκεκριμένες όμοιες ιδιότητες, για συγκεκριμένη χρήση επέλεξαν τα κατάλληλα υλικά και ακολουθούσαν όμοια διαδικασία κατασκευής του εργαλείου αυτού. Οι προϊστορικοί άνθρωποι μέσα από την επαφή τους με τον φυσικό κόσμο έμαθαν να αναγνωρίζουν βασικές συμπεριφορές των ζώων και χαρακτηριστικά των φυτών, γεγονός που τους επέτρεπε να κυνηγούν και να ψαρεύουν. Ο εντοπισμός των όμοιων χαρακτηριστικών των θεραπευτικών βοτάνων τους έδινε τη δυνατότητα να τα διακρίνουν από τα δηλητηριώδη φυτά, χωρίς να έχουν κάποια εξειδικευμένη γνώση που θα εξηγούσε τις θεραπευτικές ή δηλητηριώδεις αντίστοιχα δράσεις τους (Lindberg, 2003: 6-7).

Μέσα στο πέρασμα των αιώνων ο άνθρωπος επιδόθηκε στην επινόηση και αξιοποίηση ποικίλων τεχνών και τεχνικών. Δεν αρκούσαν πλέον στη συλλογή καρπών από τη φύση ή στην εξασφάλιση του κρέατος από το κυνήγι, αλλά ανέπτυξε τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Πέρασε, δηλαδή, από το στάδιο της συλλογής στο στάδιο της παραγωγής, των απαραίτητων για την επιβίωσή του αγαθών (Farrington, 1989: 24-25· Ingold, 2000). Επιπλέον, ανέπτυξε τέχνες όπως την αγγειοπλαστική, την ξυλουργική, την υφαντική και την κατεργασία μετάλλων (Lindberg, 2003: 6). Η ανάπτυξη αυτών των τεχνών και τεχνικών προϋποθέτει τον εντοπισμό της ομοιότητας των χαρακτηριστικών διαφόρων υλικών, των συμπεριφορών των ζώων και των φυτών. Ο προϊστορικός άνθρωπος βάσει των ανωτέρω φαίνεται ότι στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό στην ομοιότητα χαρακτηριστικών, ιδιοτήτων και συμπεριφορών των οργανισμών, των αντικειμένων και των φαινομένων του φυσικού κόσμου, ώστε να υιοθετήσει ένα σύνολο εμπειρικών κανόνων ικανών να συμβάλλουν στην επιβίωσή του και την επίλυση πρακτικών προβλημάτων.

Κατά την προϊστορία, λοιπόν, η ομοιότητα θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια πρακτική τεχνική που υιοθετήθηκε από τον άνθρωπο συνειδητά ή μη, στο πλαίσιο της αλληλεπίδρασής του με τον φυσικό κόσμο και συνέβαλλε στη διαμόρφωση εμπειρικών κανόνων, η υιοθέτηση των οποίων υπήρξε σημαντική για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων. Η τεχνογνωσία, όμως, είναι δυνατή και χωρίς τη θεωρητική γνώση και οι εμπειρικοί κανόνες μπορούν σε ορισμένες περιπτώσεις να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά και χωρίς την κατανόηση των θεωρητικών αρχών που βρίσκονται πίσω αυτές (Lindberg, 2003: 7· Jorgensen, 2012: 91-94). Σε αυτό το πλαίσιο, οι προϊστορικοί άνθρωποι ήταν σε θέση να αξιοποιήσουν την ομοιότητα των

φαινομένων, των αντικειμένων ή των καταστάσεων του φυσικού κόσμου, δεν ήταν, όμως, σε θέση να τεκμηριώσουν θεωρητικά την έννοια της ομοιότητας και να αιτιολογήσουν την αξιοποίησή της. Επομένως, κατά την προϊστορία μπορούμε να μιλήσουμε για μια τεχνοκρατική αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας στο πλαίσιο της προσπάθειας επιβίωσης και κάλυψης των πρακτικών αναγκών του ανθρώπου. Δεν μπορούμε, όμως, να εντάξουμε το στάδιο αυτό στα βασικά εξελικτικά στάδια της αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας ως επιστημονικού μεθοδολογικού εργαλείου.

### **1.2.2 Οι απαρχές της ομοιότητας στην αρχαία Αίγυπτο**

Οι απαρχές της επιστήμης τοποθετούνται από αρκετούς ιστορικούς της επιστήμης στην αρχαία Αίγυπτο περί το 3200 π.Χ.. Οι Αιγύπτιοι ασχολήθηκαν συστηματικά με τους τομείς των Μαθηματικών, της Αστρονομίας και της Ιατρικής, θέτοντας τις βάσεις για τη μετέπειτα ανάπτυξη των επιστημονικών αυτών τομέων (Lindberg, 2003: 19). Παραδείγματα αξιοποίησης της ομοιότητας εντοπίζονται στην Αιγυπτιακή γεωμετρία και ιατρική.

Η Αιγυπτιακή γεωμετρία αναπτύχθηκε κατά κύριο λόγο προκειμένου να συμβάλλει στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων χωρομετρικής και οικοδομικής φύσης (Lindberg, 2003: 20). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η οικοδόμηση των πυραμίδων της Γκίζας που οδηγεί στο εύλογο ερώτημα: πώς κατάφεραν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι να κατασκευάσουν πυραμίδες ανάλογες ως προς το σχήμα, διαφορετικών, όμως, διαστάσεων; Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι υπολόγιζαν το εμβαδόν επίπεδων σχημάτων, όπως του τριγώνου και τον όγκο στέρεων, όπως της πυραμίδας. Για να υπολογίσουν τον όγκο μίας πυραμίδας πολλαπλασίαζαν το  $\frac{1}{3}$  του εμβαδού της βάσης επί το ύψος (Lindberg, 2003: 20· Heath, 1921: 122-123). Υποθέτουμε, λοιπόν, ότι κατά τον σχεδιασμό των πυραμίδων προέβαιναν σε μαθηματικούς υπολογισμούς που τους επέτρεπαν να εξασφαλίσουν τη γεωμετρική ομοιότητα μεταξύ των διαφορετικών πυραμίδων (Grigoriadou et al., 2021: 102-104).

Ένα άλλο πεδίο στο οποίο οι αρχαίοι Αιγύπτιοι αξιοποίησαν την ομοιότητα είναι η Ιατρική. Οι Αιγύπτιοι σημείωσαν σημαντικά επιτεύγματα στον τομέα της Ιατρικής, όπως αποδεικνύεται από τους παπύρους των Ebers, Edwin Smith, Hearst και τον Ιατρικό Πάπυρο του Λονδίνου (Lindberg, 2003:26· Nunn, 2002: 24-41). Σε αυτούς του παπύρους γίνεται κατηγοριοποίηση και αναλυτική περιγραφή θεραπευτικών μεθόδων,

τεχνικών και φαρμακευτικών συνταγών για τη θεραπεία ασθενειών, καταγμάτων ή τραυμάτων (Lindberg, 2003: 26· Nunn, 2002: 24-27). Ο πάπυρος του Ebers παρέχει την κατηγοριοποίηση συνταγών και φαρμάκων για διάφορες ασθένειες και συμβουλές υγιεινής σε 110 στήλες (Nunn, 2002: 30-31). Ο πάπυρος του Edwin Smith περιέχει ένα εκτεταμένο κείμενο 48 παραγράφων που περιλαμβάνει την περιγραφή και ταξινόμηση τραυμάτων και καταγμάτων με τη θεραπεία τους (Nunn, 2002: 25-30). Με ποιόν τρόπο, όμως, οι ιατροί συνέταξαν αυτούς τους καταλόγους; Η ομοιότητα συμπτωμάτων ή ιατρικών περιστατικών και οι δοκιμές όμοιων θεραπειών συνέβαλλαν στην περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη ασθενειών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πεποίθηση των αρχαιολόγων κατά την οποία οι αρχαίοι Αιγύπτιοι ιατροί χρησιμοποιούσαν ζώα ως μοντέλα αναλογίας του ανθρώπινου οργανισμού, λόγω κάποιων ομοιοτήτων τους με αυτόν (Grigoriadou et al., 2021: 102-104). Η πεποίθηση αυτή στηρίζεται κυρίως σε τοιχογραφίες μνημείων που απεικονίζουν γιατρούς να εξετάζουν νεκρά ζώα και ενισχύεται από την ανακάλυψη μεγάλου αριθμού μουμιοποιημένων ζώων στη Σαχάρα το 2018 (BBC, 2020: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-50531808>).

Σημαντικότερη πηγή γνώσης για τους αρχαίους Αιγύπτιους υπήρξε η ταρίχευση των ανθρώπινων σωμάτων. Η μελέτη των σωμάτων μέσω της ανατομίας έδωσε τη δυνατότητα στους Αιγύπτιους ιατρούς να γνωρίσουν το ανθρώπινο σώμα, τον σκελετό και τα όργανα λειτουργίας του. Όλα αυτά τα στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα, κατά το οποίο οι αρχαίοι Αιγύπτιοι γιατροί στηρίχθηκαν στην ομοιότητα σε σημαντικό βαθμό τόσο κατά το στάδιο της μελέτης του ανθρώπινου οργανισμού όσο και κατά το στάδιο κατηγοριοποίησης της υπάρχουσας γνώσης σχετικά με αυτόν (Grigoriadou et al., 2021: 102-104).

Δεν γνωρίζουμε εάν η έννοια της ομοιότητας είχε οριστεί στο πλαίσιο της Αιγυπτιακής επιστήμης, μελετώντας, όμως, τα επιτεύγματα της εποχής συμπεραίνουμε ότι η ομοιότητα αξιοποιήθηκε συστηματικά σε ορισμένες περιπτώσεις ως τεχνική κατηγοριοποίησης της γνώσης, ως τεχνική συμβάλλουσα στην περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη του κόσμου, αποσκοπώντας κυρίως στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων (Grigoriadou et al., 2021: 102-104).

### **1.2.3 Οι ρίζες της έννοιας της ομοιότητας κατά την κλασική αρχαιότητα**

Η καταγωγή της σύγχρονης επιστήμης εντοπίζεται στην περίοδο της κλασικής αρχαιότητας κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ο όρος «επιστήμη»



από τον Πλάτωνα και εισήχθη από τον Αριστοτέλη ο όρος «φυσική φιλοσοφία». Ο Πλάτωνας, διέκρινε την επιστήμη από τη δόξα (δόξα (=πεποίθηση) <δοκέω/ δοκῶ (=πιστεύω, σκέφτομαι, υποθέτω)), παρουσιάζοντάς την μέσα από τους διαλόγους του ως μια κατάσταση πιο σημαντική και πιο δύσκολο να επιτευχθεί από τη δόξα, η οποία δεν οδηγεί στο σφάλμα σε αντίθεση με τη δόξα που συχνά οδηγεί (Moss, 2020: 1-6· Grigoriadou et al., 2021: 104-105). Η έννοια της Επιστήμης (episteme) του Πλάτωνα σύμφωνα με πολλούς διανοούμενους σχετίζεται με την έννοια της γνώσης ή σύμφωνα με άλλους αναφέρεται στη διαδικασία της κατανόησης (Liddell and Scott, 1987). Στον Θεαίτητο του Πλάτωνα, η επιστήμη ορίζεται ως η αληθινή πεποίθηση που στηρίζεται σε λογικά επιχειρήματα («ἔστιν οὖν ἐπιστήμη δόξα ἀληθῆς μετὰ λόγου») ενώ στην Πολιτεία ο Πλάτων μέσω του Σωκράτη ισχυρίζεται ότι το αντικείμενο της επιστήμης είναι το «τι είναι» (Moss, 2020: 1-6· Grigoriadou et al., 2021: 104-105). Η αντίληψη της επιστημονικής γνώσης του Πλάτωνα ως διαδικασίας κατανόησης είναι σημαντική, ωστόσο εάν την αποδεχτούμε, βρισκόμαστε μπροστά σε δύο σημαντικά ζητήματα: ποια είναι η πιθανότητα διάδοσης αυτού του είδους της γνώσης και πόσο σταθερή και αντικειμενική θα μπορούσε να είναι; Η προσέγγιση του μαθητή του Πλάτωνα, Αριστοτέλη ήρθε να λύσει αυτό το πρόβλημα. Ο Αριστοτέλης χαρακτήρισε την επιστήμη ως ένα έγκυρο σύστημα που στηρίζεται σε αντικειμενικές αλήθειες για τις φύσεις ή τις ουσίες των όντων, το οποίο διακρίνεται από την τέχνη (τέχνη, τεχνική, δεξιότητες) που αποτελεί ένα είδος πρακτικής γνώσης που σχετίζεται με αυτό που σήμερα ονομάζουμε τεχνολογία (Moss, 2020: 1-6· Grigoriadou et al., 2021: 104-105). Γενικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο σκοπός της διανοητικής δραστηριότητας της κλασικής εποχής ήταν η διατύπωση θεωριών για την εξήγηση του φυσικού κόσμου αλλά όχι η προσπάθεια αλλαγής του (Grigoriadou et al., 2021: 104-105). Σε αυτό το πλαίσιο, εμφανίστηκε η φυσική φιλοσοφία που εισήχθη από τον Αριστοτέλη. Ο σκοπός των φυσικών φιλόσοφων της κλασικής εποχής δεν ήταν η πρόβλεψη ή ο έλεγχος του φυσικού κόσμου αλλά η κατανόηση, η περιγραφή και η εξήγησή του. Υπό αυτούς τους όρους η φυσική φιλοσοφία ήταν διαφορετική από τη σύγχρονη φυσική επιστήμη αλλά και από κάθε προηγούμενη μορφή διανοητικής δραστηριότητας που αποσκοπούσε στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων.

Μέχρι την περίοδο της κλασικής αρχαιότητας δεν εντοπίζεται κάποια θεωρητική προσέγγιση της έννοια της ομοιότητας. Αυτή την εποχή, όμως, η έννοια της ομοιότητας εξετάστηκε από αρκετούς διανοούμενους και απέκτησε αυξημένη

μεθοδολογική σημασία. Οι ρίζες της έννοιας της ομοιότητας εντοπίζονται στους Πυθαγόρειους Φιλοσόφους, οι οποίοι διέκριναν μια σχέση μεταξύ των ορατών φαινομένων και των μαθηματικών αναλογιών (αριθμητικών λόγων) (Sterrett, 2010: 799). Οι ίδιοι συσχέτισαν ορισμένα μουσικά φαινόμενα με συγκεκριμένες αναλογίες του μήκους τμημάτων μίας χορδής του μουσικού οργάνου της λύρας και πίστευαν ότι οι νότες μπορούν να εκφραστούν με τη χρήση μαθηματικών αναλογιών (Andrew, 2007: 78). Συγκεκριμένα, ο Πυθαγόρας ανακάλυψε τη σχέση ανάμεσα στο μήκος των χορδών και το τονικό ύψους που δίνουν και μέσω μαθηματικών υπολογισμών ανακάλυψε τις μαθηματικές αναλογίες των μουσικών διαστημάτων. Σύμφωνα με τους Πυθαγόρειους, οι αναλογίες αυτές ήταν ίσες με τις αναλογίες των πρώτων αριθμών. Οι αναλογίες που προέκυψαν στη μελέτη της αρμονίας εμφανίστηκαν και σε άλλες μαθηματικές αναπαραστάσεις, όπως στην Τετρακτύ, μια τριγωνική διάταξη δέκα σημείων που αποτελείται από τέσσερις στήλες που περιέχουν ένα, δύο, τρία και τέσσερα σημεία αντίστοιχα (Sterrett, 2010: 799). Η σχέση Τετράδας και Τετρακτύος αναδεικνύεται και από τη σχέση των πρώτων τεσσάρων αριθμών με την δεκάδα, την οποία παράγουν όταν προστεθούν ( $1+2+3+4=10$ ). Από αυτούς τους πρώτους τέσσερις αριθμούς (1, 2, 3, 4), είναι δυνατόν να κατασκευαστούν συγκεκριμένοι αριθμητικοί λόγοι που αναπαριστούν τη σχέση ανάμεσα σε δύο νότες, δηλαδή τα μουσικά διαστήματα, τα οποία πρώτος προσδιόρισε ο Πυθαγόρας. Αυτά τα διαστήματα της μουσικής κλίμακας που ακόμη και τώρα ονομάζονται τέλειες αρμονίες μπορούν να διατυπωθούν αριθμητικά ως αναλογίες μεταξύ των αριθμών 1, 2, 3 και 4. Ο Πυθαγόρας μέσω μίας σειράς πειραμάτων παρατήρησε ότι όταν δύο χορδές έχουν το ίδιο μήκος έχουν το ίδιο τονικό ύψος. Εάν μια χορδή έχει το μισό μήκος μιας άλλης χορδής, το τονικό ύψος της είναι πολύ υψηλότερο, αλλά όταν πάλλονται ταυτόχρονα εξακολουθούν να παράγουν αρμονία. Αυτό το μουσικό διάστημα αναπαρίσταται με τον μαθηματικό λόγο 2:1 και ονομάζεται οκτάβα (diapason (French)<diapason (Latin) < ή διαπασών). Στην περίπτωση που η μια χορδή έχει τα δύο τρίτα του μήκους της άλλης χορδής, όταν πάλλονται ταυτόχρονα παράγουν και πάλι συμφωνία και αυτό το διάστημα αναπαρίσταται από τον αριθμητικό λόγο 3:2 και ονομάζεται διά πέντε ή δι οξείαν (perfect fifth<diapente, sesquialterum (Latin)<διά πέντε ή dioxeia<δι οξείαν). Ένα άλλο Πυθαγόρειο μουσικό διάστημα είναι το 4:3 που ονομάζεται δια τεσσάρων (perfect fourth <Diatessaron, sesquiterium (Latin) <δια τεσσάρων) (Shaw,

2013: 136· Strohmeier and Westbrook, 2004: 74-76· Grigoriadou et al., 2021: 104-106).

Όπως επισημαίνει η Sterrett στο άρθρο της Similarity and Dimensional analysis, οι πυθαγόρειοι πίστευαν ότι οι αριθμοί σχετίζονται και με τα γεωμετρικά σχήματα (Sterrett, 2010: 799). Αυτό οφείλεται στη χρήση ακολουθιών σχημάτων που αναπαριστούν ακέραιους αριθμούς, οι οποίες δημιουργούνται μέσω μίας συγκεκριμένης διαδικασίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο η μονάδα σχετίζεται με το σημείο, η δυάδα με την γραμμή, η τριάδα με το τρίγωνο και η τετράδα ή τετρακτύς με το τετράεδρο (Sterrett, 2010: 799). Τοιουτοτρόπως, σύμφωνα με τη θεωρία των Πυθαγορείων υπήρχε μία γραφική αναπαράσταση για κάθε ακέραιο αριθμό. Επίσης, οι σχέσεις αναλογίας μεταξύ των πλευρών των σχημάτων που απαρτίζουν την ακολουθία συσχετίστηκαν με συγκεκριμένους αριθμούς. Έτσι, η μελέτη της γεωμετρικής ομοιότητας συνδέθηκε αρχικά με τις σχέσεις των ακέραιων αριθμών (Sterrett, 2010: 799). Χαρακτηριστικό παράδειγμα ήταν οι πίνακες των αριθμών που υψώνονται στο τετράγωνο όπως 4, 9, 16 που είχαν λόγους πλευρών αντίστοιχα 2:2, 3:3, 4:4, οι οποίοι ήταν όλοι τετράγωνα και επομένως γεωμετρικά όμοιοι (Heath, 1921: 76-86). Επίσης, οι Πυθαγόρειοι πίστευαν ότι όλα τα φυσικά φαινόμενα θα μπορούσαν να γίνουν αντιληπτά ή να περιγραφούν με όρους αναλογιών ακέραιων αριθμών (Sterrett, 2010: 799).

Στο πεδίο της γεωμετρίας η έννοια της ομοιότητας εντοπίζεται για πρώτη φορά σε θεωρήματα του Θαλή του Μιλήσιου, Έλληνα φιλοσόφου και μαθηματικού. Σύμφωνα με τον Πρόκλο, ο Θαλής ήταν ο πρώτος που απέδειξε ότι η διάμετρος χωρίζει τον κύκλο σε δύο ίσα ημικύκλια (Van Der Waerden, 1975: 87). Επίσης, όπως υποστηρίχθηκε από τον Van Der Waerden, μαθηματικό και ιστορικό των μαθηματικών αλλά και από ορισμένους ιστορικούς της επιστήμης, ο Θαλής διατύπωσε το θεώρημα των όμοιων τριγώνων σύμφωνα με το οποίο: «Δύο τρίγωνα είναι ίσα, όταν έχουν μία πλευρά και τις προσκείμενες σε αυτήν γωνίες ίσες» (Van Der Waerden, 1975: 87· Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, 2019: <https://www.britannica.com/biography/Thales-of-Miletus>). Ο Θαλής ταξίδεψε στην Αίγυπτο και εκπαιδεύτηκε στα μαθηματικά από Αιγύπτιους ιερείς-μαθηματικούς. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ιστορία κατά την οποία ο Θαλής κατάφερε να υπολογίσει το ύψος των πυραμίδων βασιζόμενος στη σκιά τους. Κατά τον Ιερώνυμο, μαθητή του Αριστοτέλη, ο Θαλής παρατήρησε το μήκος της σκιάς των πυραμίδων

ακριβώς εκείνη τη χρονική στιγμή κατά την οποία το ύψος της σκιάς μας είναι ίσο με το πραγματικό μας ύψος. Η ιστορία παρουσιάζεται ελαφρώς διαφορετική από τον Πλούταρχο, ο οποίος σε διάλογο ανάμεσα στον Νικόξενο και τον Θαλή παρουσιάζει τον Νικόξενο να επευφημεί τον Θαλή για το επίτευγμά του να υπολογίσει το μήκος της σκιάς των Αιγυπτιακών πυραμίδων βασιζόμενος στο μήκος της σκιάς τους και της σκιάς μιας ράβδου που είχε βυθίσει στο έδαφος (Heath, 1921: 128-130). Σύμφωνα με αυτή την παραδοχή, ο Θαλής χρησιμοποίησε την αναλογία των πλευρών δύο όμοιων τριγώνων και υπολόγισε το ύψος των πυραμίδων από το μήκος της σκιάς τους και της σκιάς της ράβδου, εντυπωσιάζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το βασιλιά της Αιγύπτου Άμασι (Heath, 1921: 128-130). Το έργο του Θαλή όσον αφορά στην ομοιότητα σχημάτων ή γενικότερα απόστασης μεταξύ δύο σημείων ολοκλήρωσε ο Ευκλείδης, Έλληνας μαθηματικός, ο οποίος μέσω των θεωρημάτων του κατάφερε να συστηματοποιήσει την υπάρχουσα γνώση θέτοντας τις βάσεις για αυτό που μεταγενέστερα ονομάστηκε γεωμετρική ομοιότητα (Sterrett, 2010: 799-800· Grigoriadou et al., 2021: 104-107).

Σημαντική στην εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας υπήρξε η συνεισφορά του Αριστοτέλη, ο οποίος αντιλήφθηκε την έννοια και την αξιοποίησε μεθοδολογικά. Η έννοια της ομοιότητας στη φιλοσοφία του Αριστοτέλη εντοπίζεται στη διάκριση του όντος σε ύλη και μορφή, την οποία όρισε ως το σύνολο των ιδιοτήτων που κάθε ον διαθέτει κοινό με άλλα όντα και το εντάσσει σε μια τάξη όμοιων όντων (Lindberg, 2003: 68-72). Ο Αριστοτέλης αξιοποίησε τη «μορφή» κατά την προσπάθειά του να περιγράψει και να κατηγοριοποιήσει τα είδη των ζώων σε μια σειρά εκτενών ζωολογικών πραγματειών με πιο γνωστή την Περί τα ζώα Ιστορία. Σε αυτή την πραγματεία ο Αριστοτέλης προχώρησε σε προσεκτική ταξινόμηση και περιγραφή 500 ειδών ζώων, τα οποία διέκρινε κυρίως βάσει παραδοσιακών κατατάξεων βασιζόμενων σε πολλαπλά χαρακτηριστικά (Αριστοτέλης, 2017· Αριστοτέλης, 2018· Lindberg, 2003: 88-89· Losee, 1993: 19· Grigoriadou et al., 2021: 107).

Παρατηρούμε ότι κατά την περίοδο της κλασικής αρχαιότητας ο ρόλος της ομοιότητας κατά την προσπάθεια κατανόησης, περιγραφής και εξήγησης του φυσικού κόσμου αρχίζει να γίνεται αντιληπτός παράλληλα με τη γέννηση και την εδραίωση της επιστήμης. Σε αυτό το σημείο προκύπτει εύλογα το ερώτημα εάν το γεγονός αυτό είναι τυχαίο ή εάν η αξιοποίηση της ομοιότητας κατά την προσπάθεια κατανόησης του κόσμου είναι αλληλένδετη με την εμφάνιση της επιστήμης, δηλαδή της

συστηματικής διανοητικής δραστηριότητας που αποσκοπεί στη διερεύνηση, περιγραφή και εξήγηση του κόσμου. Ο συνειδητός και σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. Αριστοτέλης) συστηματικός τρόπος με τον οποίον οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι αξιοποίησαν την ομοιότητα στο πλαίσιο της μεθοδολογίας τους, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ομοιότητα αποτελεί μηχανισμό που συνδέεται άρρηκτα με τη διαδικασία κατάκτησης της γνώσης και τοιουτοτρόπως αιτιολογείται και η εμφάνισή της παράλληλα με την εμφάνιση της επιστήμης. Επομένως, δεν μπορεί να θεωρηθεί τυχαίο το ότι οι αρχές της συνειδητής αξιοποίησης της ομοιότητας συμπίπτουν με τις αρχές της ίδιας της επιστήμης.

Οι Αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι, λοιπόν, ενέτασσαν την ομοιότητα συνειδητά στην επιστημονική τους μεθοδολογία, θέτοντας τις βάσεις για τα επόμενα εξελικτικά της στάδια (Grigoriadou et al., 2021: 108).

#### **1.2.4 Η απουσία του μηχανισμού της ομοιότητας από την ερευνητική μεθοδολογία του Μεσαίωνα (500-1500 μ.Χ.)**

Κατά την περίοδο του Μεσαίωνα, η έρευνα εστίαζε κατά κύριο λόγο στη συγκέντρωση, την οργάνωση και την κριτική της υπάρχουσας θεωρητικής γνώσης της αρχαίας ελληνικής φυσικής φιλοσοφίας, στο πλαίσιο της εξυπηρέτησης των σκοπών της οικουμενικής εκκλησίας (Grant, 2013: 6). Από το 500 έως το 1000 μ.Χ. η πολιτική και κοινωνική αστάθεια οδήγησαν στην κάμψη της Δυτικής επιστήμης (Grant, 2013:1). Βασική επιδίωξη της πλειοψηφίας των διανοούμενων της περιόδου του Μεσαίωνα ήταν η οργάνωση και διάδοση των θεωριών και των συμπερασμάτων της αρχαίας ελληνικής επιστήμης, αλλά όχι της ερευνητικής μεθοδολογίας ή των πειραματικών τεχνικών που αξιοποιούσαν οι αρχαίοι Έλληνες προκειμένου να φτάσουν στη γνώση (Butterfield, 2010: 79-82· Grant, 2013: 6-9· Grant, 2016: 31-39). Μέχρι τον 12<sup>ο</sup> αιώνα η κύρια ενασχόληση των μελετητών επικεντρωνόταν στη μετάφραση, στη συμπλήρωση και στον σχολιασμό των αρχαίων κειμένων συνήθως με μορφή υπομνημάτων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα οι μεταγενέστεροι μελετητές να έρθουν αντιμέτωποι με έναν ασυστηματοποίητο όγκο πληροφοριών (Grant, 2013: 14). Ωστόσο, κατά τον όψιμο μεσαίωνα υπήρχαν μελετητές που πραγματοποιούσαν πειράματα. Αξιοποιούσαν, κατά κύριο λόγο, τα ευρήματά τους προκειμένου να συντάξουν εγκυκλοπαίδειες περιγραφικού χαρακτήρα ή ακόμα και για εκπαιδευτικούς σκοπούς, όχι όμως προκειμένου να δώσουν εξηγήσεις ή να προβούν

σε προβλέψεις σχετικές με τα φυσικά φαινόμενα (Butterfield, 2010: 80-81). Παράδειγμα μελετητή και καθηγητή που φαίνεται ότι αξιοποίησε τον μηχανισμό της ομοιότητας στο πλαίσιο της διδακτικής του δραστηριότητας ήταν ο Πάπας Σουλβέστρος ο Β΄ (946-1003 μ.Χ.), ο οποίος μέσω μελέτης αραβικών πραγματειών συγκέντρωσε πληροφορίες για τον άβακα και τον αστρολάβο, προχώρησε στη συγγραφή δυο δικών του πραγματειών για τα εργαλεία αυτά και θεωρώντας ότι η χρήση οπτικών μέσων συμβάλλει σημαντικά κατά την εκπαιδευτική διαδικασία προχώρησε στην κατασκευή μοντέλων ουράνιων σωμάτων. Συγκεκριμένα κατασκεύασε μια σφαίρα προκειμένου να αναπαραστήσει τις κινήσεις των αστερισμών χρησιμοποιώντας στερεωμένα σύρματα στην επιφάνεια της σφαίρας (Grant, 2013: 21-22).

Κατά συνέπεια η ερευνητική δραστηριότητα του Μεσαίωνα δε χαρακτηριζόταν από οργανωμένο και συστηματικό πειραματισμό. Η περίοδος μέχρι το 1.200 μ.Χ. ήταν μια περίοδος κρίσης των επιστημονικών τεχνικών (Grant, 2013: 8). Οι μηχανισμοί, τα εργαλεία και οι τεχνικές της σύγχρονης επιστημονικής μεθοδολογίας, όπως ο μηχανισμός της ομοιότητας, δεν αξιοποιούνταν από την πλειοψηφία των διανοούμενων. Αναζητώντας τις αιτίες της απουσίας των επιστημονικών τεχνικών και πιο συγκεκριμένα της ομοιότητας από τη διανοητική δραστηριότητα του Μεσαίωνα οδηγούμαστε στον ρόλο της οικουμενικής εκκλησίας και του Χριστιανισμού κατά αυτή την περίοδο. Πριν την περίοδο του Μεσαίωνα και συγκεκριμένα προς τα τέλη της ελληνορωμαϊκής περιόδου, στη Ρωμαϊκή αυτοκρατορία υπήρξε έντονη επιστημονική δραστηριότητα, η οποία συνδεόταν σε σημαντικό βαθμό με την ιδέα της ειδωλολατρικής μάθησης και θρησκείας (Grant, 2013: 4-6). Στις αρχές του Μεσαίωνα η χριστιανική εκκλησία με βασική επιδίωξη τη διασφάλιση της θέσης της, αντιμετώπισε με καχυποψία την προγενέστερη αυτή επιστημονική δραστηριότητα λόγω της σύνδεσής της με την ειδωλολατρία. Στο πλαίσιο αυτό, η οικουμενική εκκλησία κατάφερε να συγκεντρώσει και να στρέψει τους διανοούμενους της εποχής στην υπηρεσία της, είτε στην ιεραποστολή είτε σε μια οργανωτική, δογματική ή θεωρητική πνευματική δραστηριότητα που αποσκοπούσε όχι στην αντικειμενική και επιστημονική κατανόηση των φυσικών φαινομένων αλλά στην εξυπηρέτηση των δικών της σκοπών (Grant, 2013: 4-6). Έτσι, ο πυρήνας των διανοούμενων της εποχής απομακρύνθηκε από την παρατήρηση και το πείραμα που προέτρεπε η αρχαία ελληνική επιστήμη και επικεντρώθηκε σε μια θεωρητική διερεύνηση που απαιτούσε

η οικουμενική εκκλησία, παραμελώντας τις πειραματικές τεχνικές και τους μηχανισμούς.

Στο ευρύτερο αυτό πλαίσιο, υπάρχει ακόμα ένας λόγος που εξηγεί γιατί ο μηχανισμός της ομοιότητας με την έννοια που τον αντιλαμβανόμαστε σήμερα ή ακόμα που τον αντιλαμβάνονταν οι αρχαίοι Έλληνες φυσικοί φιλόσοφοι δεν συναντάται στην περίοδο των σκοτεινών χρόνων και αυτός εντοπίζεται στη θεολογική αντίληψη του κόσμου, κατά την οποία η μόνη οδηγούσα δύναμη του κόσμου είναι το θέλημα του Θεού, το οποίο, όμως, είναι μονοεπίπεδο, στερείται αναλογιών και ομοιοτήτων. Ο άνθρωπος μπορούσε να αγγίξει την ευτυχία και να οδηγηθεί στη σωτηρία μόνο αν απομακρυνόταν από τα πράγματα αυτού του κόσμου και, ακολουθώντας τον λόγο του Θεού, καλλιεργούσε εκείνα του πνευματικού κόσμου. Η έννοια της ομοιότητας στη θεολογική αυτή αντίληψη περιορίζεται μόνο στο κατ' εικόνα και στο κατ' ομοίωση του ανθρώπου με τον Θεό. Οι θεμελιώδεις αυτές επικρατούσες αντιλήψεις κατά τον Μεσαίωνα οδήγησαν στην απομάκρυνση των μελετητών από την πειραματική διερεύνηση του φυσικού κόσμου μέσω της αξιοποίησης πειραματικών μεθόδων, εργαλείων και μηχανισμών, όπως εκείνου της ομοιότητας.

Τον 12<sup>ο</sup> αι. άρχισαν να ιδρύονται τα πρώτα πανεπιστήμια, γεγονός που οδήγησε στην αύξηση των μεταφράσεων, της κριτικής των αρχαίων κειμένων, στην οργάνωση και επέκταση της επιστημονικής γνώσης ενώ ταυτόχρονα η εισροή ελληνικών και αραβικών επιστημονικών πραγματειών οδήγησε στη διαμόρφωση ενός νέου σώματος επιστημονικής γραμματείας (Grant, 2013: 1). Μετά τον 13<sup>ο</sup> αιώνα η Λογική, η Φυσική, η Αστρονομία, η Κοσμολογία και τα Μαθηματικά αποτελούσαν τον πυρήνα της Πανεπιστημιακής εκπαίδευσης (Grant, 2013: 32-33). Την περίοδο αυτή μέσα στους κύκλους των πανεπιστημίων έγινε το πρώτο βήμα για τη μετάβαση στη νέα επιστήμη. Εισήχθη στην ερευνητική διαδικασία η έννοια της υπόθεσης (Grant, 2013: 34-37). Οι ερευνητές κατά τη μελέτη των αρχαίων κειμένων προέβαιναν σε διατύπωση υποθέσεων με μορφή ερωτημάτων που είναι γνωστά με τον όρο «Questiones» και απαντούσαν σε αυτά με μορφή σχολίων (Grant, 2013: 34-37, 139-140). Η εισαγωγή των υποθέσεων στην επιστημονική μέθοδο υπήρξε σημαντική συμβολή της περιόδου του Μεσαίωνα στην εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης και μεθοδολογίας και στη συγκρότηση της νέας επιστήμης, της οποίας από τότε μέχρι σήμερα η ερευνητική υπόθεση αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι. Μετά τον 14<sup>ο</sup> αιώνα

παρατηρείται σταδιακά η εξάπλωση νομιναλιστικών τάσεων και επανεμφανίζεται το δόγμα «σώζειν τα φαινόμενα» (Grant, 2013: 52-56). Αυτά τα δεδομένα σε συνδυασμό με την έντονη κριτική στον Αριστοτελισμό διαμόρφωσαν τη γέφυρα για το επόμενο εξελικτικό στάδιο της επιστημονικής μεθοδολογίας, που άρχισε να αναπτύσσεται κατά την περίοδο της Αναγέννησης (Grigoriadou et al., 2021: 108-109).

### **1.2.5 Η κατανόηση και αξιοποίηση της ομοιότητας στις φυσικές επιστήμες (16<sup>ο</sup>-19<sup>ο</sup> αι.)**

Από την περίοδο της Αναγέννησης και μετά παρατηρήθηκε η αξιοποίηση της ιδέας των όμοιων συστημάτων από ορισμένους επιστήμονες με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον Γαλιλαίο που χαρακτηρίστηκε υπέρμαχος της πειραματικής μεθοδολογίας (Losee, 1993: 86· Wisan, 1984: 269-272). Ο Γαλιλαίος χρησιμοποίησε την ιδέα των όμοιων συστημάτων κατά την προσπάθειά του να εξηγήσει συγκεκριμένες συμπεριφορές μηχανών και γενικότερα δομών με μάζα. Ο Γαλιλαίος δεν εστίασε μόνο στη γεωμετρική ομοιότητα, δηλαδή την ομοιότητα διαστάσεων ή δομών, αλλά ασχολήθηκε και με την αναλογία σχέσεων μεταξύ φυσικών ποσοτήτων. Η σημαντικότερη συνεισφορά του στην εξέλιξη της έννοιας των όμοιων συστημάτων εντοπίζεται στο πείραμα του εκκρεμούς και τον νόμο αντιστοιχίας που προήλθε από αυτό. Ο Γαλιλαίος παρατήρησε ότι οι ποσότητες που καθορίζουν τη συμπεριφορά ενός εκκρεμούς συσχετίζονται μεταξύ τους με μια σταθερή σχέση, που ισχύει για όλα τα εκκρεμή (Grigoriadou et al, 2021: 110). Οι ποσότητες αυτές είναι ο χρόνος ταλάντωσης και το μήκος της χορδής του εκκρεμούς. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του, η τιμή του λόγου που περιλαμβάνει το μήκος της χορδής και τη συχνότητα ταλαντώσεων του εκκρεμούς είναι σταθερή και ισχύει για όλα τα εκκρεμή. Ο σταθερός αυτός λόγος λειτούργησε ως νόμος αντιστοιχίας, που συσχέτιζε κάθε μία από αυτές τις δύο ποσότητες του ενός εκκρεμούς με την αντίστοιχη ποσότητα του άλλου εκκρεμούς και του επέτρεπε να υπολογίζει το μήκος της χορδής ενός εκκρεμούς από τον αριθμό των ταλαντώσεων των δύο εκκρεμών σε συγκεκριμένο χρόνο (Sterrett 2002: 57-59· Grigoriadou et al, 2021: 110). Στην ιδέα κατά την οποία κάθε εκκρεμές σχετίζεται με κάθε άλλο εκκρεμείς με ένα νομό αντιστοιχίας εντοπίζεται η ιδέα των όμοιων συστημάτων (Sterrett 2002: 57-59, 2017(b): 384-387).

Μετά την Αναγέννηση ακολούθησε η Επιστημονική Επανάσταση, η οποία σε συνδυασμό με την επιρροή των ιδεών του πνευματικού κινήματος του Διαφωτισμού,



σηματοδότησαν σημαντικές αλλαγές στην επιστημονική μεθοδολογία, στην αντίληψη και εξήγηση του κόσμου, θέτοντας τις βάσεις για τη συγκρότηση της νέας επιστήμης. Στις αρχές του 17<sup>ου</sup> αιώνα, ιδιαίτερα μετά τις ανακαλύψεις του Κοπέρνικου και του Γαλιλαίου σχετικά με τα ουράνια σώματα και τις κινήσεις των πλανητών, η επιστημονική μεθοδολογία των προηγούμενων ετών αμφισβητείται και η αρχαία εξήγηση του σύμπαντος αρχίζει να καταρρέει (Westfall, 2008: 1-34). Ακολουθεί η περίοδος της Επιστημονικής Επανάστασης (1543-1687), κατά την οποία οι φυσικές επιστήμες γνωρίζουν ιδιαίτερη πρόοδο. Διατυπώνονται νέες θεωρίες στη φυσική, στην αστρονομία, στη βιολογία και άλλους τομείς και σταδιακά αναδύεται το ζήτημα μιας γενικής επιστημονικής μεθοδολογίας (Butterfield, 1983: 79-96).

Στα τέλη του 17<sup>ου</sup> αιώνα εμφανίζεται το κίνημα του Ευρωπαϊκού Διαφωτισμού στην Αγγλία, το οποίο κορυφώνεται τον 18<sup>ο</sup> αιώνα στη Γαλλία και έπειτα εξαπλώνεται στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η περίοδος του Διαφωτισμού αποτέλεσε τομή ανάμεσα στην παλιά και τη σύγχρονη επιστήμη. Οι εκπρόσωποι του πνευματικού κινήματος του Διαφωτισμού ανέδειξαν σημαντικά ζητήματα που απασχολούν μέχρι σήμερα την επιστημονική κοινότητα, δύο εκ των οποίων είναι η δυνατότητα γνώσης του φυσικού κόσμου και η βέλτιστη μέθοδος οργάνωσης και διαχείρισης της γνώσης αυτής (Outram, 1999: 1-11, 47-55). Η διερεύνηση των δύο αυτών ζητημάτων αιτιολογεί και τη γενικότερη προσπάθεια συστηματοποίησης της διαδικασίας κατάκτησης της γνώσης περί τα φαινόμενα με αυστηρό τρόπο, μέσω της επινόησης επιστημονικών τεχνικών και μηχανισμών, κατασκευής και αξιοποίησης πειραματικών οργάνων, σχεδιασμού και διεξαγωγής πειραμάτων, που ξεκίνησε την περίοδο εκείνη και συνεχίζεται με ακόμα πιο εντατικούς ρυθμούς σήμερα. Το ζήτημα αυτό απασχολεί μέχρι σήμερα την επιστημονική κοινότητα, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την τάση υιοθέτησης αυστηρών μαθηματικών μεθόδων και μέσων και τεχνικών που να λειτουργούν με αυστηρά κριτήρια ικανά να περιορίσουν όσο το δυνατόν περισσότερο την εμπλοκή του ανθρώπινου παράγοντα στην πειραματική διαδικασία και κατ' επέκταση να ελαχιστοποιούν την αβεβαιότητα που μπορεί να προκύψει από αυτήν αναφορικά με την εγκυρότητα και τα αποτελέσματα της έρευνας.

Οι ρίζες του Διαφωτισμού εντοπίζονται στη θεωρία του ρασιοναλισμού, κατά την οποία η γνώση μπορεί να αποκτηθεί μέσω του ορθού λόγου, μέσω δηλαδή ενός περισσότερο αντικειμενικού τρόπου σκέψης απαλλαγμένου από την προκατάληψη ή

τις μη επαληθεύσιμες παραδοχές της θρησκευτικής αποκάλυψης (Outram, 1995: 1-11, 47-55). Οι εκπρόσωποι του Διαφωτισμού εκφράζουν την πίστη στον ορθό λόγο, προτρέπουν την απόρριψη κάθε αυθεντίας, θεωρούν ότι οι άνθρωποι πρέπει να απαλλαγούν από την άγνοια, τις προκαταλήψεις και τις δεισιδαιμονίες του παρελθόντος και πιστεύουν στις ιδέες της προόδου και της εξέλιξης της επιστήμης. Η περίοδος του Διαφωτισμού εκτός από συνέχεια και κορύφωση της επιστημονικής επανάστασης θεωρείται και ως περίοδος διάδοσης της γνώσης, όχι μόνο μέσω της εγκυκλοπαίδειας των Ντενί Ντιντερό και Ζαν Λερόν Ντ' Αλαμπέρ, αλλά και μέσω τις εξάπλωσης των βιβλίων, των εφημερίδων και περιοδικών, που ευνοήθηκε από την ανάπτυξη της τυπογραφίας (Grigoriadou et al., 2021: 109-112).

Πέραν της αποδοχής του ορθού λόγου ως βασικού εργαλείου αναζήτησης και κατάκτησης της γνώσης, κυρίαρχο ζήτημα, μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, υπήρξε η αντίληψη κατά την οποία η φύση είναι μια τεράστια μηχανή και έργο των επιστημόνων είναι η ερμηνεία των μηχανισμών που κρύβονται πίσω από τα φαινόμενα. Η αντίληψη αυτή εντοπίζεται στην επιστημονική μεθοδολογία του Γαλιλαίου, ο οποίος πίστευε ότι στο συμπάν κυριαρχεί η τάξη και η αρμονία και προκειμένου να μελετηθεί θα πρέπει να αναπτυχθεί και να υιοθετηθεί μια ποσοτική πειραματική μεθοδολογία (Westfall, 2008· Crombie, 2006: 144-145). Ο Ρενέ Ντεκάρτ υποστήριξε ότι ο Θεός δημιούργησε το σύμπαν ως έναν τέλειω ωρολογιακό μηχανισμό που από τη δημιουργία του και μετά ήταν ικανός να λειτουργήσει χωρίς καμία παρέμβαση (Butterfield, 2010: 113· Πελεγρίνης, 1998: 250-256) ενώ ο Φράνσις Μπέικον εξέφρασε τους προβληματισμούς του σχετικά με τη διάσταση μεταξύ παρατήρησης και εξήγησης. Ο Μπέικον θεωρούσε ότι η εξήγηση πρέπει να πηγάζει από την παρατήρηση και όχι από το σύστημα εξήγησης που είχε κληροδοτηθεί από την αρχαία φιλοσοφία (Butterfield, 2010: 110-116). Ο Μπέικον υποστήριξε ότι οι επιστήμονες θα πρέπει να προβαίνουν σε συστηματικό πειραματισμό και επαγωγικά να οδηγούνται σε γενικεύσεις, οι οποίες με τη σειρά τους θα δείξουν το δρόμο για το επόμενο πείραμα (Butterfield, 2010: 100-110). Ανάλογη άποψη είχε και ο κορυφαίος διαφωτιστής Ντενί Ντιντερό που υποστήριξε ότι κύρια μέσα της έρευνας είναι η παρατήρηση της φύσης, η σκέψη και το πείραμα (Wolfe, Ch. T. and J.B. Shank, 2021).

Όλες αυτές οι εξελίξεις που έλαβαν χώρα στο πεδίο της έρευνας ως απόρροια των ιδεών της επιστημονικής επανάστασης και του πνευματικού κινήματος του Διαφωτισμού αποτέλεσαν τη γέφυρα της μετάβασης από τη φυσική φιλοσοφία στην

επιστήμη, δηλαδή από τη φιλοσοφική διερεύνηση του φυσικού κόσμου - έμβιου οργανισμού που δημιούργησε ο Θεός, στην πειραματική και λογική εξέταση του φυσικού κόσμου – μηχανής (Γρηγοριάδου και ολ., 2018: vol.3, 50· Grigoriadou et al., 2019: 176-180). Οι όροι «science» και «scientist» δεν είχαν κάνει την εμφάνισή τους μέχρι το 1830, όπου χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στην Αγγλία, ενώ μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν ο όρος «natural philosophy» (Outram, 1999: 48-49). Η αντικατάσταση του όρου natural philosophy από τον όρο science αναδεικνύει ταυτόχρονα και τη στροφή της επιστημονικής μεθοδολογίας διερεύνησης του φυσικού κόσμου από τη μετάφραση και το σχολιασμό των αρχαίων συγγραφέων της περιόδου του Μεσαίωνα (Butterfield, 2010: 79-82· Grant 2013: 6-9· Grant 2016: 31-39) στην παρατήρηση του ίδιου του φυσικού κόσμου, μετά την περίοδο του Διαφωτισμού (Γρηγοριάδου και συν, 2018: vol.3, 50· Grigoriadou et al., 2019: 176-180).

Τον 18<sup>ο</sup> αιώνα η επιστήμη αποτελεί πλέον οργανωμένη δραστηριότητα του πνεύματος, διακριτή από άλλες δραστηριότητες, όπως η φιλοσοφία. Στο πλαίσιο του νέου τρόπου σκέψης και κριτικής προσέγγισης της φύσης, οι επιστήμονες στρέφονται σε πράγματα που επιδέχονται μέτρησης. Τα μαθηματικά αποτελούν αναπόσπαστο συστατικό της νέας επιστημονικής μεθοδολογίας και η φυσική διαμορφώνεται ως μια ποσοτική πειραματική επιστήμη που αποσκοπεί στην ανακάλυψη των νόμων που προσδιορίζουν τη λειτουργία του κόσμου (Outram, 1999: 53· Butterfield, 2010: 90-93· Hankins, 1998: 67-73· Γρηγοριάδου και συν, 2018: vol.3, 50· Grigoriadou et al., 2019: 176-180). Οι νέες αυτές συνθήκες οδήγησαν στην εμφάνιση της πειραματικής μεθόδου του 17<sup>ου</sup> αιώνα που πρέσβευε τη στροφή στη φύση και την άμεση εξέταση αυτής μέσω του συστηματικού πειραματισμού (Butterfield, 2010: 79-96· Hankins, 1998: 1-10, 12, 25-32· Westfall, 2008), δηλαδή της κατευθυνόμενης και οργανωμένης παρατήρησης του πραγματικού κόσμου μέσω πειραματικών οργάνων μέτρησης, ανάπτυξης νέων επιστημονικών μεθόδων και τεχνικών και της αξιοποίησης μηχανισμών και μοντέλων ικανών να συμβάλλουν στην εξήγηση και πρόβλεψη φαινομένων (Grigoriadou et al., 2021: 109-110). Ο συστηματικός πειραματισμός ως αναπόσπαστο πλέον μέρος της λογικής προσέγγισης της φύσης, ευνοεί την κατασκευή πειραματικών οργάνων μέτρησης, την ανάπτυξη τεχνικών, την αξιοποίηση μηχανισμών και μοντέλων ικανών να συμβάλλουν στην επιστημονική

εξήγηση και πρόβλεψη φαινομένων (Γρηγοριάδου και ολ., 2018: vol.3, 50-51· Grigoriadou et al., 2019: 176-180).

Στο πλαίσιο της νέας επιστήμης παρατηρούνται σημαντικές προσπάθειες ορισμού της έννοιας των όμοιων συστημάτων μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα και η εκτεταμένη αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας στις φυσικές επιστήμες κατά την περίοδο της νεοτερικότητας (18<sup>ος</sup> αιώνα 20<sup>ος</sup> αι.) (Grigoriadou et al., 2021: 109-110).

Τον 17<sup>ο</sup> αιώνα εντοπίζεται η αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας στην πειραματική φυσική, στην περίπτωση των ανεπαίσθητων ή αβαρών ρευστών, όπως χαρακτηρίζαν οι φυσικοί εκείνης της περιόδου τον ηλεκτρισμό, τη θερμότητα, τη βαρύτητα και τον μαγνητισμό, που είχαν φυσικές ιδιότητες, δεν αποτελούσαν όμως κανονική ύλη. Με την κίνηση τους μετέφεραν τις φυσικές τους ιδιότητες, αλλά δεν μετέφεραν μάζα. Όταν οι ερευνητές παρατηρούσαν τη θερμότητα να ρέει από ένα θερμό σε ένα ψυχρό αντικείμενο δεν εντόπιζαν κάποια μεταβολή μάζας (Hankins, 1998: 73-78). Έτσι προκειμένου να περιγράψουν και να εξηγήσουν την κίνηση αυτή, αξιοποίησαν την ομοιότητά της με την κίνηση των ρευστών. Μπορεί μέχρι τότε να μην είχε οριστεί η έννοια των όμοιων συστημάτων, η περίπτωση, όμως, των αβαρών ρευστών οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι επιστήμονες είχαν αντιληφθεί τον ρόλο της ομοιότητας στη διαδικασία εξαγωγής επιστημονικών συμπερασμάτων και την ενέτασσαν στην επιστημονική τους μεθοδολογία (Grigoriadou et al., 2021: 111).

Τον 17<sup>ο</sup> αιώνα ο Νεύτωνας όρισε για πρώτη φορά τη έννοια των όμοιων συστημάτων ως εξής:

«Δύο όμοια συστήματα σωμάτων αποτελούμενων από ίσο αριθμό σωματιδίων, τα οποία είναι όμοια και ανάλογα το κάθε ένα του ενός συστήματος με το αντίστοιχο του άλλου συστήματος, βρίσκονται σε παρόμοια κατάσταση μεταξύ τους και έχουν ανάλογη πυκνότητα. Ας υποθέσουμε ότι αρχίζουν να κινούνται σε ανάλογους χρόνους και με τον ίδιο τρόπο (κάνοντας τις ίδιες κινήσεις)...: λέω ότι τα σωματίδια των συστημάτων αυτών θα συνεχίσουν να κινούνται μεταξύ τους με τον ίδιο τρόπο και σε ανάλογους χρόνους» (Sterrett 2017(b): 382).

Ο Νεύτωνας εστίασε στη γεωμετρική ομοιότητα, στην ομοιότητα της δομής (μάζα, πυκνότητα) των δύο συστημάτων σωμάτων, την αναλογία της κίνησης μεταξύ των σωματιδίων, και του χρόνου κίνησης προκειμένου να θεωρηθούν δύο συστήματα όμοια (Sterrett, 2017(b): 382-383). Σε αντίθεση με τον Γαλιλαίο που αξιοποίησε την ιδέα των όμοιων συστημάτων ως εξειδικευμένη μέθοδο που αποσκοπούσε στην

εξήγηση συμπεριφορών αποκλειστικά των εκκρεμών, ο Νεύτων παρουσιάζει την ιδέα των όμοιων συστημάτων ως μια γενική μέθοδο (Sterrett, 2017(b): 382-383· Grigoriadou et al., 2021: 109-112). Η προσέγγιση του Νεύτωνα αποτέλεσε την αφετηρία διερεύνησης της έννοιας των όμοιων συστημάτων, πυροδοτώντας μια σειρά θεωριών από ερευνητές προερχόμενους κυρίως από τα πεδία των φυσικών επιστημών και της μηχανικής. Ο όρος “similar systems” που εισήγαγε ο Νεύτωνας αποτέλεσε σημείο αναφοράς μέχρι τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Grigoriadou et al., 2021: 111-112).

Οι εκτεταμένες προσπάθειες κατανόησης και ορισμού της ομοιότητας αυτή την περίοδο, αποδεικνύουν ότι η Επιστημονική Επανάσταση και ο Διαφωτισμός συνέβαλαν καθοριστικά στην εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας και στην αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας ως πειραματικής τεχνικής των φυσικών επιστημών μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα.

### **1.2.6 Το στάδιο της συστηματικής αξιοποίησης και θεωρητικής προσέγγισης του μηχανισμού της ομοιότητας στις φυσικές επιστήμες (19<sup>ος</sup>-21<sup>ος</sup> αιώνας)**

Από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα η αξιοποίηση του δοκιμασμένου πλέον μηχανισμού της ομοιότητας έχει ενταχθεί στην επιστημονική μεθοδολογία πολλών επιστημονικών κλάδων και η έννοια των όμοιων συστημάτων διερευνάται πιο εντατικά. Το 1914 αποτελεί σημαντική χρονιά για τον ορισμό της έννοιας της ομοιότητας καθώς ο Αμερικάνος φυσικός Edgar Buckingham πρότεινε την ορολογία “physically similar systems” προς αντικατάσταση του μέχρι τότε αποδεκτού όρου “similar systems” του Νεύτωνα. Η προσέγγισή του ήταν η εξής:

«Ας πούμε ότι το  $S$  είναι ένα φυσικό σύστημα, και ότι υπάρχει μια σχέση μεταξύ ενός αριθμού ποσοτήτων  $Q$  που ανήκουν στο σύστημα  $S$ . Ας φανταστούμε το σύστημα  $S$  να μετασχηματίζεται σε ένα σύστημα  $S'$  έτσι ώστε το  $S'$  να αντιστοιχεί στο  $S$  όσον αφορά τις βασικές ποσότητες. Δεν υπάρχει σημείο κατά το μετασχηματισμό στο οποίο μπορούμε να υποθέσουμε ότι οι ποσότητες παύουν να εξαρτώνται η μια από την άλλη: επομένως πρέπει να υποθέσουμε ότι κάποια σχέση υφίσταται μεταξύ των ποσοτήτων  $Q'$  στο σύστημα  $S'$  που αντιστοιχούν στις ποσότητες  $Q$  του συστήματος  $S$ . Εάν αυτή η σχέση στο  $S'$  έχει την ίδια μορφή με τη σχέση στο  $S$  και μπορεί να περιγραφεί με την ίδια εξίσωση, τότε τα δύο συστήματα είναι φυσικά όμοια όσον αφορά αυτή τη σχέση» (Sterrett, 2017(b): 380-381).

Κοινό χαρακτηριστικό των προσεγγίσεων της έννοιας των όμοιων συστημάτων του Νεύτωνα και του Buckingham υπήρξε ο εντοπισμός αναλογίας μεταξύ των προς εξέταση φυσικών ποσοτήτων ή σχέσεων φυσικών ποσοτήτων. Ενώ, όμως, ο Νεύτωνας όρισε τα όμοια συστήματα βάσει των όμοιων δομικών τους χαρακτηριστικών, ο Buckingham τα όρισε βάσει των ανάλογων σχέσεων που παρατηρούνται μεταξύ συγκεκριμένων ποσοτήτων (Grigoriadou et al., 2021: 112-113).

Από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα οι φυσικοί επιστήμονες αλλά και αρκετοί φιλόσοφοι της επιστήμης αναγνωρίζουν την ομοιότητα ως βασικό μηχανισμό λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων. Κατά το στάδιο αυτό ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν προσπάθειες κατανόησης της έννοιας του μοντέλου με σημείο εκκίνησης της έννοια της ομοιότητας. Η ομοιότητα διερευνάται από τους φιλοσόφους της επιστήμης στο πλαίσιο της γενικότερης προσπάθειας θεωρητικής τεκμηρίωσης της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου. Παραδείγματα φιλοσόφων της επιστήμης που προσέγγισαν την έννοια της ομοιότητας ή της αναλογίας σε συνδυασμό με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 1.3.2. Όπως προκύπτει από τις προσεγγίσεις της έννοιας του μοντέλου που προέρχονται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και διατυπώθηκαν κυρίως μετά τα μισά του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η ομοιότητα μπορεί να γίνει αντιληπτή ως ένας μηχανισμός που λειτουργεί βάσει ενός συνόλου κανόνων, νόμων, αρχών ή μαθηματικών σχέσεων που αξιοποιούνται από την πειραματική τεχνική των μοντέλων αναλογίας κατά την επιλογή ή την κατασκευή τους και κατά τη διαδικασία επέκτασης των συμπερασμάτων από το μοντέλο στο προς εξέταση φαινόμενο αντικείμενο ή σύστημα. Πιο απλά η ομοιότητα αποτελεί τον βασικό μηχανισμό κλίμακας που αξιοποιείται κατά την επέκταση συμπερασμάτων από το μοντέλο στο προς διερεύνηση τμήμα του πραγματικού κόσμου υπό το πρίσμα συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης. Οι σύγχρονοι επιστήμονες δεν αξιοποιούν τυχαία, μη συνειδητά ή αποκλειστικά τεχνοκρατικά το μηχανισμό της ομοιότητας. Αντιθέτως, αντιλαμβάνονται τον ρόλο της ομοιότητας στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία. Το γεγονός αυτό αιτιολογεί τη συνεχή προσπάθεια κατανόησης της έννοιας της ομοιότητας αλλά και επέκτασης της αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας σε όλο και περισσότερα επιστημονικά πεδία.

### **1.2.7 Από την «τεχνοκρατική» αξιοποίηση στη θεωρητική τεκμηρίωση της ομοιότητας**

Μέσω της ιστορικής ανασκόπησης της έννοιας της ομοιότητας αφενός διακρίθηκαν τα εξελικτικά στάδια εννοιοδότησης και αξιοποίησης της ομοιότητας ως πρακτικής τεχνικής πριν την επιστήμη και ως πειραματικής τεχνικής της επιστημονικής μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών, αφετέρου δόθηκε η δυνατότητα εντοπισμού των σημαντικών μεταβατικών περιόδων για την εξέλιξη της έννοιας.

Όπως προκύπτει από την μελέτη της ιστορικής εξέλιξης της ομοιότητας, η μετάβαση από την «τεχνοκρατική» αξιοποίηση στη θεωρητική τεκμηρίωση, στη συνειδητή και συστηματική αξιοποίησή της ως επιστημονικού μεθοδολογικού εργαλείου δεν ολοκληρώθηκε διά μιας. Αντιθέτως, χρειάστηκε να περάσουν πολλοί αιώνες ώστε η έννοια να εξελιχθεί παράλληλα με την εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης και να φτάσει στη σύγχρονη σημασία και εφαρμογή της στο πλαίσιο της επιστημονικής μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών. Το κάθε στάδιο είχε σημασία και συνέβαλε στην εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας. Ωστόσο, δύο περίοδοι κρίνονται ιδιαίτερες σημαντικές κατά την εξελικτική πορεία της έννοιας της ομοιότητας. Πρώτη περίοδος είναι η κλασική αρχαιότητα κατά την οποία οι αρχαίοι Έλληνες φυσικοί φιλόσοφοι αντιλήφθηκαν τον ρόλο του μηχανισμού της ομοιότητας και τον αξιοποίησαν μεθοδολογικά κατά την προσπάθειά τους να κατανοήσουν, να περιγράψουν και να εξηγήσουν τον κόσμο. Δεύτερη σημαντική περίοδος είναι η εποχή του Διαφωτισμού, η οποία υπήρξε καταλυτική για την εννοιοδότηση και την αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας, καθώς κατά την περίοδο αυτή εισήχθη η πειραματική μέθοδος του 17<sup>ου</sup> αιώνα και ολοκληρώθηκε η μετάβαση από τη φυσική φιλοσοφία στην επιστήμη (Grigoriadou et al., 2019: 176-180· Grigoriadou et al., 2021: 109-112). Οι αλλαγές που επήλθαν στην επιστήμη την περίοδο αυτή υπήρξαν καθοριστικής σημασίας για την εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας, καθώς διαμόρφωσαν τις συνθήκες εκείνες που επέτρεψαν την πολύπλευρη προσέγγιση της έννοιας, την κατανόηση, τον ορισμό της και μέσω όλων αυτών τη σταδιακή εξέλιξή της: από την έννοια της γεωμετρικής ομοιότητας του Νεύτωνα, στην έννοια της φυσικής ομοιότητας του Buckingham, και τέλος την έννοια της φυσικής ομοιότητας ως μηχανισμού κλίμακας των επιστημονικών μοντέλων αναλογίας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Η ένταξη του συστηματικού πειραματισμού στην

επιστημονική μεθοδολογία οδήγησε στην ανάγκη ανάπτυξης νέων επιστημονικών πρακτικών που περιλάμβαναν την κατασκευή οργάνων μέτρησης, τη συστηματική αξιοποίηση μηχανισμών καθώς και την τεκμηρίωση επιστημονικών μοντέλων ικανών να συμβάλλουν στην εξήγηση και πρόβλεψη φαινομένων. Αυτές οι συνθήκες συνέβαλαν στην άμεση υιοθέτηση του μηχανισμού της ομοιότητας και στη συστηματική αξιοποίησή του μέσω της τεχνικής των επιστημονικών μοντέλων, η οποία επεκτάθηκε σημαντικά από τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και μετά.

### **1.3 Επιστημονικά μοντέλα**

#### **1.3.1 Θεωρητική προσέγγιση της έννοιας**

Τα επιστημονικά μοντέλα αποτελούν ένα από τα κύρια μέσα της σύγχρονης επιστήμης, τα οποία αξιοποιούνται ευρέως σε πολλά επιστημονικά πεδία προκειμένου να συμβάλλουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων, στην εξήγηση σχέσεων, στον έλεγχο και την πρόβλεψη σχετικά με τα εκάστοτε προς εξέταση φαινόμενα (Rogers, 2012· Frigg and Hartmann, 2020). Από τον 18<sup>ο</sup> αιώνα μέχρι σήμερα τα μοντέλα αποτελούν μια ιδιαίτερα διαδεδομένη και σταθερά αναπτυσσόμενη πειραματική τεχνική, η αξιοποίηση της οποίας επεκτείνεται διαρκώς σε νέα επιστημονικά πεδία. Τα επιστημονικά μοντέλα ουσιαστικά συνδέουν την ανθρώπινη σκέψη με την πραγματικότητα. Ακόμα και αν ο ερευνητής δεν έχει πρόσβαση στην ίδια την πραγματικότητα, τα μοντέλα λειτουργούν ως συνδετικοί κρίκοι που του δίνουν τη δυνατότητα να προσεγγίσει την πραγματικότητα, να κατανοήσει, να περιγράψει, να εξηγήσει και να προβεί σε προβλέψεις για συγκεκριμένα τμήματα του πραγματικού κόσμου.

Η έννοια του μοντέλου προέρχεται από την τέχνη. Συγκεκριμένα, ο Vitruvius, Ρωμαίος αρχιτέκτονας, συγγραφέας και μηχανικός, στο έργο του *De architectura* (88 μ.Χ.) ορίζει ένα μέτρο που αντιστοιχεί σε μισή διατομή κολώνας, το οποίο αξιοποιεί για τη διατύπωση όλων των σχέσεων μίας κατασκευής. Αργότερα ο λατινικός όρος *modulus*, ο οποίος αποδίδεται στα ελληνικά ως μονάδα μέτρησης, εντάσσεται στις ευρωπαϊκές γλώσσες, λαμβάνοντας την έννοια της μορφής ενός πράγματος που κατασκευάζεται σύμφωνα με το ορθό μέτρο. Ο νεότερος όρος μοντέλο προέρχεται από την ιταλική λέξη *modello* που σημαίνει πρότυπο ή υπόδειγμα, η οποία, τουλάχιστον σε ένα πρώτο στάδιο, συνδέεται κυρίως με την τρισδιάστατη γεωμετρική απεικόνιση με κλίμακα (Χριστοδουλίδης, 1979: 242-245). Η έννοια του μοντέλου



συνδέεται με την έννοια της *εικόνας* ή της *παράστασης* σε συνδυασμό με την έννοια της *κατασκευής*, με τη λειτουργία, δηλαδή, του μοντέλου ως μίας *συνεπούς αναπαράστασης*, κατά τον Maxwell (Χριστοδουλίδης, 1979: 242-243, 331).

Στη σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης, η έννοια του επιστημονικού μοντέλου αποδίδεται συχνά είτε ως η αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου, φαινομένου ή συστήματος, είτε ως η ερμηνεία θεωριών, που προσδίδει νόημα στα αξιώματα, τα θεωρήματα, τους κανόνες ή τις προτάσεις της θεωρίας (Rogers, 2012· Frigg and Hartmann, 2020) ενώ στο παρελθόν είχε αποδοθεί και ως δομική ισομορφία, ως ισοδυναμία, δηλαδή, δομικών σχέσεων (Χριστοδουλίδης, 1979: 241, 256). Εύλογο ερώτημα που προκύπτει αναφορικά με την αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων είναι για ποιους λόγους οι επιστήμονες επινόησαν και ενέταξαν στη μεθοδολογία τους τη συγκεκριμένη επιστημονική τεχνική. Ποια κενά καλούνται να καλύψουν τα επιστημονικά μοντέλα; Σε ποιες περιπτώσεις η αξιοποίηση τους κρίνεται σημαντική και ποιες λύσεις παρέχουν ώστε να αιτιολογείται η σταθερή θέση που κατέχουν στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία; Πιο απλά, τι προσφέρουν τα μοντέλα στην επιστημονική έρευνα που άλλα επιστημονικά εργαλεία ή τεχνικές δε μπορούν να προσφέρουν;

Η πολλαπλότητα των λειτουργιών και των ειδών των επιστημονικών μοντέλων είναι αδιαμφισβήτητη. Πολλοί φιλόσοφοι και επιστήμονες έχουν επιδιώξει να κατηγοριοποιήσουν τα είδη των μοντέλων και τις λειτουργίες τους με γνώμονα τον σκοπό της έρευνάς τους (Χριστοδουλίδης, 1979: 294-308). Για παράδειγμα, τα μοντέλα αξιοποιούνται για τον σχηματισμό, την ολοκλήρωση ή την αναδιάρθρωση μιας θεωρίας, για την απλοποίηση πολύπλοκων φυσικών παραγόντων ή για την ερμηνεία φαινομένων, ενώ μία από τις βασικότερες λειτουργίες των μοντέλων είναι η γεφύρωση του χάσματος ανάμεσα στο άγνωστο και στο οικείο, η οποία επιτυγχάνεται λόγω της εξηγητικής τους λειτουργίας (Χριστοδουλίδης, 1979: 298). Το μοντέλο, σύμφωνα με τον D. W. Theobald, είναι ένας εξηγητικός μηχανισμός στις φυσικές επιστήμες, εννοώντας ως εξήγηση ακριβώς αυτή τη δυνατότητα που δίνει η τεχνική του μοντέλου, δηλαδή την παρουσίαση του νέου και του μη-οικείου στη γλώσσα του οικείου και του κατανοητού (Χριστοδουλίδης, 1979: 298). Σε αυτή την τελευταία λειτουργία εντοπίζεται ο βασικός λόγος αξιοποίησης των επιστημονικών μοντέλων και κυρίως των μοντέλων αναλογίας.

Επί της ουσίας, τα επιστημονικά μοντέλα συμβάλλουν στην εξέταση ενός συστήματος, φαινομένου ή αντικειμένου στο οποίο ο ερευνητής δεν έχει άμεση πρόσβαση, το οποίο, δηλαδή, δεν μπορεί να μελετήσει απευθείας. Υπό αυτούς τους όρους, το μοντέλο αποτελεί τον βασικό και ορισμένες φορές τον μοναδικό τρόπο έρευνας ενός μη προσβάσιμου συστήματος, δηλαδή ενός συστήματος το οποίο ο ερευνητής δε μπορεί να εξετάσει απευθείας. Σε ποιες περιπτώσεις μη προσβάσιμων συστημάτων, όμως, αξιοποιούνται επιστημονικά μοντέλα; Έπειτα από τη μελέτη πολλών κατηγοριών μοντέλων που αξιοποιούνται συστηματικά από διαφορετικά επιστημονικά πεδία διακρίναμε τέσσερις βασικές περιπτώσεις στις οποίες αξιοποιείται η τεχνική του επιστημονικού μοντέλου κατά την εξέταση, περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη ενός συστήματος που δεν μπορεί ή δεν επιτρέπεται να εξεταστεί απευθείας από τον ερευνητή.

Πρώτη περίπτωση είναι όταν το μέγεθος του προς εξέταση συστήματος δεν επιτρέπει την απευθείας παρατήρησή του (Γρηγοριάδου, 2021: 146). Όταν, για παράδειγμα, το σύστημα στόχος είναι πολύ μικρό και δεν μπορεί να παρατηρηθεί με γυμνό μάτι ούτε με μεγεθυντικά όργανα και κατ' επέκταση δεν μπορούν να διερευνηθούν συγκεκριμένες σχέσεις μεταξύ φυσικών ποσοτήτων ή λειτουργίες που σχετίζονται με συγκεκριμένη προς έλεγχο ερευνητική υπόθεση. Παράδειγμα αυτής της περίπτωσης αποτελεί το μοντέλο που εισήγαγε ο Δανός φυσικός Niels Bohr για να εξηγήσει τη δομή του ατόμου. Το ίδιο ισχύει και σε περιπτώσεις που το προς εξέταση σύστημα είναι πολύ μεγάλο, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μελέτης της κίνησης των πλανητών στην αστρονομία, με αποτέλεσμα να απαιτείται η διαμόρφωση και χρήση ενός μοντέλου μικρότερου μεγέθους, το οποίο θα επιτρέψει στον ερευνητή να παρατηρήσει συγκεκριμένες πτυχές του, κάτι το οποίο δεν είναι εφικτό με άλλον τρόπο.

Επίσης, η αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων κρίνεται απαραίτητη όταν ο ερευνητής επιθυμεί να εξετάσει ένα σύστημα που απέχει από αυτόν χρονικά (Γρηγοριάδου, 2021: 146). Όταν, δηλαδή, ο ερευνητής επιθυμεί να διερευνήσει, να κατανοήσει και να περιγράψει ένα σύστημα, μια κατάσταση ή ένα φαινόμενο του παρελθόντος ή όταν επιθυμεί να προβεί σε προβλέψεις για κάτι που δεν έχει συμβεί ακόμα. Σε αυτή την περίπτωση συμπεριλαμβάνονται πολλά διαφορετικά και ιδιαιτέρως ενδιαφέροντα παραδείγματα, όπως τα μοντέλα που έχουν κατασκευαστεί από πολλές ερευνητικές ομάδες με σκοπό την αναπαράσταση και την περιγραφή του

μηχανισμού των Αντικυθήρων, του αρχαίου αυτού αναλογικού υπολογιστή που κατασκευάστηκε περίπου 2.000 χρόνια πριν. Άλλο ενδιαφέρον παράδειγμα είναι τα μοντέλα αναπαράστασης σκηνών εγκλήματος που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη της εγκληματολογίας και είναι ιδιαίτερος σημαντικά καθώς οι ερευνητές μέσω της αξιοποίησής τους έχουν τη δυνατότητα να αναπαραστήσουν και να μελετήσουν σχολαστικά σκηνές εγκλημάτων που επιδιώκουν να εξιχνιάσουν (Sterrett, 2005(a): 1-3). Άλλο παράδειγμα αποτελούν τα διάφορα μοντέλα που αξιοποιούνται προκειμένου να προβλέψουν σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστειών, διάφορες διεργασίες ή ακόμα και ακραία καιρικά φαινόμενα. Σε αυτή την περίπτωση εντάσσονται και πολλά οικονομικά-προβλεπτικά μοντέλα.

Μία άλλη περίπτωση κατά την οποία η αξιοποίηση των μοντέλων αποτελεί απαραίτητο μεθοδολογικό στάδιο είναι όταν κάποιος ερευνητής που δραστηριοποιείται σε κάποιο πεδίο της μηχανικής, επιθυμεί να κατασκευάσει και να θέσει σε λειτουργία μια μηχανή της οποίας το κατασκευαστικό κόστος είναι μεγάλο. Οπότε, όταν βρίσκεται στο στάδιο του σχεδιασμού και της δοκιμής θα πρέπει να διαμορφώσει μια αντίστοιχη κατασκευή σε μικρότερη κλίμακα, προκειμένου να εξασφαλίσει την επιτυχία και την ασφάλεια της κατασκευής του και να περιορίσει την πιθανότητα μίας αποτυχημένης επένδυσης. Πολλά παραδείγματα αυτής της περίπτωσης προέρχονται από έρευνες του πεδίου της μηχανικής που σχετίζονται για παράδειγμα με τον σχεδιασμό και την κατασκευή πλοίων, αεροπλάνων ή κτηρίων. Πριν ξεκινήσει η κατασκευή ενός αεροπλάνου, είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες δοκιμές σε μοντέλα αεροπλάνων, έτσι ώστε οι μηχανικοί να είναι σε θέση να υπολογίσουν με ακρίβεια τις διαστάσεις που θα πρέπει να έχει το αεροπλάνο κανονικού μεγέθους, το βάρος του, τα υλικά κατασκευής, ζητήματα σχετικά με την αλληλεπίδρασή του με τον αέρα, τις ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει κατά την πτήση κ.α. Σε αυτή την περίπτωση η κατασκευή και η αξιοποίηση των κατάλληλων μοντέλων είναι σημαντικές διαδικασίες καθώς οι παρατηρήσεις και οι προβλέψεις που θα προκύψουν από τη χρήση τους θα καθοδηγήσουν τους μηχανικούς ώστε να επιτύχουν μια ασφαλή κατασκευή, γεγονός που συνεπάγεται τον περιορισμό πιθανοτήτων ατυχήματος ή ζημίας.

Άλλοι σημαντικοί λόγοι που οδηγούν στην επιλογή και αξιοποίηση μοντέλων είναι ηθικοί και δεοντολογικοί λόγοι, οι οποίοι σε ορισμένες περιπτώσεις δεν επιτρέπουν την απευθείας εξέταση του υπό διερεύνηση συστήματος (Γρηγοριάδου, 2021: 146).

Εδώ το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα προέρχεται από τα πεδία της ιατρικής, της φαρμακευτικής και της βιολογίας και πρόκειται για την συστηματική χρήση πειραματόζωων για κλινικές δοκιμές, τα οποία αποτελούν μια εκτεταμένη υποκατηγορία των μοντέλων αναλογίας. Όταν οι επιστήμονες επιθυμούν να εξετάσουν, για παράδειγμα, την επίδραση ενός φαρμάκου ή εμβολίου στον ανθρώπινο οργανισμό κατά την προσπάθεια πρόληψης ή καταπολέμησης μίας νόσου, τίθεται το ζήτημα σε τι είδους οργανισμούς θα δοκιμαστούν τα φάρμακα ή τα εμβόλια που βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Συχνά, οι επιστήμονες αξιοποιούν μοντέλα οργανισμών (animal models) που παρουσιάζουν μια συγκεκριμένη αναλογία με τον ανθρώπινο οργανισμό ως προς μια συγκεκριμένη φυσιολογική λειτουργία. Δεδομένου ότι τα πειράματα σε ανθρώπους συχνά αντίκεινται στους κανόνες δεοντολογίας και στο αίσθημα της ηθικής, στη σύγχρονη επιστήμη εκτρέφονται, αναπαράγονται και αξιοποιούνται συστηματικά μοντέλα οργανισμών, όπως ινδικών χοιριδίων, πιθήκων και άλλων ζώων των οποίων η ανατομία, η φυσιολογία ή κάποιες επί μέρους οργανικές λειτουργίες εμφανίζουν σημαντικές ομοιότητες με τις αντίστοιχες του ανθρώπου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, δηλαδή, ο πειραματισμός σε μοντέλα ζώων κρίνεται ηθικά προτιμότερος του πειραματισμού σε ανθρώπους ακόμα και αν αυτοί νοσούν. Το γεγονός αυτό ασφαλώς οδηγεί σε νέους προβληματισμούς και πυροδοτεί ατελείωτες συζητήσεις στο πεδίο της ηθικής φιλοσοφίας, αναφορικά με την ηθική απέναντι στη χρήση των πειραματόζωων, η οποία σχεδόν πάντα συνοδεύεται πόνο, μόνιμες βλάβες και θανάτωση των οργανισμών-μοντέλων (EKT, <https://www.ekt.gr/el/magazines/features/19073>).

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι τα μοντέλα αποτελούν μέσα εξέτασης ενός συστήματος, φαινομένου ή αντικειμένου στο οποίο ο ερευνητής δεν έχει πρόσβαση λόγω απόστασης χώρου ή χρόνου από αυτό, λόγω του μεγέθους του και για πολλούς άλλους λόγους, ακόμα και ηθικούς (Γρηγοριάδου, 2021: 146). Για όλους αυτούς του λόγους, η σημασία των επιστημονικών μοντέλων κατά την προσπάθεια περιγραφής, ερμηνείας και πρόβλεψης του φυσικού κόσμου είναι αναγνωρισμένη και ευρέως αποδεκτή από ερευνητές πολλών επιστημονικών πεδίων ανά τον κόσμο.

Μπορεί η αξιοποίηση των μοντέλων να συστηματοποιήθηκε τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και να επεκτάθηκε σημαντικά από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και μετά, ωστόσο δεν αποτελεί σύγχρονο επιστημονικό επίτευγμα. Αντιθέτως, παραδείγματα μοντέλων, σε μια πρώιμη ασφαλώς μορφή, εντοπίζονται ήδη στην αρχαία αιγυπτιακή, βαβυλωνιακή και

ελληνική επιστήμη. Οι ρίζες, όμως, της σύγχρονης έννοιας του επιστημονικού μοντέλου προέρχονται από το πεδίο της φυσικής και εντοπίζονται στην προσέγγιση της έννοιας των όμοιων συστημάτων του Νεύτωνα (Γρηγοριάδου και συν, 2018: vol.3, 51· Γρηγοριάδου, 2021: 146, 149). Ο Νεύτωνας όρισε τα όμοια συστήματα βασιζόμενος στη γεωμετρία και τη δυναμική της κίνησης. Επιπλέον, ο Νεύτωνας υπήρξε ο πρώτος που αναφέρθηκε στη σημασία των επιστημονικών μοντέλων κλίμακας κατά τη διαδικασία εξαγωγής επιστημονικών συμπερασμάτων αλλά και στην οικονομία πόρων που εξασφαλίζουν (Γρηγοριάδου, 2021: 149).

Από τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και μετά, η χρήση των μοντέλων επεκτάθηκε σημαντικά σε πολλούς τομείς των φυσικών επιστημών. Οι ερευνητές αντιλήφθηκαν τη σημασία του εργαλείου αυτού και προέβησαν σε μια διαρκή προσπάθεια δοκιμών, πειραμάτων και κατασκευής επιστημονικών μοντέλων. Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, το επιστημονικό μοντέλο κατείχε κυρίαρχη θέση στην πειραματική μεθοδολογία. Την περίοδο αυτή αναπτύχθηκαν διάφορες κατηγορίες μοντέλων, όπως μαθηματικά μοντέλα, μοντέλα κλίμακας, μοντέλα εξισώσεων στη φυσική κ.α. (Frigg and Hartmann, 2020). Ωστόσο, η έννοια του μοντέλου δεν είχε ακόμη προσεγγιστεί από τους φιλοσόφους, παρόλο που αποτελούσε ένα αναπόσπαστο κομμάτι της πειραματικής μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών, της μηχανικής και πολλών ακόμη πεδίων. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, εντοπίζονται οι πρώτες προσπάθειες προσέγγισης της έννοιας του μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης από τον Norman Cambell (1920), τον Alfred Tarski (1936) ενώ μετά τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα διατυπώνονται αρκετές θεωρίες με σημαντικότερες αυτές των Giere, Bell, Machover και Hodges, που αντιμετωπίζουν τα μοντέλα άλλοτε ως θεωρητικές ή αφηρημένες κατασκευές, άλλοτε ως ενδιάμεσα στάδια μεταξύ θεωρίας και πραγματικού κόσμου (Bell and Machover, 1977: κεφ 5· Hodges, 1997: κεφ 1, 2, 3· Hesse, 1967: 354–359). Η έννοια του μοντέλου έχει υπάρξει ιδιαίτερα αμφίσημη καθώς έχει αξιοποιηθεί πειραματικά με διαφορετικό τρόπο και για διαφορετικούς σκοπούς. Το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζεται και στις διαφορετικές απόψεις που εκφράστηκαν περί τα επιστημονικά μοντέλα αλλά και από τις διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις που προτάθηκαν από φιλοσόφους της επιστήμης (Χριστοδουλίδης, 1979: 294-308). Οι θεωρίες αυτές κυριαρχούν στη φιλοσοφία της επιστήμης μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αι., ενώ από αυτή την περίοδο μέχρι σήμερα παρατηρείται μια πιο συστηματική προσπάθεια διερεύνησης, επαρκέστερης κατανόησης, ορισμού και κατηγοριοποίησης του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο

της φιλοσοφίας της επιστήμης, με χαρακτηριστικές προσπάθειες προσέγγισης εκείνες των Mary Hesse, Margaret C. Morrison και Susan G. Sterrett (Χριστοδουλίδης, 1979: 304-306· Γρηγοριάδου, 2021: 151-155).

Στο πλαίσιο αυτό, από τον 17<sup>ο</sup> έως τον 21<sup>ο</sup> αιώνα διακρίνουμε δύο σημαντικά στάδια στην εξέλιξη της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου ως τεχνικής της επιστημονικής μεθοδολογίας: το στάδιο αξιοποίησης των μοντέλων κυρίως από τις φυσικές επιστήμες, την ιατρική, τη βιολογία και τις επιστήμες της μηχανικής ως μέσου ικανού να οδηγήσει στη γνώση του κόσμου που τοποθετείται από τον 17<sup>ο</sup> έως τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και το στάδιο αναζήτησης της γνώσης για τα ίδια τα μοντέλα στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα (Γρηγοριάδου, 2021: 150-155).

Οι σύγχρονοι φιλόσοφοι της επιστήμης αναγνωρίζουν τη σημασία των μοντέλων και διερευνούν τον ρόλο τους στην επιστημονική πρακτική. Οι φιλόσοφοι της επιστήμης, προσπαθώντας να απαντήσουν στο ερώτημα «τι είναι επιστημονικό μοντέλο;», παρατηρούν ότι υπάρχουν διάφορες οντότητες που συνήθως χρησιμοποιούνται ως μοντέλα, όπως για παράδειγμα φυσικά αντικείμενα, φυσικές διατάξεις, φυσικά φαινόμενα, νοητές κατασκευές, σύνολα θεωρητικών δομών, εξισώσεις ή συνδυασμοί ορισμένων εξ' αυτών (Frigg and Hartmann, 2020).

Η ποικιλία των κατηγοριών των επιστημονικών μοντέλων και το εύρος και η έκταση των εφαρμογών τους κατά την πειραματική μεθοδολογία καθιστούν δύσκολο εγχείρημα την κατανόηση, τον ορισμό της έννοιας του μοντέλου αλλά και την επίτευξη μιας επαρκούς κατηγοριοποίησης των βασικών ειδών των σύγχρονων επιστημονικών μοντέλων. Για τον λόγο αυτό, παρόλο που τις τελευταίες δεκαετίες έχουν πραγματοποιηθεί αξιολογικές προσπάθειες εννοιοδότησης και κατηγοριοποίησης των μοντέλων στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, δεν είμαστε ακόμα σε θέση να υποστηρίξουμε ότι η τεχνική αυτή έχει τεκμηριωθεί θεωρητικά επαρκώς (Γρηγοριάδου και συν, 2018: vol.3, 54). Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ενώ παρατηρείται η διατύπωση αρκετά ικανοποιητικών ορισμών για συγκεκριμένες κατηγορίες μοντέλων, δεν παρατηρείται η διατύπωση αντίστοιχων ορισμών της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου, καθώς τις περισσότερες φορές οι ορισμοί που διατυπώνονται εστιάζουν κυρίως στην αναπαραστατική λειτουργία των μοντέλων, δεν συμπεριλαμβάνουν, όμως, βασικά στοιχεία αναφορικά με τον ρόλο, τον σκοπό, τους λόγους που επιτάσσουν την αξιοποίηση των μοντέλων και τον βασικό μηχανισμό

λειτουργίας τους. Σίγουρα είναι σημαντικό σε έναν ορισμό του μοντέλου να γίνει αναφορά στην αναπαραστατική του λειτουργία αναφορικά με τμήματα του φυσικού κόσμου, καθώς αυτή η βασική του λειτουργία αφενός το διαφοροποιεί από άλλες σημαντικές πειραματικές πρακτικές (αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της ταυτότητας του εργαλείου αυτού) και αφετέρου αναδεικνύει και προσδιορίζει τον ρόλο του στην πειραματική πρακτική αιτιολογώντας ταυτόχρονα τη σταθερή θέση που κατέχει στην επιστημονική μεθοδολογία. Ωστόσο, αυτό δεν αρκεί προκειμένου ένας ορισμός να θεωρηθεί επαρκής. Στο πλαίσιο αυτό, επιχειρούμε να διατυπώσουμε έναν ορισμό που προκύπτει από την προηγηθείσα συζήτηση, μέσω του οποίου επιδιώκεται κυρίως η παρουσίαση του ρόλου, του σκοπού εφαρμογής και του βασικού μηχανισμού λειτουργίας του επιστημονικού μοντέλου στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία. Όπως προκύπτει, λοιπόν, από τα ανωτέρω:

Το επιστημονικό μοντέλο αποτελεί μια σταθερά εξελισσόμενη επιστημονική τεχνική, η οποία συνδέει την ανθρώπινη σκέψη με τον πραγματικό κόσμο, λαμβάνοντας διαφορετικές μορφές ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής της και τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας. Αξιοποιείται προκειμένου να συμβάλει στον έλεγχο μιας συγκεκριμένης κάθε φορά ερευνητικής υπόθεσης αναφορικά με ένα μη προσβάσιμο ή δυσπρόσιτο τμήμα του φυσικού κόσμου ή την ερμηνεία μιας θεωρίας, πράγμα που επιτυγχάνεται μέσω του βασικού μηχανισμού λειτουργίας του μοντέλου, δηλαδή της ομοιότητας που καθορίζει την αναπαραστατική του λειτουργία. Η ομοιότητα, όταν είναι εφικτό, ορίζεται με αυστηρά κριτήρια κατά το στάδιο της επινόησης, επιλογής ή κατασκευής του μοντέλου αλλά και κατά το στάδιο της επέκτασης των συμπερασμάτων από το μοντέλο στο υπό εξέταση σύστημα.

Ο συγκεκριμένος ορισμός είναι μεν εκτεταμένος, ωστόσο κρίνουμε ότι παρουσιάζει με σαφήνεια όλα τα στοιχεία που πρέπει να δηλωθούν σε μια προσπάθεια ορισμού μίας επίσημης επιστημονικής τεχνικής. Αρχικά παρουσιάζεται τι είναι ένα επιστημονικό μοντέλο ανεξάρτητα από την ειδική κατηγορία στην οποία εντάσσεται (φυσική ή νοητή κατασκευή, θεωρητική δομή, μαθηματική σχέση κ.α.), δηλαδή μια επιστημονική τεχνική που αναπτύσσεται διαρκώς. Γίνεται αναφορά στον βασικό σκοπό λειτουργίας του μοντέλου ως συνδεδετικού κρίκου ανάμεσα στην ανθρώπινη σκέψη και τον πραγματικό κόσμο. Το μοντέλο επιτελεί αυτήν ακριβώς τη λειτουργία είτε με τη μορφή θεωρητικής δομής, είτε μοντέλου αναλογίας, είτε νοητού μοντέλου, είτε υπολογιστικού μοντέλου κ.α.. Παρέχει τη δυνατότητα στον ερευνητή να συλλέξει

τις σημαντικές πληροφορίες για την έρευνά του. Καλύπτει, δηλαδή, ένα γνωστικό κενό που πρέπει να υπερκεραστεί ώστε ο ερευνητής να φτάσει στη γνώση και να επιτύχει την περιγραφή και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός συστήματος που δεν μπορεί να εξετάσει απευθείας. Υπό αυτή την έννοια η τεχνική του μοντέλου αποτελεί καθοριστικό βήμα της ερευνητικής διαδικασίας καθώς συνδέει την ερευνητική υπόθεση και τα ερωτήματα του ερευνητή με την πραγματικότητα και επομένως τη σκέψη του ερευνητή με την πραγματικότητα. Στο πλαίσιο αυτού του ορισμού παρουσιάζεται και ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας των μοντέλων, δηλαδή η ομοιότητα, αλλά και τα στάδια της εφαρμογής του μοντέλου στα οποία ο μηχανισμός αυτός αξιοποιείται, δηλαδή κατά το στάδιο της επινοήσης, επιλογής ή κατασκευής του μοντέλου αλλά και στο στάδιο που ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί ως μηχανισμός κλίμακας, δηλαδή το στάδιο επέκτασης των συμπερασμάτων από το μοντέλο στο προς εξέταση σύστημα πάντα υπό το πρίσμα της ερευνητικής υπόθεσης.

Η προσέγγιση αυτή της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου παρέχει βασικές πληροφορίες αποσκοπώντας στην παρουσίαση των χαρακτηριστικών που βοηθούν στη διασαφήνιση της έννοιας του μοντέλου. Ωστόσο, προκειμένου η προσπάθεια αυτή ορισμού του μοντέλου να θεωρηθεί επαρκής και να συμβάλει σε μια σφαιρική και ολοκληρωμένη κατανόηση της σημαντικής αυτής τεχνικής, κρίνουμε ότι θα πρέπει να απαντήσουμε σε άλλα δύο σημαντικά ερωτήματα αναφορικά με το επιστημονικό μοντέλο. Το πρώτο ερώτημα είναι: τι δεν είναι επιστημονικό μοντέλο. Απαντώντας σε αυτό το ερώτημα από τη μια θα ενισχυθεί η κατανόηση του τι είναι μοντέλο, ενώ ταυτόχρονα θα περιοριστούν οι πιθανότητες παρανόησης ή αποσπασματικής κατανόησης της έννοιας.

Προσπαθώντας να απαντήσουμε σε αυτό το ερώτημα εντοπίσαμε ορισμένες συχνές παρανοήσεις ή αποσπασματικές προσεγγίσεις της έννοιας που προέρχονται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και από άλλα πεδία. Ξεκινώντας από την πιο απλή και συχνή, ίσως, παρανόηση, τα μοντέλα πολλές φορές αντιμετωπίζονται ως εργαλεία ή όργανα μέτρησης. Η αντίληψη αυτή υποβαθμίζει την αξία και τη σημασία της τεχνικής του μοντέλου και αποτελεί απόδειξη της αποσπασματικής κατανόησης της έννοιας αυτής. Το επιστημονικό μοντέλο δεν είναι απλώς ένα όργανο μέτρησης. Μπορεί ορισμένες φορές μέσω της εφαρμογής του να παρέχει πληροφορίες σχετικές με τη μέτρηση, ωστόσο, δε μπορεί να συγκριθεί λόγω χάρη με ένα μικροσκόπιο, το οποίο καλύπτει την ανικανότητα του ανθρώπινου οφθαλμού να παρατηρήσει



μικροσκοπικά συστήματα. Η βασική τους διαφορά έγκειται στον μηχανισμό λειτουργίας του μοντέλου που το διαφοροποιεί από το μικροσκόπιο και τα όργανα μέτρησης γενικότερα. Δεδομένου ότι ο μηχανισμός λειτουργίας του μοντέλου είναι η ομοιότητα και βασικός σκοπός λειτουργίας του η αναπαράσταση ενός μη προσβάσιμου συστήματος, δεν αποτελεί απλώς ένα όργανο που έχει διαμορφωθεί κατάλληλα προκειμένου να μας βοηθήσει να παρατηρήσουμε το ίδιο το σύστημα του ενδιαφέροντος, αλλά έχει διαμορφωθεί προκειμένου να αναπαραστήσει ένα σύστημα που δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε απευθείας. Επομένως, το επιστημονικό μοντέλο παρόλο που τις περισσότερες φορές δίνει και πληροφορίες ποσοτικές, δεν αποτελεί αποκλειστικά ένα όργανο μέτρησης. Προκειμένου να διασαφηνιστεί αυτή η διαφορά και να παραμεριστεί η συγκεκριμένη παρανόηση, αντιλαμβανόμαστε τη σημασία της μελέτης της θεωρίας αναφορικά με τα μοντέλα από όλους τους επιστήμονες που τα χρησιμοποιούν. Μόνο με αυτόν τον τρόπο, κατανοώντας, δηλαδή, τι είναι το εργαλείο που χρησιμοποιούν, μπορούν να αντιληφθούν με ακρίβεια τις δυνατότητες που τους παρέχει και να το αξιοποιήσουν με τον αποτελεσματικότερο δυνατό τρόπο.

Μια άλλη αποσπασματική αντίληψη της έννοιας και της φύσης του μοντέλου προέρχεται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και απαντάται κυρίως στις θεωρίες που αναπτύχθηκαν από τις πρώτες δεκαετίες μέχρι περίπου τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η πλειοψηφία των φιλοσόφων της επιστήμης του 20<sup>ου</sup> αιώνα αποδέχονταν ως επιστημονικές τεχνικές μόνο τα θεωρητικά μοντέλα (Bell and Machover, 1977: κεφ 5· Hodges, 1997: κεφ 1, 2, 3· Giere, 1988: 319-323· Hesse, 1967: 354-356· Γρηγοριάδου, 2021: 147). Συγκεκριμένα, σύμφωνα με αυτή την άποψη, τα μόνα αποδεκτά μοντέλα είναι τα θεωρητικά μοντέλα, δηλαδή οι θεωρητικές ή μαθηματικές δομές ενώ τα μοντέλα που αποτελούν φυσικές διατάξεις γίνονταν αντιληπτά ως τεχνικές ικανές να βοηθήσουν κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, όχι όμως ικανές να αξιοποιηθούν σε συγκεκριμένα στάδια ερευνητικής διαδικασίας και τοιουτοτρόπως να αποτελέσουν αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης επιστημονικής μεθοδολογίας. Είναι προφανές ότι η άποψη αυτή είναι ανεπαρκής και αποσπασματική, καθώς απορρίπτει μεγάλο μέρος σημαντικών τεχνικών που δομούνται με βάση αυστηρά επιστημονικά κριτήρια και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης επιστήμης. Επομένως, επιστημονικά μοντέλα δεν είναι μόνο οι θεωρητικές δομές αλλά και οι φυσικές διατάξεις που συχνά χαρακτηρίζονται ως μοντέλα αναλογίας.

Άλλη μια δογματική αλλά και ευρέως αποδεκτή στάση απέναντι στα μοντέλα προέρχεται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και τοποθετείται στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Πολλοί φιλόσοφοι της επιστήμης, όπως για παράδειγμα η Margaret C. Morrison, τοποθετούν το μοντέλο σε ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ θεωρίας και πραγματικού κόσμου, το οποίο δομείται βάσει της θεωρίας και οδηγεί σε συμπεράσματα για καταστάσεις που υφίστανται στον πραγματικό κόσμο (Morrison and Morgan, 1999: 10-13· Morrison, 1995: 6· Γρηγοριάδου, 2021: 154-155). Αυτή η προσέγγιση σίγουρα αποτελεί πρόοδο εν συγκρίσει με την αποδοχή μόνο των θεωρητικών δομών ως μοντέλων, ωστόσο κρίνεται αρκετά αποσπασματική καθώς παραβλέπει ότι τα μοντέλα δεν αποτελούν απλώς ενδιάμεσα στάδια αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις θεωρητικές δομές ή και τμήματα του πραγματικού κόσμου, όπως παρατήρησε η Susan G. Sterrett (Sterrett, 2005(a): 1-15). Οπότε, η αντίληψη του μοντέλου ως κάτι διαφορετικού ή ξεχωριστού από τη θεωρία ή την πραγματικότητα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ελλιπής και ως ένα βαθμό αυθαίρετη. Το μοντέλο λειτουργεί μεν ως συνδετικός κρίκος της ανθρώπινης σκέψης με τον πραγματικό κόσμο, χωρίς όμως να τοποθετείται σε κάποιο ενδιάμεσο στάδιο ή να γίνεται αντιληπτό ως κάτι απαραίτητα διαφορετικό από τη θεωρία ή τον πραγματικό κόσμο. Η κατανόηση και αποδοχή των διαφορετικών μορφών που μπορεί να πάρει ένα μοντέλο συμβάλλουν σε μια σφαιρικότερη αντίληψη και σε μια επαρκέστερη κατανόηση της έννοιας, του ρόλου και των δυνατοτήτων του επιστημονικού μοντέλου στην επιστημονική πρακτική. Επίσης, είναι σημαντικό το ότι η φύση του εκάστοτε μοντέλου το εάν, δηλαδή, αποτελεί μια θεωρητική δομή, μια νοητή κατασκευή ή μια φυσική διάταξη κ.α. δεν επηρεάζει τον βασικό του ρόλο ως συνδετικού κρίκου σκέψης και πραγματικότητας, ο οποίος παραμένει σταθερός ανεξάρτητα από αυτήν. Επομένως, το επιστημονικό μοντέλο αποτελεί συνδετικό κρίκο της σκέψης και της πραγματικότητας ανεξάρτητα από τη φύση του.

Από τις τρεις αυτές αποσπασματικές προσεγγίσεις προκύπτει ότι η έννοια και η φύση του μοντέλου όπως και το εύρος και η έκταση των εφαρμογών του δεν είχαν διερευνηθεί και κατανοηθεί απόλυτα μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Το γεγονός αυτό πιθανόν να οφείλεται στην απουσία ανταλλαγής απόψεων ή διαλόγου μεταξύ φιλοσόφων της επιστήμης και επιστημόνων άλλων πεδίων, αναφορικά με την έννοια και τη λειτουργία του μοντέλου και αιτιολογεί την αποσπασματική αντίληψη του μοντέλου απλώς ως εργαλείου μέτρησης, ως θεωρίας ή ως ενδιάμεσου σταδίου. Ο

γόνιμος διεπιστημονικός διάλογος ανάμεσα σε φιλοσόφους της επιστήμης που επιδιώκουν να τεκμηριώσουν θεωρητικά την τεχνική του μοντέλου και σε επιστήμονες που διαμορφώνουν το πεδίο εφαρμογής της και την αξιοποιούν πειραματικά προσδίδοντας της προστιθέμενη επιστημονική αξία, είναι ικανός να οδηγήσει σε μια σφαιρική κατανόηση και στην αποτελεσματικότερη δυνατή εφαρμογή της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου αξιοποιώντας όλες τις δυνατότητες που παρέχει. Τα τελευταία μόλις 20 χρόνια σημειώνονται προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση γεγονός που συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση του εργαλείου αυτού.

Δεύτερο σημαντικό ζήτημα που πρέπει να διερευνηθεί προκειμένου η παρούσα προσέγγιση της έννοιας του μοντέλου να θεωρηθεί ολοκληρωμένη είναι η πιθανότητα ύπαρξης μίας επαρκούς κατηγοριοποίησης των μοντέλων σε συγκεκριμένες γενικές κατηγορίες, βάσει ενός κριτηρίου ικανού να πετύχει μια ταξινόμηση όλων των πιθανών ειδών μοντέλων σε συγκεκριμένες βασικές κατηγορίες και την ένταξη κάθε μοντέλου σε μια και μόνο κατηγορία. Μια κατηγοριοποίηση των μοντέλων σε βασικές κατηγορίες από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης μπορεί να οδηγήσει στην επαρκέστερη κατανόηση της έκτασης και των δυνατοτήτων που παρέχει αυτή η επιστημονική τεχνική. Επίσης, έχοντας κατανοήσει το εύρος των επιμέρους κατηγοριών των μοντέλων και την ποικιλομορφία τους, οι φιλόσοφοι της επιστήμης θα είναι σε θέση να εξασφαλίσουν μια συνολική και όχι αποσπασματική κατανόηση της έννοιας του μοντέλου ώστε να είναι σε θέση να τεκμηριώσουν θεωρητικά το εργαλείο αυτό. Επιπροσθέτως, μια επαρκής κατηγοριοποίηση μπορεί να λειτουργήσει ως οδηγός ή συμβουλευτικό εργαλείο για όλους τους ερευνητές που αξιοποιούν συστηματικά τα επιστημονικά μοντέλα, κατά το στάδιο επιλογής και παρουσίασης της μεθοδολογίας τους. Για όλους αυτούς του λόγους, στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται μια ολοκληρωμένη πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες που αφενός συμπληρώνει την προσπάθεια εννοιοδότησης του εργαλείου αυτού και αφετέρου αποτελεί σημαντικό σημείο στην προσπάθεια κριτικής προσέγγισης της θεώρησης της Sterrett αναφορικά με την έννοια και κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής (βλ. κεφ. 2.3.2).

### **1.3.2 Ιστορική ανασκόπηση της έννοιας και της αξιοποίησης της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου**

Οι πρώτες επίσημες αναφορές στην έννοια του μοντέλου και οι πρώτες προσπάθειες ορισμού της παρατηρούνται μετά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, όταν ουσιαστικά η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε συστηματικά στο πλαίσιο της πειραματικής μεθοδολογίας σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων. Τα επιστημονικά μοντέλα, όμως, δεν εμφανίστηκαν ξαφνικά ως μεθοδολογικά εργαλεία μετά την επιστημονική επανάσταση. Αντιθέτως, παραδείγματα μοντέλων απαντώνται στην αρχαία Αίγυπτο και Μεσοποταμία, στον αρχαίο ελληνικό κόσμο ενώ ταυτόχρονα γεννιούνται ερωτήματα αναφορικά με προϊστορικά ευρήματα στην περιοχή της ερήμου Νουβία που απέχει 800 περίπου χιλιόμετρα από το Κάιρο. Κατ' επέκταση, η ιστορία της εμφάνισης, της κατασκευής και της αξιοποίησης της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου μετρά πολλούς αιώνες και παρέχει ευρύ φάσμα παραδειγμάτων ικανών να συμβάλλουν στην επαρκέστερη κατανόηση της εξέλιξης της φύσης και της λειτουργίας αυτού του εργαλείου. Στο πλαίσιο αυτό, προκύπτουν πολλά και σημαντικά ερωτήματα αναφορικά με την ιστορική εξέλιξη της έννοιας και της αξιοποίησης των επιστημονικών μοντέλων. Ορισμένα εξ' αυτών είναι: Ποιο είναι το παλαιότερο μοντέλο που έχει ανακαλυφθεί; Μπορούν να διακριθούν συγκεκριμένα στάδια στην εξελικτική πορεία της έννοιας και της εφαρμογής του μοντέλου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα; Ποιες οι περίοδοι που ευνόησαν περισσότερο την ανάπτυξη και την αξιοποίηση της τεχνικής του μοντέλου στην επιστημονική μεθοδολογία και γιατί; Ποιος είναι ο ρόλος του μοντέλου στη σύγχρονη επιστήμη; Σε ποιο βαθμό η έννοια του επιστημονικού μοντέλου έχει τεκμηριωθεί θεωρητικά από τη σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης; Έπειτα από εκτενή βιβλιογραφική έρευνα συγκεντρώθηκαν ενδιαφέροντα στοιχεία αναφορικά με την πρώιμη αξιοποίηση του μοντέλου στους αρχαίους πολιτισμούς, την απουσία του κατά την περίοδο του μεσαίωνα, την αξιοποίηση του κατά την αναγέννηση, τη συνειδητή συστηματική εφαρμογή του από τις φυσικές επιστήμες μετά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, την επέκταση της εφαρμογής του σε πολλούς επιστημονικούς τομείς μετά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και τέλος την προσπάθεια της θεωρητικής του τεκμηρίωσης από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Σκοπός του παρόντος υποκεφαλαίου είναι η συνοπτική αλλά ουσιαστική παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας και της εφαρμογής του

επιστημονικού μοντέλου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα μέσα στο ευρύτερο πλαίσιο της εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης. Η εν λόγω ιστορική ανασκόπηση είναι ικανή να συμβάλλει στην επαρκέστερη κατανόηση της πειραματικής μεθοδολογίας του επιστημονικού μοντέλου σε διαφορετικά χωροχρονικά πλαίσια και να οδηγήσει σε μια σφαιρικότερη αντίληψη της έννοιας και της λειτουργίας του μοντέλου στη σύγχρονη επιστημονική έρευνα.

### **1.3.2.1 Τα πρώτα μοντέλα πριν την ανακάλυψη της γραφής: Το αστρονομικό παρατηρητήριο της Nabta Playa και τα γλυπτά cowstone και bedrock**

Παρόλο που οι σύγχρονοι ιστορικοί της επιστήμης τοποθετούν τις ρίζες της επιστημονικής δραστηριότητας στην αρχαία Αίγυπτο και Μεσοποταμία μετά το 3200 π.Χ., εντυπωσιακά ευρήματα κατά τα τελευταία 50 έτη μαρτυρούν ότι οι προϊστορικοί, πιθανότατα νομαδικοί, λαοί που κινούνταν και κατοικούσαν στην περιοχή της ερήμου Νουβία είχαν σημαντικά προηγμένες γνώσεις αστρονομίας, τις οποίες συχνά κωδικοποιούσαν μέσα σε μύθους και σε διάφορες κατασκευές, όπως για παράδειγμα στον κύκλο των πετρών και στο γλυπτό cowstone της Nabta Playa. Φαίνεται ότι οι προϊστορικοί αυτοί άνθρωποι μελέτησαν τους αστερισμούς και ανέπτυξαν σημαντική γνώση, η οποία τεκμηριώνεται μέσω των μνημείων που άφησαν. Η βαθιά γνώση των αστερισμών, των θέσεων των άστρων, της απόστασης μεταξύ τους ή της ταχύτητας κίνησής τους, που απαιτείται για την ακριβή αναπαράστασή τους στα συγκεκριμένα μνημεία, απαιτεί σχολαστική και συστηματική έρευνα των ουράνιων σωμάτων. Στο πλαίσιο αυτό, φαίνεται ότι οι προϊστορικοί Αιγύπτιοι παρατηρούσαν τον ουρανό, τις θέσεις, τις κινήσεις των άστρων και των πλανητών και όπως αποδεικνύεται από τον κύκλο των πετρών και το cowstone, κατασκεύαζαν χάρτες, διαγράμματα ή διατάξεις που αναπαριστούσαν αστερισμούς, τις θέσεις και τις κινήσεις αστερισμών, τον γαλαξία και τις κινήσεις του ήλιου. Αξιοποιούσαν τις φυσικές αυτές διατάξεις για να προβλέπουν τις περιόδους των θερινών βροχοπτώσεων ώστε να προετοιμάζονται για τις μετακινήσεις τους ή σε άλλες περιπτώσεις προκειμένου να προετοιμάζουν κατάλληλα τη γη και τις καλλιέργειές τους. Όπως αποδεικνύεται και από σκελετούς ζώων που εντοπίστηκαν στην περιοχή, το μνημείο αυτό εικάζεται ότι συνδεόταν και με θρησκευτικές τελετές που πιθανότατα περιλάμβαναν θυσίες ζώων.

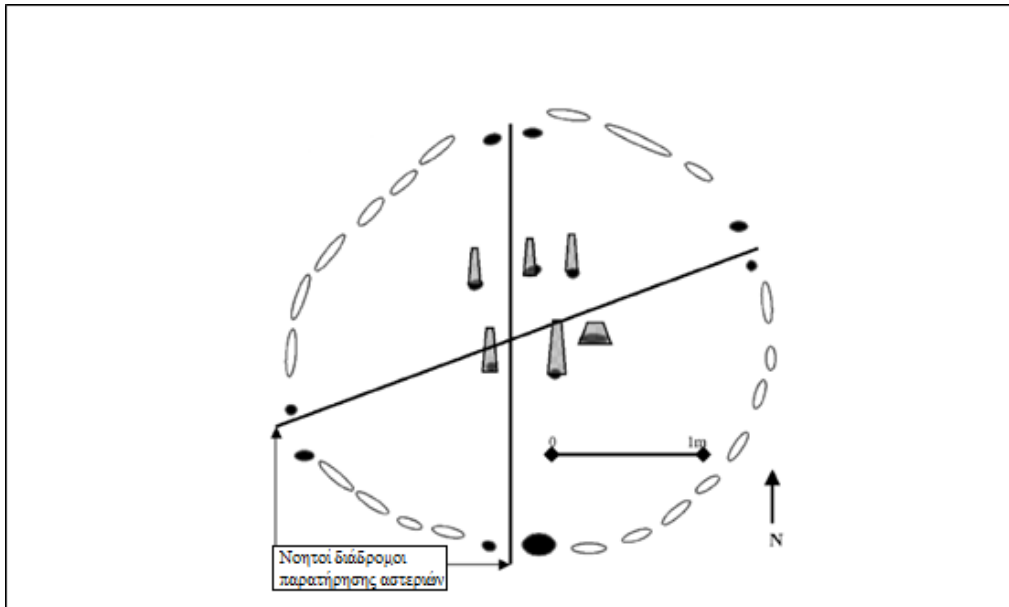
Τι ήταν, όμως, ακριβώς ο κύκλος των πετρών της Nabta Playa; Το 1974 ο Αμερικάνος ανθρωπολόγος Fred Wendorf και η ερευνητική του ομάδα ανακάλυψαν τον γνωστό σήμερα κύκλο των πετρών και το θαμμένο γλυπτό γνωστό με την ονομασία cowstone, στην έρημο Νουβία δυτικά του Νείλου σε απόσταση 800 περίπου χιλιόμετρα από το Κάιρο (Malville et al., 1998: 488). Τα ευρήματα αυτά χρονολογούνται περί το 4.800 π.Χ., δηλαδή περίπου 2 χιλιετίδες νωρίτερα από την ανακάλυψη της γραφής και πριν την κατά γενική παραδοχή αρχή αυτού που σήμερα ονομάζουμε επιστήμη. Ο κύκλος των πετρών έχει χαρακτηριστεί ως αστρονομικό παρατηρητήριο, ως το αρχαιότερο πλανητάριο και ως ημερολογιακός κύκλος. Αποτελείται από 29 μεγάλες πέτρες ύψους περίπου τριών μέτρων, θαμμένες σε μεγάλο βάθος, οι οποίες σχηματίζουν κύκλο με περίμετρο 4 μέτρα, ενώ έξι πέτρες βρίσκονται στο κέντρο του κύκλου σχηματίζοντας δύο νοητούς διαδρόμους, έναν με κατεύθυνση από τον βορρά προς τον νότο και έναν από τον βορρά προς την ανατολή (Bauval and Brophy, 1989:1-15). Οι πέτρινες δομές ευθυγραμμίζονται με συγκεκριμένους αστερισμούς συμπεριλαμβανομένης της Μεγάλης Άρκτου, του αστερισμού του Ωρίωνα και του Σείριου (AE LEARNING, 2019, The Nabta Playa)<sup>1\*</sup>. Σύμφωνα με μια άποψη ο κύκλος των πετρών θεωρείται ένα προϊστορικό ημερολόγιο με μορφή χάρτη αστεριών που σηματοδοτούσε με ακρίβεια το θερινό ηλιοστάσιο, τη θερινή περίοδο και την αρχή των καλοκαιρινών βροχοπτώσεων (AE LEARNING, 2019, The Nabta Playa)<sup>2\*</sup>. Επί της ουσίας ήταν ένας χώρος διαμορφωμένος με πέτρες που βρίσκονταν σε τέτοια διάταξη, η οποία τους επέτρεπε να παρακολουθούν τον ουρανό. Οι πέτρες αντιπροσώπευαν τους αστερισμούς του Ωρίωνα και της Μεγάλης Άρκτου και τα ηλιοστάσια. Το πραγματικό, όμως, αίνιγμα ήταν κάτω από τη γη όπου βρέθηκε θαμμένο ένα μεγαλιθικό γλυπτό γνωστό ως cowstone, βάρους περίπου τριών τόνων (Ancient Architects, 2017, The Origins of Ancient Egypt: Prehistoric Petroglyphs and Nabta Playa)<sup>3\*</sup>.

---

<sup>1</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=snjXEM1ZgBY>

<sup>2</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=snjXEM1ZgBY>

<sup>3</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=9FPN3V7arFI>



Εικόνα 1: Σχέδιο κύκλου πετρών της Nabta Playa από τον Thomas Brophy (Brophy, 2002: 8).

Το 1998 ο αστροφυσικός Thomas Brophy, πεπεισμένος ότι κρύβεται κάτι πιο πολύπλοκο αλλά και πιο σημαντικό πίσω από τη μεγαλιθική κατασκευή της Nabta Playa, επισκέφθηκε την περιοχή και εξέτασε πολύ προσεκτικά το προϊστορικό μνημείο. Ο ίδιος στο βιβλίο του ‘‘The Origin Map: Discovery of a Prehistoric, Megalithic, Astrophysical Map and Sculpture of the Universe’’ χαρακτηρίζει τα ευρήματα της Nabta Playa ως προϊστορικό μεγαλιθικό αστροφυσικό χάρτη και το cowstone ως γλυπτό που αναπαριστά το σύμπαν.

Σύμφωνα με τον Brophy οι προϊστορικοί αυτοί άνθρωποι είχαν τρία επίπεδα γνώσης αναφορικά με τα ουράνια σώματα και τον γαλαξία, όπως αποδεικνύεται από το μνημείο της Nabta Playa (Brophy, 2002: xiv-xxiv). Το πρώτο επίπεδο γνώσης επιβεβαιώνεται από τη λειτουργία του κύκλου των πετρών ως χάρτη που αναπαριστά ουράνια σώματα, ευθυγραμμίσεις και συμβάντα που μπορούν να παρατηρηθούν στον ουρανό με γυμνό μάτι. Σύμφωνα με τον Brophy ο κύκλος των πετρών της Nabta Playa και οι εσωτερικές πέτρες αποτελούν ένα διάγραμμα παρατήρησης αστεριών. Η νότια γραμμή των τριών πετρών μέσα στον κύκλο αναπαριστά τα τρία αστέρια της ζώνης του αστερισμού του Ωρίωνα (Alnitakm, Alnilam, Minitaka-μεταξύ 1340 και 1200 έτη φωτός μακριά από τη γη), το ίδιο τμήμα του ίδιου αστερισμού που σύμφωνα με τον Βέλγο συγγραφέα Robert Banval αναπαριστούν και οι τρεις μεγάλες πυραμίδες του οροπεδίου της Γκίζας (Brophy, 2002: xiv-xxiv, p.9-15). Οι άλλες τρεις πέτρες αναπαριστούν τα αντίστοιχα αστέρια των ώμων και του κεφαλιού του Ωρίωνα ακριβώς όπως εμφανίζονται στον

ουρανό (Brophy, 2002: xiv-xxiv, p.9-15). Πως λειτουργούσε, όμως, το παρατηρητήριο αστεριών; Σύμφωνα με τον Brothy, όταν ο παρατηρητής στεκόταν στο νότιο άκρο του νοητού διαδρόμου ανάμεσα στις κεντρικές πέτρες μπορούσε να κοιτάξει αρχικά κάτω το διάγραμμα και να δει μια αναπαράσταση των άστρων της ζώνης του Ωρίωνα όπως ακριβώς εμφανιζόταν όταν σήκωνε το βλέμμα του στον ουρανό (Brophy, 2002: 9). Αυτές οι δύο αναπαραστάσεις σύμφωνα με τον Brothy αντιστοιχούν σε δύο συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, αναπαριστώντας έτσι τον τρόπο με τον οποίον ο ουρανός κινείται μακροπρόθεσμα. Ο αστερισμός της ζώνης του Ωρίωνα όπως εμφανίζεται στον κύκλο των πετρών αντιστοιχεί στη θέση που είχαν μεταξύ 6.400 και του 4.900 πριν την περίοδο του θερινού ηλιοστασίου, ενώ ο αστερισμός των ώμων και του κεφαλιού του Ωρίωνα θα μπορούσαν σύμφωνα με τον Brothy να είχαν παρατηρηθεί σε αυτή τη θέση που γύρω στο 16.500 π.Χ. Γεγονός που οδηγεί σε πολλά ερωτήματα αναφορικά με το έτος κατασκευής ή ανακατασκευής του μνημείου (Brophy, 2002: xiv-xxiv, p.9-15).

Το δεύτερο επίπεδο αντιστοιχεί σε σημάδια ή δείκτες που δείχνουν ουράνια φαινόμενα και γεγονότα που δε μπορούν να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι. Όπως υποστήριξε ο Brothy οι πληροφορίες που φαίνεται ότι προέρχονται από το μνημείο της Nabta Playa δεν περιορίζονται μόνο στα ορατά φαινόμενα. Ο Brothy σημείωσε ότι μία από τις πέτρες του κύκλου αναπαριστά το κέντρο του γαλαξία κατά το έτος 17.000 π.Χ. που αντιστοιχεί και στον προσανατολισμό του γαλαξιακού κέντρου στον σκαλισμένο βράχο που βρισκόταν κάτω από το cowstone. Ο ίδιος υποστηρίζει ότι παρόμοιες πληροφορίες παρέχουν και τα μνημεία του οροπεδίου της Γκίζας, που αναπαριστούν το κέντρο του γαλαξία τη στιγμή που βρισκόταν στο πιο ψηλό νότιο σημείο το μεσημβρινού, περίπου το 10909 π.Χ. Σε αυτό το πλαίσιο, ο Brothy υποστηρίζει ότι ο κύκλος των πετρών κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε σε πολύ μεταγενέστερη χρονολογία από τις θέσεις και τις κινήσεις των αστεριών που επί της ουσίας αναπαριστά (αναπαριστά τις θέσεις των αστεριών και μια νοητή κίνηση τους σε μία πλήρη περιφορά) (Brophy, 2002: xiv-xxiv). Άρα, σύμφωνα με τον Brophy, όπως προκύπτει από την έρευνά του, η γνώση υπήρχε πολύ πριν την αναπαράστασή της μέσω της οποίας μεταδόθηκε.

Το τρίτο επίπεδο γνώσης αντιστοιχεί σε λεπτομερείς αστρονομικές και κοσμολογικές πληροφορίες, όπως οι αποστάσεις ανάμεσα στα αστέρια, οι ταχύτητες με τις οποίες κινούνται, η δομή του γαλαξία μας, καθώς και πληροφορίες για την



προέλευση του σύμπαντος, τις οποίες είτε έχουμε ανακαλύψει πολύ πρόσφατα είτε δεν τις έχουμε ανακαλύψει ακόμα. Ο Brothy μελέτησε το cowstone, μια μεγάλη πέτρα με μορφή αγελάδας κάτω από την οποία υπήρχε ένα άλλο γλυπτό, το bedrock sculpture, το οποίο σύμφωνα με τον Brothy αποτελούσε ένα μοντέλο κλίμακας (scale model) του γαλαξία μας από το άκρο του βόρειου γαλαξιακού πόλου κατά τη χρονολογία 17.700 π.Χ., χρονολογία που κατά τον Brothy πιθανώς να αντιστοιχεί στη χρονολογία της δημιουργίας του. Το μοντέλο αυτό αναπαριστά σωστά την θέση και τον προσανατολισμό του ήλιου μας (Brophy, 2002: xiv-xxiv).

Δεδομένου ότι οι προϊστορικοί άνθρωποι δε χρησιμοποιούσαν το πρώτο αυτό αστρονομικό σύστημα απλά για να παρατηρούν τα αστέρια ή για να πραγματοποιούν θρησκευτικής φύσεως τελετές, αλλά και για να προβλέπουν το θερινό ηλιοστάσιο, τον ερχομό των θερινών μουσώνων και να προετοιμάζουν αντίστοιχα τις μετακινήσεις τους ή να συλλέγουν πληροφορίες σχετικές με τη γεωργία, ο κύκλος των πετρών και τα γλυπτά cowstone και bedrock αποτελούν τα αρχαιότερα επιστημονικά μοντέλα που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα. Ο κύκλος των πετρών, το cowstone και το bedrock αποτελούν μοντέλα που αναπαριστούν τους αστερισμούς του Ωρίωνα, της Μεγάλης Άρκτου και του Σείριου και αντίστοιχα του γαλαξία μας. Αποτελούν, δηλαδή, φυσικές διατάξεις που κατασκευάστηκαν καθ' ομοίωση άλλων φυσικών διατάξεων, τις οποίες ο άνθρωπος δεν μπορούσε να παρατηρήσει απευθείας λόγω απόστασης, και αξιοποιούνταν για την περιγραφή των μη προσβάσιμων αυτών προς εξέταση συστημάτων αλλά και για την πρόβλεψη φαινομένων καθοριστικών για την επιβίωση των προϊστορικών αυτών λαών (π.χ. ερχομός θερινών μουσώνων). Η αξιοποίησή τους και ως σημεία τέλεσης θρησκευτικών τελετών δεν επηρεάζει τον ρόλο τους ως αναπαραστάσεων φυσικών συστημάτων, δηλαδή ως επιστημονικών μοντέλων κλίμακας όπως τα ονομάζουμε σήμερα. Στο πλαίσιο αυτό, προκύπτει η ιδιαίτερως ενδιαφέρουσα παρατήρηση κατά την οποία οι δύο αυτές προϊστορικές αιγυπτιακές κατασκευές αποτελούν τα δυο πρώτα επιστημονικά μοντέλα, που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα, τα οποία κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιήθηκαν όχι μόνο πριν την ανακάλυψη της γραφής αλλά και πριν τη γενικώς παραδεκτή αρχή της επιστήμης.

### **1.3.2.2 Το επιστημονικό μοντέλο στην αρχαία Αιγυπτιακή και Βαβυλωνιακή αστρονομία**

Σύμφωνα με την πλειοψηφία των ιστορικών της επιστήμης, η μελέτη του φυσικού κόσμου και η ανάπτυξη τεχνικών έρευνας στους τομείς της αστρονομίας, των μαθηματικών, της γεωμετρίας, της ιατρικής και της μηχανικής τοποθετείται σε πρώτο στάδιο στην αρχαία αιγυπτιακή και βαβυλωνιακή επιστήμη. Βασική διαφορά της αιγυπτιακής και της βαβυλωνιακής επιστήμης σε σχέση με τη μεταγενέστερη αρχαία ελληνική, είναι ο προσανατολισμός τους στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων σχετικών με τη χωροταξία, την αρχιτεκτονική, τη γεωργία καθώς και ζητήματα σχετικά με τη θρησκεία (Lingberg, 1997: 20). Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι και οι Βαβυλώνιοι προκειμένου να ελέγξουν τη φύση και να εξασφαλίσουν καλύτερους όρους διαβίωσης προέβαιναν στην παρατήρηση του φυσικού κόσμου, του ουρανού, του ανθρώπινου οργανισμού και εφάρμοζαν διάφορες τεχνικές προκειμένου να βρουν λύσεις σε καθημερινά προβλήματα. Στο πλαίσιο της αιγυπτιακής και βαβυλωνιακής διανοητικής δραστηριότητας και κυρίως στην αιγυπτιακή και βαβυλωνιακή αστρονομία φαίνεται ότι αναπτύχθηκαν μαθηματικά μοντέλα και αξιοποιήθηκαν αναπαραστάσεις φυσικών ή άλλων συστημάτων, που προσομοιάζουν αρκετά με τα σύγχρονα επιστημονικά μοντέλα ως προς τη λειτουργία τους, όχι όμως ως προς το σκοπό αξιοποίησής τους. Ποιες κατηγορίες μοντέλων ανιχνεύονται στην αρχαία αιγυπτιακή και βαβυλωνιακή επιστήμη; Πώς αξιοποιούνταν και για ποιους λόγους; Ποια ήταν η σχέση τους με τη φύση και τη σύγχρονη εφαρμογή του επιστημονικού μοντέλου;

Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι παρατηρούσαν τον νυχτερινό ουρανό, τις αποστάσεις μεταξύ συγκεκριμένων αστεριών και ευθυγράμμιζαν τις πυραμίδες και τους ναούς του ήλιου με τα τέσσερα βασικά σημεία της γης. Οι Αιγύπτιοι αστρονόμοι παρατηρούσαν τη Μεγάλη Άρκτο και τον Ωρίωνα με ένα όργανο παρόμοιο με τον αστρολάβο, που ονομαζόταν *merchet* και ευθυγράμμιζαν τα θεμέλια των κτηρίων των πυραμίδων με τις θέσεις αυτών των αστερισμών με αξιοσημείωτη ακρίβεια (Canadian Museum of History: <https://www.museedelhistoire.ca/cmc/exhibitions/civil/egypt/egcs03e.html>). Επίσης, ορισμένοι αιγυπτιολόγοι υποστηρίζουν ότι οι τρεις πυραμίδες της Γκίζας αντιπροσωπεύουν τα τρία αστέρια της ζώνης του Ωρίωνα, η Σφίγγα αντιστοιχεί στον αστερισμό Λέοντα και ο Νείλος στον Γαλαξία. Η ιδέα της δημιουργίας ενός ιερού τοπίου στη γη που αντανακλά τον νυχτερινό ουρανό δεν ήταν κάτι ασυνήθιστο στους αρχαίους πολιτισμούς. Υπό την έννοια αυτή οι αιγυπτιακοί ναοί δεν ήταν απλώς τα

σπίτια των θεών αλλά αποτελούσαν και μια μορφή αναπαραστάσεων του σύμπαντος (Memphis University: [https://www.memphis.edu/hypostyle/meaning\\_function/model-universe.php](https://www.memphis.edu/hypostyle/meaning_function/model-universe.php)). Βάσει αυτών, οι αστρονόμοι προέβαιναν σε παρατηρήσεις και προβλέψεις σχετικές με τις αλλαγές των εποχών, όπως λόγου χάρη για τον ερχομό των θερινών μουσώνων ή για τις πλημμύρες του Νείλου ώστε να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα αναφορικά με τις καλλιέργειές τους (Canadian Museum of History: <https://www.museedelhistoire.ca/cmhc/exhibitions/civil/egypt/egcs03e.html>). Οπότε, οι πυραμίδες ή ακόμα και οι ναοί-μοντέλα του σύμπαντος χρησιμοποιούνταν για να διευκολύνουν κατά την παρατήρηση των κινήσεων των άστρων, του ήλιου όπως πίστευαν κατά μήκος του ορίζοντα προκειμένου να επιλύσουν πρακτικά προβλήματα της καθημερινότητας σε συνδυασμό με την λατρεία των θεών και την πραγματοποίηση θρησκευτικών τελετών. Επομένως, η χρήση των ναών ως μοντέλων του σύμπαντος μπορεί να μην εξυπηρετούσε ακριβώς τους ίδιους σκοπούς με τα σύγχρονα μοντέλα, ωστόσο αυτό είναι λογικό καθώς διαμορφώθηκαν 5000 χρόνια πριν και υπό πολύ διαφορετικές κοινωνικές, θρησκευτικές και τεχνολογικές συνθήκες. Σε αυτό το πλαίσιο, τα αιγυπτιακά μνημεία όπως οι πυραμίδες και οι ναοί θα μπορούσαν να θεωρηθούν πρόγονοι της λογικής της κατασκευής και λειτουργίας των σύγχρονων επιστημονικών μοντέλων.

Οι αρχαίοι Βαβυλώνιοι είχαν αναπτύξει σε σημαντικό βαθμό τα μαθηματικά, τα οποία αξιοποιούσαν συστηματικά για αστρονομικές προβλέψεις και την αστρονομία κυρίως για λόγους ημερολογιακούς, θρησκευτικούς και πρακτικούς που σχετίζονταν με τη γεωργία (Lingberg, 1997: 23-26). Παρατηρούσαν τον ουρανό, τις κινήσεις αστεριών και τον ήλιο και διέκριναν τις γεωργικές εποχές με βάση τη θέση ορισμένων αστερισμών σε σχέση με τον ήλιο (Lingberg, 1997: 23-26). Από την Ασσυριακή περίοδο (700 π.Χ.) και μετά, παρατηρείται μια στροφή στη μαθηματική περιγραφή της κίνησης των πλανητών και της σελήνης (Neugebauer, 2003: 136). Περί το 500-300 π.Χ. οι Βαβυλώνιοι αστρονόμοι-ιερείς διαχειρίζονταν μεγάλες ποσότητες αστρονομικών προβλέψεων αξιοποιώντας μαθηματικά μοντέλα με μορφή αριθμητικών προόδων που τους επέτρεπαν να παρακολουθούν τις καθημερινές κινήσεις του ήλιου και της Σελήνης στον ζωδιακό κύκλο (Lingberg, 1997: 25-26). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από αστρονομικούς καταλόγους που συνέταξαν, η μελέτη των οποίων οδήγησε στην ανακάλυψη πολύπλοκων κανονικοτήτων στις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων (Lingberg, 1997: 18). Στην αρχαία Μεσοποταμία, λοιπόν, εντοπίζονται οι ρίζες των

μαθηματικών μοντέλων, η λειτουργία των οποίων στηριζόταν σε αριθμητικές μεθόδους που επέτρεπαν την προβολή των παρατηρήσεων του παρελθόντος στο μέλλον (Lingberg, 1997: 25). Η βαβυλωνιακή μαθηματική αστρονομία στηρίχθηκε σε σχέσεις μεταξύ περιόδων, που δηλώνουν ότι διαστήματα ενός είδους είναι ίσα με διαστήματα άλλου είδους. Παράδειγμα αποτελεί ένας ήλιο-σεληνιακός κανόνας που προϋποθέτει την ύπαρξη μίας σχέσης κατά την οποία  $m$  σεληνιακοί μήνες έχουν ίση διάρκεια με  $n$  σεληνιακά έτη (Neugebauer, 2003: 141). Η αξιοποίηση των μαθηματικών αυτών μοντέλων βοήθησε στην πρόβλεψη της εμφάνισης της νέας σελήνης, των εκλείψεων της σελήνης, πληροφορίες σημαντικές για τα ζητήματα σχετικά με το ημερολόγιο, όπως ο υπολογισμός του μήκους της νύχτας ή της ημέρας κατά τη διάρκεια του έτους.

Βάσει των ανωτέρω, στην αρχαία αιγυπτιακή και βαβυλωνιακή επιστήμη εντοπίζεται η επινόηση ή κατασκευή μοντέλων, τα οποία, όπως και η ίδια η επιστημονική δραστηριότητα της εποχής άλλωστε, αποσκοπούσαν στην εύρεση πρακτικών λύσεων σε προβλήματα της καθημερινής τους ζωής και όχι στην κατάκτηση της γνώσης καθ'εαυτήν. Αυτή είναι και η βασική διαφορά της χρήσης των μοντέλων στους πολιτισμούς αυτούς εν συγκρίσει με την συστηματική και συνειδητή εφαρμογή τους στη σύγχρονη επιστήμη, που εκτός των άλλων εξυπηρετεί και την κατάκτηση της ίδιας γνώσης. Επομένως, όπως οι ρίζες της επιστήμης εντοπίζονται στην αρχαία αιγυπτιακή και βαβυλωνιακή διανοητική δραστηριότητα, έτσι και οι ρίζες της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου τοποθετούνται στην ίδια εποχή.

### **1.3.2.3 Η χρήση των επιστημονικών μοντέλων στην αρχαία ελληνική επιστήμη**

Οι αρχαίοι Έλληνες φαίνεται ότι άφησαν το στίγμα τους στη συνεχή προσπάθεια μελέτης και εξήγησης του φυσικού κόσμου αποσκοπώντας όχι μόνο στην εύρεση πρακτικών λύσεων στα καθημερινά προβλήματα αλλά και στην ερμηνεία των φαινομένων και στην κατάκτηση της γνώσης καθαυτήν. Συνέβαλαν, δηλαδή, στη μετάβαση από την τεχνολογία στην επιστήμη (Farrington, 1989: 19-35). Αυτό επιβεβαιώνεται και από την προσπάθεια εννοιοδότησης της ίδιας της επίπονης αυτής διαδικασίας κατάκτησης της γνώσης περί του φυσικού κόσμου, η οποία από τον Πλάτωνα ονομάστηκε «επιστήμη» και από τον Αριστοτέλη «φυσική φιλοσοφία» (βλ. κεφ. 1.2.3). Εντοπίζονται, όμως, επιστημονικά μοντέλα στη μεθοδολογία των αρχαίων Ελλήνων; Ποιες κατηγορίες μοντέλων εντοπίζονται, πώς αξιοποιούνταν και ποια ήταν η θέση τους στη μεθοδολογία των αρχαίων Ελλήνων; Τα ερωτήματα αυτά μπορούν να

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett

απαντηθούν μέσα από την εξέταση τριών παραδειγμάτων επιστημονικών μοντέλων των αρχαίων Ελλήνων που αποτέλεσαν σημαντικούς σταθμούς στην εξέλιξη της αστρονομίας, της κοσμολογίας και της ιατρικής και εξακολουθούν να προσελκύουν το ενδιαφέρον των σύγχρονων ιστορικών της επιστήμης, φυσικών επιστημόνων, ιατρών και γενικότερα ερευνητών που ενδιαφέρονται για την εξέλιξη της επιστημονικής μεθοδολογίας. Πρώτο μοντέλο που θα εξετάσουμε είναι το γεωκεντρικό μοντέλο του Πτολεμαίου. Δεύτερο παράδειγμα μοντέλου από την κλασική αρχαιότητα είναι η θεωρία του Δημόκριτου για τη δομή του ατόμου στην οποία εντοπίζονται, ίσως, οι ρίζες του πρώτου τα νοητού ή φανταστικού μοντέλου, όπως θα μπορούσε να μεταφραστεί στην ελληνική γλώσσα ο όρος *fiction model*. Ένα νοητό ή φανταστικό μοντέλο θα μπορούσε να οριστεί ως μια διανοητική κατασκευή που αναπαριστά φυσικά αντικείμενα, φαινόμενα, καταστάσεις, τα οποία είναι δύσκολο ή αδύνατο να παρατηρηθούν (Frigg and Hartmann, 2020: ch 2.2). Τρίτο παράδειγμα είναι τα μοντέλα οργανισμών που χρησιμοποιούνταν στην αρχαία ελληνική ιατρική του Ιπποκράτη αλλά και του Γαληνού κατά την Ελληνορωμαϊκή περίοδο.

Οι αρχαίοι Έλληνες είχαν ασχοληθεί εκτενώς με την παρατήρηση των άστρων, του ήλιου και την κίνηση των πλανητών, ενώ φαίνεται ότι είχαν αξιοποιήσει την προϋπάρχουσα αιγυπτιακή και βαβυλωνιακή αστρονομική γνώση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση αρκετών και σημαντικών θεωρητικών μοντέλων του ουρανού (Andrew, 2007: 152). Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το γεωκεντρικό μοντέλο που εισήγαγε ο Πτολεμαίος, το οποίο γνώρισε ιδιαίτερη αναγνώριση και αποδοχή για 1500 χρόνια περίπου (Andrew, 2007: 152). Σύμφωνα με το μοντέλο του Πτολεμαίου, η Γη βρίσκεται στο κέντρο του σύμπαντος και όλα τα άλλα ουράνια σώματα περιστρέφονται γύρω της. Η Γη είναι σφαιρική, ακίνητη και μεγαλύτερη από απ' όλα τα ουράνια σώματα. Γύρω από τη Γη περιφέρονται εκτελώντας ομαλές κυκλικές κινήσεις ή αλλιώς επίκυκλους η Σελήνη, ο Ερμής, η Αφροδίτη, ο Ήλιος, ο Άρης, ο Δίας και ο Κρόνος, ενώ τα υπόλοιπα αστέρια στέκονται πάνω σε μια εξώτερη σφαίρα. Ο επίκυκλος είναι συνδυασμός δύο ομαλών κυκλικών κινήσεων, οι οποίες δεν έχουν κοινό κυκλικό κέντρο και το κέντρο του μικρότερου κύκλου περιφέρεται γύρω από τον μεγαλύτερο κύκλο. Η κίνηση του πλανήτη εξαρτάται από το μέγεθος και την ταχύτητα περιστροφής και των δύο κύκλων. Επομένως, προκύπτουν αρκετές πολύπλοκες τροχιές. Εκτός αυτού, το μοντέλο του Πτολεμαίου βασίστηκε και σε δύο άλλους μηχανισμούς: στον έκκεντρο κύκλο, έναν

κύκλο του οποίου το κέντρο δε συμπίπτει με το κέντρο της Γης, και στον εξισωτή ή το εξισωτικό σημείο (Andrew, 2007: 148· Lloyd, 2003: 283-284). Ο εξισωτής αντιστοιχούσε στο σημείο από όπου ένας υποθετικός παρατηρητής θα έβλεπε τον πλανήτη που περιφέρεται γύρω του σε έναν επίκυκλο, να διανύει σε ίσους χρόνους ίσες γωνίες. Το μοντέλο ήταν τεκμηριωμένο μαθηματικά, γεγονός που επέτρεπε την ασφαλή εξήγηση πολλών αστρονομικών φαινομένων (Andrew, 2007: 149). Με την αξιοποίηση του γεωκεντρικού αστρονομικού μοντέλου ο Πτολεμαίος μπορούσε να εξηγήσει τη μεταβολή και τη φωτεινότητα των πλανητών, τις διακυμάνσεις που παρατηρούνταν στις ταχύτητές τους και επιπλέον μπορούσε να παράσχει σχήματα οπισθόδρομης κίνησης και να εξηγήσει με ακρίβεια το φαινόμενο αυτό (Andrew, 2007: 149). Συγκεκριμένα παρείχε δυνατότητα απεικόνισης και πρόβλεψης των τροχιών του Ηλίου, της Σελήνης και των γνωστών πλανητών επί του επιπέδου της εκλειπτικής. Το γεωκεντρικό μοντέλο ήταν τόσο ακριβές που κυριάρχησε μέχρι την καθιέρωση του ηλιοκεντρικού συστήματος από τον Κοπέρνικο, το οποίο αρχικά είχε προταθεί από τον Αρίσταρχο τον Σάμιο (310-320 π.Χ.) (Andrew, 2007: 151).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ατομική θεωρία που αρχικά φαίνεται ότι επινόησε ο Λεύκιππος και διατύπωσε λεπτομερώς και ανέπτυξε ο Δημόκριτος. Προσπαθώντας να περιγράψουν τη δομή της ύλης πρότειναν ένα νοητό ή φανταστικό μοντέλο (fiction model), μια νοητή διάταξη σύμφωνα με την οποία υπήρχε το κενό μέσα στο οποίο υπήρχαν τα διακριτά, μη διαιρετά και μη μεταβαλλόμενα μικρότερα σωματίδια της ύλης, τα άτομα. Τα άτομα κινούνταν μέσα στο κενό και διατάσσονταν σε ποικίλους συνδυασμούς και σχηματισμούς, γεγονός που αιτιολογούσε τη μεταβολή στον κόσμο. Ο Λεύκιππος και ο Δημόκριτος επί της ουσίας επινόησαν μια νοητή ή φανταστική διάταξη, ένα φανταστικό μοντέλο (fiction model), με βάση το οποίο επιδίωξαν να περιγράψουν σωματίδια, τα οποία λόγω μεγέθους δε μπορούσαν να παρατηρηθούν απευθείας και να δώσουν μια αποδεκτή για τα δεδομένα της εποχής απάντηση αναφορικά με τη δομή και τις μεταβολές της ύλης.

Ένα άλλο ενδιαφέρον παράδειγμα πρώιμου επιστημονικού μοντέλου προέρχεται από το πεδίο της αρχαίας ελληνικής ιατρικής. Παρόλο που οι πρώτες θεραπευτικές πρακτικές αποδίδονται στους αρχαίους Αιγύπτιους και Βαβυλώνιους θεραπευτές, οι ρίζες της συστηματικής ιατρικής επιστήμης τοποθετούνται στη σχολή του Ιπποκράτη κατά τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. καθώς οι ιπποκρατικοί πίστευαν ότι οι ασθένειες δεν αποτελούσαν τιμωρία των θεών στους ανθρώπους για τις αμαρτίες τους αλλά

οφείλονταν σε κάποιο φυσικό αίτιο, το οποίο καλείται να εξαλείψει ο ιατρός (Andrew, 2007: 62-67). Οι ιπποκρατικοί θεμελίωσαν την επιστημονική ιατρική μέσω ενός αρκετά μεγάλου καταλόγου συγγραμμάτων της *Ιπποκρατικής Συλλογής* (*corpus hippocraticum*), βασιζόμενοι στο πείραμα και στη λογική. Προέβαιναν στην παρατήρηση συμπτωμάτων, την ανάπτυξη θεραπευτικών πρακτικών και την προσπάθεια πρόβλεψης ασθενειών (Andrew, 2007: 62-67). Στο πλαίσιο αυτό, αξιοποίησαν συνειδητά για πρώτη φορά τα γνωστά σήμερα animal models, δηλαδή μοντέλα βιολογικών οργανισμών που χαρακτηρίζονταν από συγκεκριμένες ομοιότητες με την ανθρώπινη φυσιολογία, τις οποίες οι ιπποκρατικοί εντόπιζαν μέσω της παρατήρησης των οργανισμών αυτών. Τα μοντέλα αυτά αξιοποιούνταν κατά τα πειράματα των ιπποκρατικών ιατρών προκειμένου να κατανοήσουν, να περιγράψουν, να εξηγήσουν, να προβλέψουν και να θεραπεύσουν συγκεκριμένες ασθένειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα υπήρξε η αξιοποίηση κεφαλών νεκρών αιγών με σκοπό την κατανόηση και περιγραφή της ιερής νόσου, δηλαδή της επιληψίας (Andrew, 2007: 62-67). Μέχρι την εποχή των Ιπποκρατικών, οι επιληπτικές κρίσεις αποδίδονταν στην κατάληψη του ασθενούς από τους θεούς, δηλαδή σε θεϊκή παρέμβαση. Οι Ιπποκρατικοί μη αποδεχόμενοι οποιαδήποτε άλλη αιτία ασθένειας πλην κάποιας φυσικής αιτίας, προέβαιναν σε πειράματα με μοντέλα ζώων που παρουσίαζαν παρόμοια συμπτώματα. Συγκεκριμένα, έχοντας παρατηρήσει ότι παρουσιάζεται στις αίγες παρόμοια ασθένεια με την επιληψία, η οποία χαρακτηρίζεται από όμοια συμπτώματα, προέβαιναν σε ανατομία και μελέτη του εγκεφάλου τους, μετά το θάνατό τους. Παρατήρησαν, λοιπόν, ότι ο εγκέφαλος των κατσικών που είχαν νοσήσει από ασθένεια παρόμοια με την επιληψία, ήταν υγρός και μύριζε άσχημα (Andrew, 2007: 62-67· Lloyd, 2003: 73-75). Σε ένα πρώτο στάδιο, λοιπόν, μέσω της αξιοποίησης των συγκεκριμένων μοντέλων απέδειξαν ότι ο εγκέφαλος μιας κατσίκας που είχε κρίσεις παρόμοιες με τις επιληπτικές είχε διαφορετική υφή και μυρωδιά από εκείνον μιας υγιούς κατσίκας, γεγονός που ενισχύει την άποψη κατά την οποία η αιτία της νόσου ήταν φυσική και όχι θεϊκή. Σύμφωνα με τους ιπποκρατικούς, εάν αυτό ίσχυε για τις κατσίκες, ίσχυε και για τους ανθρώπους, καθώς η αιτία της νόσου οφειλόταν στην συσσώρευση υγρού γύρω από τον εγκέφαλο (Lloyd, 2003:74). Υπό αυτή την έννοια τα κεφάλια των αιγών λειτουργούσαν ως μοντέλα αναλογίας του ανθρώπινου εγκεφάλου λόγω της ομοιότητας των συμπτωμάτων των επιληπτικών κρίσεων ανάμεσα σε αίγες και

ανθρώπους και αξιοποιούνταν προκειμένου να εντοπιστεί το βασικό φυσικό αίτιο που προκαλούσε την ασθένεια στους ανθρώπους.

Η αξιοποίηση μοντέλων οργανισμών επεκτάθηκε ακόμα περισσότερο κατά την Ελληνορωμαϊκή περίοδο από τον Γαληνού (2<sup>ος</sup> αι μ.Χ.), ο οποίος ασχολήθηκε συστηματικά με την ανατομία και τη φυσιολογία του ανθρώπινου οργανισμού και προέτρεπε τους ιατρούς να προβαίνουν σε παρατήρηση όχι μόνο του ανθρώπινου οργανισμού αλλά και του οργανισμού ζωντανών ή νεκρών ζώων. Συγκεκριμένα, ο Γαληνός προέτρεπε τους ιατρούς να πραγματοποιούν ανατομία νεκρών στρατιωτών αλλά και ζώων που μοιάζουν με τον άνθρωπο, όπως πιθήκων, προκειμένου να εξοικειωθούν και να μπορούν να περιγράψουν το σώμα εσωτερικά, τα όργανα, τα οστά και τα σπλάχνα (Lloyd, 2003: 392-393). Αναφορικά με τους πιθήκους, ο Γαληνός είχε υποστηρίξει ότι συγκριτικά με τα υπόλοιπα ζώα αποτελούν το ομοιότερο με τον άνθρωπο, όσον αφορά στα σπλάχνα, τους μύες, τις αρτηρίες, τις φλέβες, τα νεύρα και τη διάταξη των οστών (Andrew, 2007: 199-206). Ο ίδιος ο Γαληνός αξιοποίησε πολλά ζώα ως μοντέλα αναλογίας, όπως χοίρους, ερίφια, πιθήκους ακόμη και έναν ελέφαντα (Lloyd, 2003: 392-393). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα πειράματα που πραγματοποίησε σε έναν ζωντανό χοίρο κατά την προσπάθειά του να διευκρινίσει ποια μέρη του σώματος ελέγχονται από τα νεύρα που εκφύονται από τον νωτιαίο μυελό. Προέβαινε σε τμήσεις του νωτιαίου μυελού του χοίρου σε ύψος κάθε σπονδύλου με ανιούσα κατεύθυνση και παρατηρούσε ποιες λειτουργίες του χοίρου έπαυαν με κάθε τμήση (Andrew, 2007: 203).

Εξετάζοντας τα τρία αυτά παραδείγματα παρατηρούμε ότι παρόλο που δεν έχει εντοπιστεί κάποια γραπτή πηγή που να αναφέρεται ρητά και να ορίζει την έννοια του επιστημονικού μοντέλου στο πλαίσιο της αρχαίας ελληνικής επιστήμης, η τεχνική του μοντέλου αξιοποιούνταν συνειδητά, άλλες φορές περισσότερο άλλες φορές λιγότερο συστηματικά σε διάφορους τομείς της αρχαίας ελληνικής διανοητικής δραστηριότητας με τρόπο όμοιο προς τη σύγχρονη εφαρμογή του. Επίσης, παρατηρούμε ότι αξιοποιούνταν διαφορετικές κατηγορίες μοντέλων, θεωρητικά μοντέλα όπως το γεωκεντρικό μοντέλο του Πτολεμαίου, νοητά ή φανταστικά μοντέλα όπως το μοντέλο της δομής της ύλης του Δημόκριτου, αλλά και μοντέλα αναλογίας, όπως τα μοντέλα οργανισμών των ιπποκρατικών και του Γαληνού. Και στις τρεις αυτές περιπτώσεις η επινόηση, διαμόρφωση ή επιλογή του κάθε μοντέλου αποσκοπούσε στην κατάκτηση της γνώσης για ένα σύστημα που δεν μπορούσε να εξεταστεί απευθείας. Έτσι οι



σπουδαίοι αυτοί διανοούμενοι μοντελοποίησαν το σύστημα που διερευνούσαν προκειμένου να περιγράψουν, να εξηγήσουν και να είναι σε θέση να προβούν σε προβλέψεις για αυτό, με ικανοποιητική για τα δεδομένα της εποχής ακρίβεια. Ο σκοπός, λοιπόν, της επινόησης, επιλογής ή κατασκευής των μοντέλων στον αρχαίο ελληνικό κόσμο φαίνεται ότι είναι ο ίδιος με τον αντίστοιχο σκοπό εφαρμογής τους στη σύγχρονη επιστήμη. Επομένως, όπως η αρχή της επιστήμης τοποθετείται στην αρχαία Ελλάδα έτσι και η αρχή της συνειδητής χρήσης του μοντέλου θα πρέπει να τοποθετηθεί και αυτή στην αρχαία ελληνική επιστημονική μεθοδολογία.

### **1.3.2.4 Η περίοδος του Μεσαίωνα**

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, η μακρά περίοδος του Μεσαίωνα δεν αποτέλεσε ευνοϊκό πεδίο ανάπτυξης και εκτεταμένης αξιοποίησης τεχνικών όπως των επιστημονικών μοντέλων. Ωστόσο, η διατήρηση, η μετάφραση, ο σχολιασμός των αρχαίων κειμένων, και προς τα τέλη του Μεσαίωνα η υιοθέτηση των υποθέσεων κατά την ερευνητική διαδικασία, αποτελούν γεγονότα που αναδεικνύουν τη σημασία και τη συμβολή αυτής της περιόδου στην ανάπτυξη της επιστήμης. Προς τα τέλη του Μεσαίωνα και συγκεκριμένα μετά τα μέσα του 14<sup>ου</sup> αιώνα, ορισμένοι φυσικοί φιλόσοφοι αρχίζουν όλο και πιο συστηματικά να εφαρμόζουν μαθηματικές μεθόδους κατά την προσπάθεια περιγραφής φυσικών φαινομένων ή επίλυσης φυσικών προβλημάτων. Οι φυσικοί αυτοί φιλόσοφοι εκείνης της περιόδου, που είναι γνωστοί και ως υπολογιστές (calculatores), διατύπωσαν σημαντικά θεωρήματα για την κίνηση, την οποία αντιμετώπιζαν σαν μια ιδιότητα και προσπαθούσαν να την εξηγήσουν μέσω μαθηματικών θεωρημάτων και μεθόδων (Grant, 2016: 232-236). Παράδειγμα αποτελεί η πρόταση μιας μαθηματικής συνάρτησης από τον Τόμας Μπραντγουάρντιν. Ο Μπραντγουάρντιν απέρριψε την περιγραφή της κίνησης του Αριστοτέλη που είχε εκφραστεί με όρους αναλογικότητας στη γλώσσα των μαθηματικών και την αντικατέστησε με μια συνάρτηση με όρους αναλογικότητας γεωμετρικών σχημάτων, την οποία συμπεριέλαβε στο βιβλίο του *Πραγματεία περί αναλογιών*, μια πραγματεία πάνω στη μαθηματική φυσική (Grant, 2016: 231-232). Σε αυτό το πλαίσιο, σταδιακά ξεκινούν οι ζυμώσεις που θα οδηγήσουν στην αλλαγή της επιστημονικής μεθόδου και τη στροφή των φυσικών φιλοσόφων από τη μελέτη και τον σχολιασμό των αρχαίων συγγραμμάτων στη μελέτη του φυσικού κόσμου μέσω του πειραματισμού και της ανάπτυξης πειραματικών τεχνικών, όπως των επιστημονικών μοντέλων.

### **1.3.2.5 Η αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων μετά την επιστημονική επανάσταση και τον Διαφωτισμό (17<sup>ος</sup>-19<sup>ος</sup> αι.)**

Η επιστημονική επανάσταση και οι ιδέες του Διαφωτισμού οδήγησαν σταδιακά στη διαμόρφωση μίας διαφορετικής αντίληψης για τον κόσμο και στον επαναπροσδιορισμό της επιστημονικής μεθοδολογίας. Οι επιστήμονες μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα στρέφονται στον ίδιο τον κόσμο και τον ερευνούν μέσω του συστηματικού πειραματισμού, της λογικής σκέψης και της αξιοποίησης των μαθηματικών, τα οποία συμβάλλουν στη διατύπωση νόμων, ενώ παράλληλα αυτή την περίοδο οι φυσικές επιστήμες γνωρίζουν ιδιαίτερη άνθηση (Hankins, 1998: 12). Ο συστηματικός πειραματισμός γίνεται μέρος της λογικής προσέγγισης της φύσης, γεγονός που συμβάλλει στην κατασκευή πειραματικών οργάνων μέτρησης, στην ανάπτυξη τεχνικών και στην αξιοποίηση μηχανισμών και επιστημονικών μοντέλων ικανών να συμβάλλουν στην εξήγηση και πρόβλεψη των φαινομένων (Hankins, 1998: 67-73· Butterfield, 2010: 95). Στο γενικότερο αυτό πλαίσιο ευνοήθηκε σημαντικά η ανάπτυξη και η συστηματική αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων. Οι επιστήμονες αντιλήφθηκαν τον ρόλο και τη σημασία των τεχνικών αυτών και ενέταξαν στη μεθοδολογία τους ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών μοντέλων, τα οποία υιοθετήθηκαν σε πρώτο στάδιο από τις φυσικές επιστήμες.

Παρόλο που η συνειδητή αξιοποίηση διαφόρων κατηγοριών επιστημονικών μοντέλων εντοπίζεται ήδη στην αρχαία ελληνική επιστήμη, ο πρώτος επιστήμονας που φαίνεται ότι αντιλήφθηκε την έννοια και τη σημασία του μοντέλου ως σύγχρονου επιστημονικού εργαλείου των φυσικών επιστημών και της μηχανικής ήταν ο Ισαάκ Νεύτωνας, ο οποίος στα τέλη του 17<sup>ο</sup> αιώνα ασχολήθηκε και με τις έννοιες της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων.

Στην έννοια των όμοιων συστημάτων του Νεύτωνα εντοπίζονται οι ρίζες της σύγχρονης έννοιας του επιστημονικού μοντέλου που, επί της ουσίας, αποτελεί ένα σύστημα όμοιο ως προς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με το μη προσβάσιμο σύστημα που ο επιστήμονας επιδιώκει να εξετάσει υπό το πρίσμα συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης (βλ. κεφ. 1.2.5) (Γρηγοριάδου, 2021: 149). Η υπόθεση, κατά την οποία ο Νεύτωνας είχε αντιληφθεί την έννοια και τη σημασία αυτού που σήμερα ονομάζουμε επιστημονικό μοντέλο, επιβεβαιώνεται και από τον καθηγητή Ιστορίας και Φιλοσοφίας της επιστήμης Simon Schaffer, ο οποίος παρέθεσε την εξής παρατήρηση του Νεύτωνα: «Εάν διαφορετικών σχημάτων πλοία κατασκευάζονταν αρχικά ως μικρά μοντέλα και συγκρίνονταν μεταξύ τους, θα μπορούσε κάποιος με αυτή την οικονομική μέθοδο να

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett

δοκιμάσει ποιο είναι το καλύτερο για πλοήγηση» (Schaffer, 2006: 90· Γρηγοριάδου, 2021: 149)

Η προσέγγιση αυτή προσομοιάζει αρκετά με τη σύγχρονη έννοια των μοντέλων κλίμακας που αξιοποιούνται ευρέως σε πολλά επιστημονικά πεδία. Φαίνεται, λοιπόν, ότι ο Νεύτωνας αντιλήφθηκε την έννοια, τη σημασία του επιστημονικού μοντέλου στην επιστημονική μεθοδολογία της μηχανικής, αλλά και την εξοικονόμηση πόρων που μπορούσε να προκύψει από την αξιοποίησή της τεχνικής των μοντέλων. Οι ιδέες του Νεύτωνα αναφορικά με τα όμοια συστήματα και τα επιστημονικά μοντέλα αποτέλεσαν την αφετηρία για την περαιτέρω διερεύνηση των δύο αυτών εννοιών, τροφοδοτώντας μια σειρά θεωριών από ερευνητές προερχόμενους κυρίως από τα πεδία των φυσικών επιστημών και της μηχανικής (Γρηγοριάδου, 2021: 150).

Η ιδέα αυτή του Νεύτωνα υλοποιήθηκε, εκτός άλλων περιπτώσεων, και στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα με τα πειράματα μοντέλων πλοίων που διεξήγαγε ο Άγγλος μηχανικός William Froude (Froude, 1874: 36-59· Sterrett, 2017(b): 389-393). Ο Froude, ο οποίος ασχολήθηκε με ζητήματα υδροδυναμικής και με τον σχεδιασμό πλοίων, αξιοποίησε την έννοια των όμοιων συστημάτων για να επιλύσει σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζονταν κατά την κατασκευή πλοίων για το αγγλικό ναυτικό και σχετιζόνταν με τη σταθερότητα, την ταχύτητα των πλοίων και την αλληλεπίδρασή τους με το νερό σε κατάσταση κίνησης ή ακινησίας (Sterrett, 2017(b): 389-393). Στην περίπτωση του Froude, όπως και στου Νεύτωνα, η ιδέα των όμοιων συστημάτων σχετίζεται με την ιδέα συσχέτισης ποσοτήτων μίας κατάστασης με αντίστοιχες ποσότητες μιας άλλης κατάστασης (Sterrett, 2017(b): 389-393· Γρηγοριάδου, 2021: 150). Συγκεκριμένα, ο Froude προχωρούσε σε πειράματα με μοντέλα κλίμακας πλοίων πολύ μικρότερου μεγέθους και χρησιμοποιούσε τα συμπεράσματα των πειραμάτων του, προβαίνοντας στους κατάλληλους υπολογισμούς, για πλοία πλήρους μεγέθους (Sterrett, 2017(b): 389-393). Αντίστοιχα μοντέλα αναλογίας αξιοποιήθηκαν και σε πολλά άλλα πεδία, όπως στην αστροφυσική, στην κοσμολογία, στον ηλεκτρομαγνητισμό, στη γεωφυσική, στην ηφαιστειολογία και σε πολλούς τομείς της μηχανικής (Sterrett, 2017(a): 857-8· Γρηγοριάδου, 2021: 150).

Η αναφορά στην περίπτωση του Froude κρίνεται σημαντική καθώς μέσω των πειραμάτων που πραγματοποίησε αξιοποιώντας μοντέλα κλίμακας πλοίων οδηγήθηκε στη διατύπωση νόμων για την αλληλεπίδραση των πλοίων με το νερό (όπως η εξίσωση ταχύτητας) και για την πρόβλεψη αναφορικά με τη σταθερότητά τους. Σημαντική

συμβολή του υπήρξε ο αριθμός Froude (Fr), ένας αριθμός χωρίς διάσταση που βασίζεται στην αναλογία ταχύτητας-μήκους και εκφράζεται μέσω του τύπου:  $Fr = u / \sqrt{gL}$ . Επομένως, η εκτεταμένη και συστηματική πειραματική εφαρμογή των μοντέλων πλοίων στο πλαίσιο της μεθοδολογίας του Froude δεν έδωσε απλώς πρακτικές λύσεις αναφορικά με τον σχεδιασμό και την κατασκευή των πλοίων αλλά οδήγησε και στην ενίσχυση της υπάρχουσας θεωρίας αναφορικά με την σταθερότητα τους και την αλληλεπίδρασή τους με το νερό σε κατάσταση κίνησης ή ακινησίας. Η μεθοδολογία του Froude και η ανατροφοδότηση της υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης που προκύπτει από αυτήν ενισχύει το υποστηριζόμενο σε αυτή τη διατριβή επιχείρημα υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας. Δεδομένου, δηλαδή, ότι η αξιοποίηση των μοντέλων κλίμακας πλοίων οδήγησε τον Froude στη διατύπωση των νόμων για την αντίσταση του νερού στα πλοία αλλά και του αριθμού Froude, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η πειραματική εφαρμογή των μοντέλων κλίμακας είναι ικανή να οδηγήσει σε σημαντικά επιστημονικά συμπεράσματα, στη διατύπωση επιστημονικών νόμων και αρχών καθολικά εφαρμόσιμων και υπό αυτούς τους όρους αφού η αξιοποίηση των μοντέλων κλίμακας ενισχύει την επιστημονική γνώση, τότε αυτά πρέπει να αναγνωρίζονται και να αντιμετωπίζονται ως επίσημες επιστημονικές τεχνικές. Η περίπτωση του Froude αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα που ενισχύει την συγκεκριμένη θέση που υποστηρίζεται σε αυτή την έρευνα.

Επίσης, στη μεθοδολογία του Froude θα μπορούσαν να ανιχνευθούν οι ρίζες των σύγχρονων προσομοιώσεων μέσω της κατασκευής μαθηματικών προτύπων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η πειραματική αξιοποίηση των μοντέλων κλίμακας του Froude, δηλαδή, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως πρόγονος της λογικής των σύγχρονων προσομοιώσεων πλεύσης ή πτήσης στην περίπτωση των αεροσκαφών μέσω των σύγχρονων προηγμένων προγραμμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών καθώς ο σκοπός της αξιοποίησής τους συνοψίζεται στην παραγωγή προσομοιώσεων, που βασίζονται σε σχέσεις ομοιότητας. Συγκεκριμένα, μέσω της αξιοποίησης των μοντέλων κλίμακας πλοίων όπως και των αντίστοιχων υπολογιστικών μοντέλων προσομοιώσεων επιδιώκεται η αναπαράσταση και δοκιμή πλεύσης μοντέλων πλοίων με σκοπό την επέκταση των συμπερασμάτων σε πλοία πλήρους μεγέθους, με απώτερο σκοπό την εξασφάλιση των απαιτούμενων πληροφοριών που θα οδηγήσουν στον σωστό σχεδιασμό και στην κατασκευή τους κατά τρόπο που να εξασφαλίζει την αποτελεσματική και ασφαλή λειτουργία τους. Υπό αυτούς τους όρους, παρόλο που η

φύση των δύο αυτών τύπων επιστημονικών μοντέλων είναι σαφώς διαφορετική, ο σκοπός διαμόρφωσης και ο τρόπος αξιοποίησης τους οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα μοντέλα προσομοίωσης ηλεκτρονικών υπολογιστών αποτελούν μια εξέλιξη των μοντέλων κλίμακας μηχανών, όπως αυτά που είχε αξιοποιήσει εκτενώς ο Froude, που ακολουθεί τα δεδομένα της σύγχρονης επιστήμης και τεχνολογίας και βρίσκει εύρος εφαρμογών. Δεδομένου μάλιστα ότι τα μαθηματικά πρότυπα βάσει των οποίων λειτουργούν τα σύγχρονα μοντέλα προσομοίωσης είναι ικανά να περιορίσουν σημαντικά την εμπλοκή του ανθρώπινου παράγοντα στην πειραματική διαδικασία, αυστηροποιούν ακόμα περισσότερο τα κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και υπό εξέταση συστήματος. Για αυτούς τους λόγους, η περίπτωση του Froude είναι από τις σημαντικότερες και πιο αντιπροσωπευτικές αναφορικά με τη συμβολή της πειραματικής εφαρμογής των επιστημονικών μοντέλων κλίμακας στην ανατροφοδότηση των επιστημονικών θεωριών και κατ' επέκταση της ίδιας της επιστήμης, ενώ ταυτόχρονα η επιστημονική αξιοποίηση των μοντέλων κλίμακας αποτελεί σταθμό στην ίδια την ιστορική εξέλιξη της αντίληψης και εφαρμογής της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου στα πεδία της μηχανικής.

Μία άλλη σημαντική κατηγορία μοντέλων που αναπτύχθηκε τον 17<sup>ο</sup> αιώνα είναι τα μαθηματικά ή υπολογιστικά μοντέλα. Η ανάγκη εξοικονόμησης χρόνου, πνευματικής προσπάθειας και περιορισμού του ανθρώπινου σφάλματος οδήγησε στον σχεδιασμό και την κατασκευή μίας ποικιλίας εργαλείων υπολογισμού (Randell, 1982: 1-6). Το 1642 ο Blaise Pascal, Γάλλος μαθηματικός, φυσικός και φιλόσοφος, κατασκεύασε την πρώτη υπολογιστική μηχανή, την οποία αργότερα εξέλιξε ο Άγγλος μαθηματικός Moreland Samuel (Γρηγοριάδου, 2021: 150). Το 1671 ο Gottfried Wilhelm Leibniz επινόησε μια υπολογιστική μηχανή πολλαπλασιασμού, την οποία κατασκεύασε το 1694. Τα υπολογιστικά αυτά μοντέλα που θεωρούνται πρόγονοι των ηλεκτρονικών υπολογιστών αξιοποιήθηκαν ευρέως κατά τον πειραματισμό των φυσικών επιστημών (Randell, 1982: 1-6). Ακολούθησε η μέθοδος λογαρίθμων που εισήγαγε ο Σκωτσέζος μαθηματικός John Napier, στους οποίους αργότερα βασίστηκε η κατασκευή των μαθηματικών μοντέλων προσομοίωσης μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα οποία σήμερα χρησιμοποιούνται σε ένα εύρος εφαρμογών, όπως για παράδειγμα οι προσομοιωτές πτήσης (Randell, 1982: 1-6· Γρηγοριάδου, 2021: 150).

Ένα άλλο ενδιαφέρον παράδειγμα προέρχεται από τη φυσική και είναι τα μηχανικά μοντέλα που αναπτύχθηκαν κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα μαζί με τις αντίστοιχες εξισώσεις με

σκοπό να μοντελοποιήσουν και κατ' επέκταση να περιγράψουν ή να εξηγήσουν συγκεκριμένα φαινόμενα, τα οποία υποδηλώνουν οι εν λόγω εξισώσεις (Sterrett, 2005(a): 2-4· Γρηγοριάδου και συν, 2018: vol.3, 51). Χαρακτηριστικό παράδειγμα προς αυτή την κατεύθυνση αποτελεί η συμβολή του Βρετανού φυσικού James Clerk Maxwell. Ο Maxwell υπήρξε κορυφαίος θεωρητικός φυσικός και αναγνωρίζεται από πολλούς ως ο θεμελιωτής της σύγχρονης ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας καθώς διατύπωσε μια σειρά εξισώσεων μέσω των οποίων ενοποιήθηκαν προηγούμενες παρατηρήσεις, πειράματα και εξισώσεις ηλεκτρισμού, μαγνητισμού και οπτικής σε μία θεωρία, οι οποίες φαινόταν ότι δεν είχαν σχέση μεταξύ τους (Χριστοδουλίδης, 1979: 259-260, 331· Θεοδοσίου, 2019: 4-5, 11-12). Η θεωρία του κλασικού ηλεκτρομαγνητισμού δείχνει ότι ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός και το φως είναι εκδηλώσεις του ίδιου φαινομένου, δηλαδή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, λοιπόν, είναι το μηχανικό μοντέλο ηλεκτροδυναμικών εξισώσεων που ανέπτυξε ο Maxwell στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, προκειμένου να περιγράψει τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα (Sterrett, 2005(a): 2-4· Γρηγοριάδου και συν., 2018: vol.3, 51) και μέσω της αξιοποίησής του οδηγήθηκε στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού είναι παραπλήσια με αυτή του φωτός (Θεοδοσίου, 2019: 4-5, 11-12).

Σύμφωνα με σημαντική παρατήρηση του Maxwell «η προσπάθεια να φανταστούμε ένα επιτυχές μοντέλο δεν είναι παρά μια απόδειξη ότι μπορούμε να φανταστούμε έναν μηχανισμό ικανό να παραγάγει μια σχέση που να ισοδυναμεί μηχανικά με την πραγματική σχέση των μερών του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου». Επίσης, ο ίδιος συμπληρώνει ότι «Το πρόβλημα του καθορισμού του μηχανισμού που απαιτείται για τη διατύπωση ενός δεδομένου είδους σχέσης ανάμεσα στις κινήσεις των μερών ενός συστήματος επιδέχεται πάντοτε έναν άπειρο αριθμό λύσεων» (Χριστοδουλίδης, 1979: 258). Μια σημαντική παρατήρηση που προκύπτει από την προσέγγιση αυτή είναι ότι ο Maxwell συνδέει την έννοια του επιστημονικού μοντέλου με την έννοια ενός μηχανισμού ικανού να αναπαραστήσει με συνέπεια, σχέσεις συστημάτων, μια ιδέα που συναντάται συχνά μέχρι σήμερα σε διάφορα πεδία της μηχανικής.

Μέχρι τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, η επιστημονική τεχνική των μοντέλων αναπτύχθηκε με ραγδαίους ρυθμούς και επεκτάθηκε σε όλα τα πεδία των φυσικών επιστημών. Οι επιστήμονες αντιλαμβάνονταν τα μοντέλα ως εργαλεία ή τεχνικές που θα τους βοηθούσαν κατά την προσπάθεια περιγραφής, εξήγησης και πρόβλεψης μη προσιτών

τμημάτων του κόσμου και κατ' επέκταση θα τους επέτρεπαν να γνωρίσουν τον κόσμο. Ωστόσο, την περίοδο αυτή δεν παρατηρείται αντίστοιχη προσπάθεια ορισμού, θεωρητικής τεκμηρίωσης και κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων (Γρηγοριάδου, 2021: 151). Προτεραιότητα στους κύκλους των φυσικών επιστημόνων αποτελεί η εφαρμογή και όχι η προσπάθεια εννοιολόγησής τους, ενώ στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης δεν παρατηρείται έντονη προσπάθεια εξέτασης της έννοιας μέχρι τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Γρηγοριάδου, 2021: 151).

Από την εξέταση της ιστορικής εξέλιξης της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου οδηγούμαστε σε σημαντικά συμπεράσματα που συνηγορούν υπέρ της επικύρωσης της ερευνητικής υπόθεσης της παρούσας διατριβής. Η έννοια του επιστημονικού μοντέλου σε κάθε εξελικτικό της στάδιο από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα συνδέεται με την έννοια της ομοιότητας. Μέσα από την εξέταση χαρακτηριστικών παραδειγμάτων αξιοποίησης επιστημονικών μοντέλων αναδεικνύεται ο ρόλος της ομοιότητας κατά την εφαρμογή του επιστημονικού μοντέλου. Ήδη από την εξέταση της περίπτωσης του κύκλου των πετρών της Nabta Playa και αργότερα των αιγυπτιακών μοντέλων ναών ή των μοντέλων οργανισμών στην αρχαία ελληνική ιατρική γίνεται αντιληπτό ότι η ομοιότητα καθόριζε τη λειτουργία αυτών κατά την επιλογή ή κατασκευή τους, αλλά και κατά την επέκταση των συμπερασμάτων από τα μοντέλα στα υπό διερεύνηση συστήματα. Επίσης, μετά την επιστημονική επανάσταση και τον διαφωτισμό που η μαθηματική εξήγηση της φύσης γίνεται αποδεκτή ως αντικειμενικότερος τρόπος κατάκτησης της γνώσης περί τον φυσικό κόσμο ενώ ταυτόχρονα η τεχνική του μοντέλου αξιοποιούνταν συστηματικά, παρατηρείται μια τάση προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και συστήματος στόχου βάσει μαθηματικών κριτηρίων, η οποία εδραιώνεται ακόμα περισσότερο μετά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα στις φυσικές επιστήμες και στα πεδία της μηχανικής, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα πειράματα του Froude με τα μοντέλα κλίμακας πλοίων, κατά τα οποία η ομοιότητα προσδιοριζόταν βάσει μαθηματικών υπολογισμών. Η ιστορία της αξιοποίησης της τεχνικής του μοντέλου, αναδεικνύει τη σημασία του εντοπισμού της ομοιότητας κατά τη λειτουργία του μοντέλου. Χωρίς τον σαφή προσδιορισμό συγκεκριμένης ομοιότητάς του με το υπό εξέταση σύστημα, το μοντέλο δεν δύναται να επιτελέσει τη βασική του λειτουργία, δηλαδή την αναπαραστατική λειτουργία. Σε αυτό το πλαίσιο, από την ιστορική ανασκόπηση της έννοιας και της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου προκύπτει ότι η ομοιότητα αποτελεί τον βασικό

μηχανισμό που καθορίζει την αναπαραστατική λειτουργία του μοντέλου. Μάλιστα στην περίπτωση των μοντέλων κλίμακας, που αποτελούν μια ιδιαιτέρως εκτεταμένη υποκατηγορία των μοντέλων αναλογίας και τα οποία επιλέγονται ή κατασκευάζονται επειδή το μέγεθος του υπό διερεύνηση συστήματος δεν επιτρέπει την απευθείας εξέτασή του, θα λέγαμε ότι η ομοιότητα αποτελεί τον μηχανισμό κλίμακας από το μοντέλο στο υπό διερεύνηση σύστημα, έναν μηχανισμό που προκειμένου να οδηγήσει στην αποτελεσματική λειτουργία του μοντέλου θα πρέπει να προσδιορίζεται και να λειτουργεί βάσει αυστηρών μαθηματικών κριτηρίων. Σε ποιόν βαθμό, όμως, έχει γίνει κατανοητός μέχρι σήμερα ο ρόλος του μηχανισμού της ομοιότητας στη λειτουργία των επιστημονικών μοντέλων στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης; Το ζήτημα αυτό διερευνάται στη συνέχεια.

### **1.3.2.6 Η προσπάθεια κατανόησης και ορισμού των επιστημονικών μοντέλων στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης (20<sup>ος</sup>-21<sup>ος</sup> αι.)**

Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα τα επιστημονικά μοντέλα πλέον αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της επιστημονικής πειραματικής μεθοδολογίας και παρατηρούνται σημαντικές προσπάθειες κατανόησης, ορισμού, κατηγοριοποίησης των διαφορετικών ειδών επιστημονικών μοντέλων και θεωρητικής τεκμηρίωσης τους στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης (Γρηγοριάδου, 2021: 151-152).

Από το 1920 έως το 2020, διατυπώθηκαν σημαντικές θεωρητικές προσεγγίσεις της έννοιας του μοντέλου από φιλοσόφους της επιστήμης, η πλειοψηφία των οποίων μέχρι τουλάχιστον τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα συνέδεε τα μοντέλα με την έννοια των θεωρητικών δομών ή των μαθηματικών μοντέλων (Χριστοδουλίδης, 1979: 242-243· Γρηγοριάδου, 2021: 151-152). Από τα μέσα έως τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα, η πλειοψηφία των φιλοσόφων της επιστήμης αντιλαμβάνεται τα μοντέλα ως ενδιάμεσα στάδια μεταξύ θεωρίας και πραγματικού κόσμου (Sterrett, 2005· Sterrett, 2002) που κατασκευάζονται ή επινοούνται βάσει της θεωρίας και χρησιμοποιούνται προκειμένου να συμβάλλουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για φαινόμενα, συστήματα ή καταστάσεις που υφίστανται στον πραγματικό κόσμο (Sterrett, 2005· Sterrett, 2002). Στο πλαίσιο αυτό, ορισμένες κατηγορίες μοντέλων όπως για παράδειγμα φυσικά αντικείμενα που λειτουργούν ως τα μοντέλα κλίμακας, δεν θεωρούνται “επίσημα” επιστημονικά εργαλεία. Η προσέγγιση αυτή δε γίνεται αποδεκτή, κυρίως, από τους φυσικούς επιστήμονες και τους μηχανικούς και από αρκετούς φιλοσόφους της

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett



επιστήμης των αρχών του 21<sup>ου</sup> αιώνα, οι οποίοι στηρίζουν την ένστασή τους στο επιχείρημα κατά το οποίο τα επιστημονικά μοντέλα εκτελούν δύο ουσιαστικά διαφορετικές αναπαραστατικές λειτουργίες. Αφενός, ένα μοντέλο μπορεί να λειτουργεί ως αναπαράσταση ενός επιλεγμένου μέρους του κόσμου, του «συστήματος στόχου», αφετέρου μπορεί να αντιπροσωπεύει μια θεωρία (Frigg and Hartmann, 2020). Αυτές οι δύο έννοιες δεν αλληλοαποκλείονται καθώς τα επιστημονικά μοντέλα μπορούν να είναι αναπαραστάσεις και με τις δύο έννοιες ταυτόχρονα (Frigg and Hartmann, 2020). Αν αναλογιστούμε ότι τα επιστημονικά μοντέλα μπορούν να εκτελούν κατά γενική παραδοχή τις δύο αυτές διαφορετικές αναπαραστατικές λειτουργίες, η προσέγγιση των φιλοσόφων της επιστήμης του 20<sup>ου</sup> αιώνα πράγματι αποδεικνύεται αποσπασματική (Γρηγοριάδου και συν, 2018: vol.3, 48). Από τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα η άποψη αυτή σταδιακά εγκαταλείπεται και οι σύγχρονοι πλέον φιλόσοφοι της επιστήμης αναγνωρίζουν και αυτή την κατηγορία μοντέλων ως “επίσημες” επιστημονικές τεχνικές που θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω (Γρηγοριάδου, 2021: 152).

Πολλοί σύγχρονοι φιλόσοφοι της επιστήμης, όπως η Mary Hesse, υποστηρίζουν ότι η φιλοσοφική συζήτηση για τα επιστημονικά μοντέλα ξεκίνησε από τον Norman Campbell, Άγγλο φυσικό και φιλόσοφο της επιστήμης, το 1920 (Hesse, 1967: 354–356). Ο Campbell, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell, υποστήριξε ότι μια επεξηγηματική θεωρία στη φυσική αποτελείται από ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων και ορισμένοι από τους όρους που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις εξισώσεις μπορούν να ερμηνευθούν από την άμεση παρατήρηση, όπως το σχήμα, η θέση, το μέγεθος, το βάρος, η υφή, το χρώμα, η θερμοκρασία κ.α. (Hesse, 1967: 354–356· Γρηγοριάδου, 2021: 152). Αυτές οι ερμηνείες ονομάστηκαν από τον Campbell “bridge principles” ή “dictionary”. Ο Campbell αντιλαμβάνεται τα μοντέλα ως ερμηνείες μη παρατηρήσιμων όρων που αποτελούν ουσιαστικά στοιχεία της θεωρίας και όχι απλές μαθηματικές διατυπώσεις ή απλές συσκευές επιστημονικής ανακάλυψης (Hesse, 1967: 354-356· Γρηγοριάδου, 2021: 152).

Μετά την προσέγγιση του Campbell, ξεκινά στη φιλοσοφία της επιστήμης ένας διάλογος αναφορικά με τα μοντέλα, ο οποίος συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Από το 1936 έως το 1960 περίπου, διατυπώθηκαν διάφορες προσεγγίσεις που αντιμετώπιζαν τα μοντέλα κυρίως ως θεωρητικές δομές, όπως η θεωρία του Alfred Tarski, ο οποίος αντιλήφθηκε το μοντέλο ως μια μη γλωσσική οντότητα, στην οποία προβάλλεται ένα σύνολο προτάσεων και το όρισε ως μια δυνατή συγκεκριμένη πραγματοποίηση μίας

θεωρίας, στην οποία ικανοποιούνται όλες οι προτάσεις της. Ο Tarski, επί της ουσίας, αντιλήφθηκε και όρισε το μοντέλο ως μια συγκεκριμένη παράσταση μιας θεωρίας (Χριστοδουλίδης, 1979: 246). Ο Giere αναφέρθηκε σε μια κατηγορία μοντέλων που αποτελούν αφηρημένες οντότητες (cognitive models) και στη σημασία εξέτασης της σχέσης που έχουν τα επιστημονικά μοντέλα με τον πραγματικό κόσμο, δηλαδή της σχέσης ομοιότητας (Hesse, 1967: 354-356· Giere, 1988: 319-323). Άλλες ενδιαφέρουσες προσεγγίσεις της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου προέρχονται από τους Bell και Machover αλλά και από τον Hodges, οι οποίοι περί τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα όρισαν το επιστημονικό μοντέλο ως μια θεωρητική κατασκευή, η οποία επικυρώνει όλες τις προτάσεις μίας θεωρίας. Η θεωρία γίνεται αντιληπτή ως ένα σύνολο προτάσεων διατυπωμένων σε επίσημη γλώσσα (Bell and Machover, 1977: κεφ 5· Hodges, 1997: κεφ 1, 2, 3).

Σημαντικά ζητήματα που απασχολούν τους φιλοσόφους της επιστήμης από τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αι. μέχρι σήμερα σχετίζονται με τη δομή των επιστημονικών θεωριών, την ερμηνεία των επιστημονικών δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα στο προσκήνιο έρχονται ζητήματα σχετικά με τις επιστημονικές πρακτικές που αποτελούν πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της επιστημονικής μεθοδολογίας (Hesse, 1967: 354-359). Η εννοιολόγηση, η αξιολόγηση των μοντέλων και η σημασία της αναλογίας μεταξύ πραγματικού κόσμου και θεωριών τοποθετούνται σταδιακά στο επίκεντρο των συζητήσεων των φιλοσοφικών κύκλων. Οι φιλόσοφοι της επιστήμης προβληματίζονται αναφορικά με τη φύση και τα είδη των μοντέλων, με τη λειτουργία που επιτελούν, με τη σχέση του επιστημονικού μοντέλου με τη θεωρία και την πραγματικότητα, με την έννοια της αναλογίας και της ομοιότητας, αλλά και τη γενικότερη συμβολή του εργαλείου αυτού στη γνώση του κόσμου (Γρηγοριάδου, 2021:151-154).

Σημαντική διερεύνηση των εννοιών του επιστημονικού μοντέλου και της ομοιότητας στη μεθοδολογία της κλασσικής φυσικής πραγματοποίησε, μετά το 1960, η Αγγλίδα Φιλόσοφος της Επιστήμης Mary Hesse. Η Hesse αναφέρει ότι τα επιστημονικά μοντέλα στη θεωρητική φυσική γίνονται αντιληπτά είτε ως φυσικές οντότητες (material models), είτε ως μαθηματικές εκφράσεις που παρουσιάζουν τη δομή ή τη μορφή μιας φυσικής οντότητας ή μίας φυσικής διαδικασίας (formal models) (Χριστοδουλίδης, 1979: 304-305). Οι μαθηματικές αυτές εκφράσεις δεν αναφέρονται αποκλειστικά σε συγκεκριμένα αντικείμενα ή ιδιότητες. Για παράδειγμα, μια κυματική εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τους νόμους ενός απλού

εκκρεμούς, του ήχου ή των κυμάτων του φωτός, παραμένοντας ουδέτερη για οποιαδήποτε άλλη συγκεκριμένη εφαρμογή (Hesse, 1967: 354–359). Η Hesse ορίζει το επιστημονικό μοντέλο ως μια αναλογία. Η αναλογία στη θεωρία της νοείται ως η σχέση ομοιότητας ανάμεσα σε ένα μοντέλο και στον κόσμο, ανάμεσα σε ένα μοντέλο και μια θεωρητική περιγραφή ή ανάμεσα σε ένα μοντέλο και ένα άλλο μοντέλο. Η Hesse επισημαίνει ότι οι σχέσεις αναλογίας εμφανίζονται σε διαφορετικούς βαθμούς και διακρίνει τρεις βασικούς τύπους αυτής της σχέσης: θετική, αρνητική και ουδέτερη αναλογία (Hesse, 1967: 354–359). Μια θετική αναλογία αναφέρεται στα χαρακτηριστικά που είναι πανομοιότυπα ή σε σημαντικό βαθμό όμοια, μια αρνητική αναλογία σε εκείνα που είναι διαφορετικά και μια ουδέτερη σε εκείνα τα χαρακτηριστικά για τα οποία δεν υπάρχει απόδειξη ομοιότητας ή διαφοράς. Σε αυτό το πλαίσιο, τα επιστημονικά μοντέλα συμβάλλουν στην εξέταση μη παρατηρήσιμων οντοτήτων και διαδικασιών στο πλαίσιο της φυσικής θεωρίας, βάσει της αναλογίας τους με παρατηρήσιμες οντότητες και διαδικασίες (Hesse, 1967: 354–359). Η προσπάθεια προσέγγισης της έννοιας του μοντέλου από τη Hesse σηματοδοτεί μια νέα εποχή στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, κατά την οποία οι φιλόσοφοι αποδέχονται ζητήματα σχετικά με τις πρακτικές επιστημονικές τεχνικές ως αναπόσπαστα τμήματα της επιστημονικής μεθοδολογίας και επιδιώκουν να τα διερευνήσουν και να αναζητήσουν τη γνώση σχετικά με αυτά (Γρηγοριάδου, 2021: 153-154).

Σημαντική είναι η προσέγγιση της σύγχρονης φιλοσόφου της επιστήμης Margaret C. Morrison που εστιάζει στην έννοια του επιστημονικού μοντέλου, στον ρόλο και τη σημασία του στη σύγχρονη επιστήμη. Η Morrison αντιλαμβάνεται το επιστημονικό μοντέλο ως ένα επεξηγηματικό όχημα με τεράστια δύναμη που αξιοποιείται όχι μόνο ως εκδήλωση κάποιας θεωρίας, αλλά και στο πλαίσιο του πειραματισμού (Morrison and Morgan, 1999: 10-13). Τοποθετεί το μοντέλο στο σημείο που η θεωρία συναντά τα δεδομένα και υποστηρίζει ότι το μοντέλο μεσολαβεί μεταξύ της θεωρίας και των δεδομένων, μεταξύ της επιστήμης και του κόσμου (Morrison, 1995: 6). Η Morrison δεν αποδέχεται ότι το επιστημονικό μοντέλο αποτελεί ένα μέσο που απλά επικυρώνει μια θεωρία, αλλά υποστηρίζει ότι αποτελεί ένα ενεργό και αυτόνομο εργαλείο, ανεξάρτητο ως ένα βαθμό από τη θεωρία και από τον κόσμο (Morrison, 1995: 6· Morrison and Morgan, 1999: 10-13). Κατά τη Morrison, η ανεξαρτησία του μοντέλου τόσο από τη θεωρία όσο και από τον πραγματικό κόσμο, του επιτρέπει να λειτουργεί ως εργαλείο

διερεύνησης και των δύο (Morrison and Morgan, 1999: 10). Η Morrison υποστηρίζει ότι τα μοντέλα είναι όργανα με τα οποία ο επιστήμονας παρεμβαίνει στον κόσμο. Αυτό οφείλεται στην ικανότητά τους να αναπαριστούν συγκεκριμένες πτυχές της θεωρίας ή του κόσμου, να παράγουν προσομοιώσεις, που βασίζονται σε σχέσεις ομοιότητας. Οι προσομοιώσεις αυτές λειτουργούν ως γέφυρες που συνδέουν το αφηρημένο μοντέλο με το προς εξέταση πραγματικό σύστημα και τοιουτοτρόπως επιτρέπουν την πρόβλεψη (Morrison and Morgan, 1999: 29). Αυτό διαχωρίζει, κατά τη Morrison, τα μοντέλα από τη θεωρία, η οποία παρέχει γενικές αρχές που εξηγούν διαδικασίες. Στο πλαίσιο αυτό, η Morrison υποστηρίζει ότι τα μοντέλα είναι περισσότερο ικανά να αναπαραστήσουν και να εξηγήσουν τη συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων απ' ό,τι οι θεωρίες και το επιτυγχάνουν με έναν τέτοιο τρόπο, ώστε να λειτουργούν ως αυτόνομα όργανα παραγωγής γνώσης και τεχνολογίας, ανεξάρτητα από τη σύνδεσή τους με τη θεωρία. Το γεγονός αυτό εξηγεί τόσο την ευρεία εφαρμογή τους, όσο και την εκτεταμένη χρήση μοντέλων στη σύγχρονη επιστήμη (Morrison, 1995: 6· Morrison and Morgan, 1999: 35, 39).

Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, επικρατεί η άποψη που είχε εκφράσει και η Morrison, κατά την οποία τα επιστημονικά μοντέλα γίνονται αντιληπτά ως θεωρητικά εργαλεία που τοποθετούνται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ θεωριών, αρχών, νόμων και του πραγματικού κόσμου (Sterrett, 2005(a): 1-14, 2002: 51-53). Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή αποδεικνύεται αρκετά αποσπασματική, καθώς τα επιστημονικά μοντέλα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, εκτελούν δύο διαφορετικές αναπαραστατικές λειτουργίες, οι οποίες δεν αλληλοαποκλείονται, δηλαδή λειτουργούν ως αναπαραστάσεις ενός επιλεγμένου μέρους του κόσμου ή μπορούν να αντιπροσωπεύουν θεωρίες (Frigg and Hartmann, 2020). Επίσης, υπάρχουν κατηγορίες μοντέλων που δεν αποτελούν ούτε θεωρητικές δομές ούτε ενδιάμεσα στάδια, αλλά τμήματα του πραγματικού κόσμου, όπως για παράδειγμα τα μοντέλα πλοίων του Froude. Αρκετοί σύγχρονοι ερευνητές με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη Susan G. Sterrett, διακρίνουν μια κατηγορία μοντέλων-φυσικών διατάξεων ή οντοτήτων που χρησιμοποιούνται ως αναπαραστάσεις άλλων φυσικών οντοτήτων (Sterrett, 2006: 69-76· Sterrett, 2017(a): 857-861· Frigg and Hartmann, 2020). Σύμφωνα με τη Sterrett, οι φιλόσοφοι της επιστήμης δεν αγνοούσαν αυτή την κατηγορία μοντέλων, απλώς αμφέβαλλαν για την επιστημονική της φύση. Εάν αποδεχτούμε αυτή την άποψη, αντιλαμβανόμαστε τον λόγο για τον οποίον μέχρι τα μέσα τουλάχιστον του 20<sup>ου</sup> αιώνα η πλειοψηφία των

φιλοσόφων της επιστήμης δεν είχε διερευνήσει επαρκώς την τεχνική του επιστημονικού μοντέλου. Η διερεύνηση της έννοιας του μοντέλου κορυφώνεται στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα με τη θεώρηση της Sterrett, στο πλαίσιο της οποίας τα μοντέλα - φυσικές διατάξεις αναγνωρίζονται ως αποδεκτές επιστημονικές τεχνικές (βλ. κεφ. 2). Οι τεχνικές αυτές κατέχουν συγκεκριμένη θέση στην πειραματική πρακτική των φυσικών επιστήμων και της μηχανικής, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την περαιτέρω διερεύνησή τους από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης στο πλαίσιο της γενικότερης προσπάθειας θεωρητικής τεκμηρίωσης της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου.

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι από τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές προσπάθειες κατανόησης, ορισμού και κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Ωστόσο, παρόλο τον έντονο προβληματισμό και την αυξημένη προσπάθεια εννοιοδότησης και κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων, εξακολουθούν να εντοπίζονται κενά ως προς την κατανόησή τους ενώ ταυτόχρονα η αξιοποίησή τους επεκτείνεται με γρήγορους ρυθμούς σε όλο και περισσότερους επιστημονικούς τομείς. Δεδομένων αυτών των συνθηκών, γίνεται αντιληπτό ότι η θεωρητική τεκμηρίωση των μοντέλων δεν είναι εύκολη υπόθεση ιδιαίτερα αν συνυπολογίσουμε το πλήθος και εύρος των διαφορετικών προσεγγίσεων και κατηγοριοποιήσεων που απαντώνται σε διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους. Δεν είμαστε, λοιπόν, σε θέση να υποστηρίξουμε ότι έχει επιτευχθεί η θεωρητική τεκμηρίωση του επιστημονικού μοντέλου, ούτε μπορούμε να προβούμε σε πρόβλεψη σχετικά με το πότε αυτό μπορεί να συμβεί, καθώς παραμένουν σημαντικά κενά στην κατανόηση της έννοιας και του τρόπου λειτουργίας των μοντέλων, ενώ ταυτόχρονα τα εργαλεία αυτά συνεχίζουν να εξελίσσονται. Ορισμένα σημαντικά ζητήματα που επιδέχονται περαιτέρω εξέτασης είναι η σχέση των επιστημονικών μοντέλων με τη θεωρία, ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας των μοντέλων, ο τρόπος και η διαδικασία κατάκτησης επιστημονικής γνώσης μέσω της αξιοποίησης των μοντέλων καθώς και η απάντηση στο ερώτημα εάν μια απλή αντιγραφή ή αναπαραγωγή μπορεί να θεωρηθεί μοντέλο.

Ο εντοπισμός των κενών αυτών επιτάσσει την ανάγκη συστηματικότερης διερεύνησης του ζητήματος από το κατεξοχήν πεδίο έρευνας της εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης και μεθοδολογίας, δηλαδή από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Ωστόσο, δε θα πρέπει να παραβλεφθεί ότι ανεξάρτητα από τις διαφορετικές

προσεγγίσεις της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου, κοινό τόπο αποτελεί η αναγνώριση της σημασίας, του ρόλου και της συμβολής του στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία. Το επιστημονικό μοντέλο αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές και διαδεδομένες επιστημονικές τεχνικές, η οποία συμβάλλει στην περιγραφή, εξήγηση, πρόβλεψη των φαινομένων του κόσμου και υπό αυτή την έννοια προάγει σημαντικά τη γνώση.

#### **1.4 Η κατανόηση των εννοιών του επιστημονικού μοντέλου και της ομοιότητας μέσα από τον διεπιστημονικό διάλογο μεταξύ φυσικών επιστημών και φιλοσοφίας της επιστήμης**

Παρά την εκτεταμένη χρήση του επιστημονικού μοντέλου και του βασικού μηχανισμού λειτουργίας του, δηλαδή της ομοιότητας, στο πεδίο των φυσικών επιστημών μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, οι πρώτες σημαντικές προσεγγίσεις της έννοιας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, εντοπίζονται στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα και σηματοδοτούν τη μετάβαση από την περίοδο αξιοποίησης των μοντέλων για τη γνώση του κόσμου, στην περίοδο αναζήτησης της γνώσης για τα ίδια τα μοντέλα (Γρηγοριάδου, 2021: 145). Πώς θα μπορούσε, όμως, να αιτιολογηθεί το γεγονός ότι ο μηχανισμός της ομοιότητας και η τεχνική των επιστημονικών μοντέλων σε πρώτο στάδιο εμφανίστηκαν και αξιοποιήθηκαν από τις φυσικές επιστήμες; Επίσης, ποιος είναι ο ρόλος των φυσικών επιστημών και της φιλοσοφίας της επιστήμης στην προσπάθεια κατανόησης των δύο αυτών εννοιών;

Ο μηχανισμός της ομοιότητας και η τεχνική των επιστημονικών μοντέλων σε πρώτο στάδιο εμφανίστηκαν, αναπτύχθηκαν, δοκιμάστηκαν και αξιοποιήθηκαν στα πεδία των φυσικών επιστημών. Σε άλλα επιστημονικά πεδία άρχισαν να εφαρμόζονται και να επεκτείνονται αργότερα αφού ήδη είχαν δοκιμαστεί και χρησιμοποιηθεί εκτενώς στις φυσικές επιστήμες. Επίσης, όπως προκύπτει και από τις ενότητες 1.1 και 1.2, η έννοια της ομοιότητας στα περισσότερα αν όχι σε όλα τα εξελικτικά της στάδια συνδέεται τις φυσικές επιστήμες. Κάτι αντίστοιχο παρατηρείται και αναφορικά με τα επιστημονικά μοντέλα, καθώς από τον 17<sup>ο</sup> έως τον 19<sup>ο</sup> αιώνα εντάχθηκαν συστηματικά στην πειραματική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών ενώ από τον 19<sup>ο</sup> αιώνα η εφαρμογή της τεχνικής των μοντέλων επεκτάθηκε σε περισσότερους επιστημονικούς τομείς. Οι δύο βασικοί λόγοι που αιτιολογούν την εννοιοδότηση, ανάπτυξη και εφαρμογή της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου, και του βασικού μηχανισμού λειτουργίας του,

δηλαδή της ομοιότητας, σε πρώτο στάδιο από τις φυσικές επιστήμες, είναι η ανάπτυξη της πειραματικής μεθόδου του 17<sup>ου</sup> αιώνα αλλά και ο ντετερμινισμός των φυσικών φαινομένων.

Ο μηχανισμός της ομοιότητας και η τεχνική των επιστημονικών μοντέλων άρχισαν να χρησιμοποιούνται συστηματικά ως επιστημονικές πρακτικές μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα. Οι αλλαγές που επήλθαν στην επιστημονική μεθοδολογία μετά την περίοδο του Διαφωτισμού και της επιστημονικής επανάστασης οδήγησαν στη διαμόρφωση της πειραματικής μέθοδο του 17<sup>ου</sup> αιώνα. Χαρακτηριστικά αυτής της περιόδου όπως η στροφή της έρευνας στον φυσικό κόσμο και η πειραματική εξέταση αυτού ενόησαν την επινόηση, κατασκευή και αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων στις φυσικές επιστήμες. Οι φυσικοί επιστήμονες την περίοδο αυτή ήταν σε θέση να αντιληφθούν τον ρόλο και τη σημασία των τεχνικών αυτών και να εντάξουν στη μεθοδολογία τους ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών μοντέλων.

Επίσης, μια θεωρία που μπορεί να αιτιολογήσει την άμεση και εκτενέστερη αξιοποίηση της ομοιότητας και των επιστημονικών μοντέλων στο πεδίο των φυσικών επιστημών εν συγκρίσει με άλλα επιστημονικά πεδία, είναι η θεωρία του ντετερμινισμού σύμφωνα με την οποία όλα όσα συμβαίνουν στον φυσικό κόσμο γίνονται σύμφωνα με κάποια αιτία, που την ακολουθεί κατ' ανάγκη το ίδιο αποτέλεσμα (Earman, 1999: 329-330). Η ιδέα της αιτιοκρατίας έχει τις ρίζες της σε φιλοσοφικές θεωρίες των αρχαίων Ελλήνων και αποτελεί αντικείμενο έρευνας και προβληματισμού μέχρι σήμερα. Από τους αρχαίους φιλοσόφους, οπαδός της αιτιοκρατίας υπήρξε ο Λεύκιππος, ο οποίος επεσήμανε ότι τίποτε δε γίνεται χωρίς αιτία, αλλά όλα γίνονται από κάποια λογική δύναμη και από ανάγκη. Επίσης, σύμφωνα με τους Στωικούς φιλοσόφους όλα γίνονται σύμφωνα με την εμπαρμένη, η οποία είναι το αναγκαστικό αποτέλεσμα του γεγονότος. Ο Πλάτων μίλησε για τις αιτίες, τις οποίες διέκρινε σε πρώτες και δεύτερες αιτίες και ο Αριστοτέλης αναφέρθηκε σε τέσσερις κατηγορίες την ουσία, την ύλη, την ποιητική αιτία και την τελική αιτία. Ο Leibniz υποστήριξε ότι “ταυτόσημα αίτια ευθύνονται για ταυτόσημα αποτελέσματα”. Σύμφωνα με τις αρχές του ντετερμινισμού τα πάντα στον κόσμο γίνονται με μια αιτιώδη συνάφεια και δεν υπάρχουν τυχαία γεγονότα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσέγγιση του Laplace που αποδίδεται παραστατικά μέσω του παραδείγματος που εφηύρε κατά το οποίο «αν υπήρχε μια διάνοια (ένας δαίμονας) που να διαθέτει τη γνώση όλων των δυνάμεων που κυβερνούν τη φύση και της αντίστοιχης κατάστασης

των όντων που την απαρτίζουν, μια διάνοια η οποία να είναι σε θέση να αναλύσει όλα αυτά τα δεδομένα αξιοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις, τότε θα μπορούσε να ελέγχει και να προβλέπει τόσο την κίνηση των μεγαλύτερων σωμάτων του σύμπαντος, όσο και των μικρότερων ατόμων, με την ίδια βεβαιότητα» (Earman, 1999: 329-330). Σε αυτό το σημείο αποκαλύπτεται η συσχέτιση του ντετερμινισμού με τη δυνατότητα επιστημονικής πρόβλεψης. Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση υπήρξε εκείνη του Popper, ο οποίος προτείνει έναν υπερεπιστήμονα στη θέση του δαίμονα του Laplace, ο οποίος μπορεί να επιτύχει έναν πεπερασμένο βαθμό ακρίβειας στις προβλέψεις του για συστήματα που χαρακτηρίζονται από μια σταθερότητα. Αντιθέτως, δεν μπορεί να προβεί σε προβλέψεις για ασταθή συστήματα, τα οποία κατά τον Popper είναι μη ντετερμινιστικά (Earman, 1999: 329-330). Τα φυσικά φαινόμενα χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη σταθερότητα εν συγκρίσει με άλλες κατηγορίες φαινομένων, όπως λόγω χάρη των κοινωνικών φαινομένων. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη και στην επίτευξη ενός αποτελεσματικότερου ελέγχου του συστήματος που εμπίπτει στο ερευνητικό ενδιαφέρον. Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων υπήρξε ιδιαιτέρως αποτελεσματική κατά την περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων με αποτέλεσμα να υιοθετηθεί άμεσα και να ενταχθεί συστηματικά στη μεθοδολογία των φυσικών επιστημών. Χρειάστηκε, όμως, να περάσουν πολλά χρόνια για να δοκιμαστεί και να αναπτυχθεί περαιτέρω η τεχνική του μοντέλου ώστε να είναι ικανή να εφαρμοστεί αποτελεσματικά και σε λιγότερο σταθερά φαινόμενα ή συστήματα που εξετάζονται από άλλους επιστημονικούς κλάδους.

Ο ρόλος, λοιπόν, των φυσικών επιστημών υπήρξε καθοριστικός για την αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας και για την ανάπτυξη και τη συστηματική εφαρμογή της τεχνικής του μοντέλου στην επιστημονική μεθοδολογία. Ποιος είναι, όμως, ο ρόλος της φιλοσοφίας της επιστήμης στην κατανόηση της έννοιας και της λειτουργίας του μοντέλου; Από τις πρώτες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα που τα μοντέλα αποτελούν πλέον ένα δοκιμασμένο και καθιερωμένο επιστημονικό εργαλείο, διατυπώνονται οι πρώτες θεωρητικές προσεγγίσεις της έννοιας του μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Οι πρώτες αυτές θεωρίες αποσκοπούν, κυρίως, στον ορισμό των θεωρητικών μοντέλων ενώ μετά τα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα παρατηρείται μια προσπάθεια επαρκέστερης κατανόησης του εργαλείου αυτού.



Ο 21<sup>ος</sup> αιώνας είναι ο αιώνας της συγκέντρωσης της υπάρχουσας γνώσης περί τα μοντέλα, της εξέτασης και εννοιοδότησής τους και της επέκτασης της εφαρμογής τους σε περισσότερους κλάδους. Στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, τα τελευταία χρόνια έχουν διατυπωθεί σημαντικοί ορισμοί καθώς έχουν προταθεί ενδιαφέρουσες προτάσεις κατηγοριοποίησης των μοντέλων στο γενικότερο πλαίσιο της προσπάθειας για μια θεωρητική τεκμηρίωσή τους. Οπότε, μπορεί ο ρόλος των φυσικών επιστημών να είναι η διαμόρφωση του πεδίου εφαρμογής, η ίδια η εφαρμογή και η συνεχής ανάπτυξη της τεχνικής του μοντέλου, ο ρόλος, όμως, της φιλοσοφίας της επιστήμης είναι η θεωρητική τεκμηρίωση του σημαντικού αυτού εργαλείου που θα επιτρέψει την κατανόηση της έννοιας, των δυνατοτήτων που παρέχει κατά την ερευνητική αξιοποίησή του και κατ' επέκταση θα συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη αξιοποίησή του. Κάθε ένα από αυτά τα πεδία συμβάλλει κατά διαφορετικό τρόπο στην κατανόηση και αξιοποίηση της έννοιας του μοντέλου ως επιστημονικού εργαλείου. Στο πλαίσιο αυτό υποστηρίζεται ότι οι φυσικές επιστήμες συνδυαστικά με τη φιλοσοφία της επιστήμης μπορούν να συμβάλλουν στην επαρκέστερη κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου και στην αποδοτικότερη εφαρμογή της τεχνικής του μοντέλου στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία.

Επίσης, μελετώντας την ιστορική εξέλιξη της έννοιας και της αξιοποίησης της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου από τον 17<sup>ο</sup> έως τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, παρατηρούμε ότι οι φιλόσοφοι της επιστήμης στηρίχθηκαν και εξακολουθούν να στηρίζουν τις θεωρίες τους στη μελέτη της αξιοποίησης των μοντέλων από τις φυσικές επιστήμες προκειμένου να κατανοήσουν και να ορίσουν την έννοια του μοντέλου καθώς και να κατηγοριοποιήσουν τα μοντέλα. Μέσω δύο παραδειγμάτων, θα προσπαθήσουμε να δείξουμε ότι όπως η μελέτη των επιστημονικών μοντέλων από τη φιλοσοφία της επιστήμης κρίθηκε επαρκέστερη, όταν εκτός από τη θεωρία, αποδέχτηκε και τα μοντέλα κλίμακας ως πειραματικές τεχνικές, έτσι και η αντίληψη της έννοιας του μοντέλου από τους φυσικούς επιστήμονες κρίνεται επαρκέστερη όταν η εφαρμογή της τεχνικής αυτής συνοδεύεται από κατανόηση της υπάρχουσας γνώσης για το ίδιο το μοντέλο. Σε αυτό το πλαίσιο, οι φυσικοί επιστήμονες είναι σε θέση να κατανοήσουν τη φύση, τη λειτουργία, τη σημασία και την αξία του μέσου αυτού στην επιστημονική μεθοδολογία και κατ' επέκταση μπορούν να το χρησιμοποιήσουν με τον καλύτερο και αποτελεσματικότερο τρόπο. Ενδιαφέρον παράδειγμα αποτελεί το μοντέλο του Γάλλου

μηχανικού Henry Darcy, που οδήγησε στη διατύπωση του νόμου για την περιγραφή της ροής ρευστών μέσω πορωδών υλικών (Γρηγοριάδου, 2021:157).

Ο Darcy είχε αντιληφθεί τον ρόλο και τη σημασία του επιστημονικού μοντέλου για την αποτελεσματική διεξαγωγή των πειραμάτων στη μηχανική. Έχοντας μελετήσει τους νόμους της ροής του Νεύτωνα και των Navier και Stokes, ο Darcy αντιλήφθηκε ότι δεν περιγράφουν τη ροή ρευστών μέσα σε συγκεκριμένα υλικά που δεν επιτρέπουν την παρατήρησή της. Οπότε, ξεκινώντας από το μοντέλο του Stokes, πρόσθεσε μία επιπλέον παράμετρο, η οποία περιγράφει το πορώδες υλικό, και προέβη σε πολλές δοκιμές και αντίστοιχες μετρήσεις που τον οδήγησαν στη διατύπωση του νόμου του (Γρηγοριάδου, 2021: 157). Ο ίδιος σχεδίασε και κατασκεύασε ένα μοντέλο μέσω του οποίου πραγματοποίησε ένα σύνολο πειραμάτων που θα του επέτρεπαν να περιγράψει τη ροή ρευστών διαμέσου πορωδών υλικών. Κατά τη διάρκεια του πειράματος, ο Darcy προέβαινε σε μετρήσεις που του επέτρεπαν, για παράδειγμα να υπολογίζει την ταχύτητα του ρευστού στο πορώδες υλικό, μεταβάλλοντας τις συνθήκες. Τα πειράματα που πραγματοποίησε μέσω του μοντέλου του οδήγησαν στη διατύπωση του θεμελιώδους νόμου κινήσεως το 1854. Ο νόμος προέκυψε ως μια καθολική εφαρμογή που αποσκοπεί στον υπολογισμό της ροής του νερού μέσω φίλτρων άμμου (Καλλέργης, 1989: 9-14· Γκούντας, 2015: 6-8· Θεοχάρης, 2015: 3-6· Γρηγοριάδου, 2021: 157)

Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι ο Darcy ξεκίνησε την έρευνά του από διατυπωμένους νόμους αναφορικά με τη ροή των ρευστών, εντόπισε το ζήτημα στο οποίο οι προηγούμενοι αυτοί νόμοι δεν έδιναν απάντηση και έχοντας αντιληφθεί τον ρόλο του μοντέλου και τη σημασία του στην πειραματική μεθοδολογία, σχεδίασε και κατασκεύασε το μοντέλο εκείνο που θα του έδινε μια απάντηση. Ο Darcy, αντί να διερευνήσει θεωρητικά ή βασιζόμενος αποκλειστικά σε μαθηματικούς υπολογισμούς το προς εξέταση ζήτημα, δούλεψε πάνω στο μοντέλο που θεώρησε ότι μπορεί να περιγράψει το ζήτημα αυτό (Γρηγοριάδου, 2021: 157-158). Με αυτόν τον τρόπο, οι φυσικές επιστήμες και η μηχανική διαμορφώνουν το πεδίο εφαρμογής του επιστημονικού μοντέλου και, τοιουτοτρόπως, συμβάλλουν στο να αποκτήσει την τελική του οντότητα, την οντότητα ενός εργαλείου που τεκμηριώνεται θεωρητικά από τη φιλοσοφία της επιστήμης, αλλά αποκτά την επιστημονική του αξία μέσω της εφαρμογής του ως πειραματικής τεχνικής των φυσικών επιστημών (Γρηγοριάδου, 2021: 158).

Το δεύτερο παράδειγμα προέρχεται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και αναδεικνύει πόσο σημαντικό είναι ο φιλόσοφος της επιστήμης να μελετήσει παραδείγματα αξιοποίησης των επιστημονικών μοντέλων από το κατεξοχήν πεδίο εφαρμογής τους, δηλαδή από τις φυσικές επιστήμες. Στο πλαίσιο, αυτό λαμβάνουμε ως παράδειγμα την προσέγγιση της έννοιας του μοντέλου από τη σύγχρονη φιλόσοφο της επιστήμης Susan G. Sterrett (Γρηγοριάδου, 2021: 158).

Η Sterrett προσέγγισε την έννοια του επιστημονικού μοντέλου ιστορικά, φιλοσοφικά, αλλά ταυτόχρονα αξιοποιώντας τις γνώσεις που προέρχονται από τα πεδία των επιστημών της μηχανικής και της φυσικής, εξετάζοντας ένα ευρύ φάσμα παραδειγμάτων εφαρμογής μοντέλων στο πλαίσιο της έρευνάς της. Μέσω αυτής της εκτενούς έρευνας, επιτυγχάνει στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα να ενισχύσει σημαντικά τη γνώση περί τα μοντέλα στη φιλοσοφία της επιστήμης. Παράδειγμα που ενισχύει την πεποίθηση κατά την οποία ο φιλόσοφος πρέπει να στραφεί και στη μελέτη της πειραματικής εφαρμογής των μοντέλων αποτελεί η διάκριση των σταδίων λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας<sup>4</sup> από τη Susan Sterrett (Γρηγοριάδου, 2021: 158).

Σύμφωνα με την προσέγγισή της Sterrett, στο πρώτο στάδιο ο ερευνητής θα πρέπει να μελετήσει τις φυσικές ποσότητες που σχετίζονται με το φαινόμενο ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια κατασκευάζει μια φυσική κατάσταση S2 (μοντέλο), η οποία είναι όμοια με την κατάσταση S1 (σύστημα στόχος), στα σημεία που εμπίπτουν στο ερευνητικό του ενδιαφέρον, σύμφωνα πάντα με τη σαφώς διατυπωμένη ερευνητική υπόθεση. Έπειτα, αναπτύσσει τους κανόνες μεταφοράς των τιμών των ποσοτήτων του S2 στο S1, που μπορεί να είναι κάποια αρχή, νόμος ή εξίσωση. Μόλις κατασκευαστεί το μοντέλο S2, ο ερευνητής μετρά τις ποσότητες, παρατηρεί τις συμπεριφορές της φυσικής κατάστασης και οδηγείται σε συμπεράσματα για την κατάσταση S1, δηλαδή για το σύστημα στόχο (Sterrett, 2005(a): 7-8· Sterrett, 2002: 53-59).

Μέσα από το παράδειγμα της θεώρησης της Sterrett, επιβεβαιώνεται ότι η μελέτη των τρόπων αξιοποίησης των μοντέλων στις φυσικές επιστήμες συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση του εργαλείου αυτού από τους φιλοσόφους της επιστήμης, γεγονός που ενισχύει την ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη οριοθέτηση, τον

---

<sup>4</sup> Το ζήτημα αυτό εξετάζεται πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο: 2.4.2 *Ο μηχανισμός αλλαγής κλίμακας από το μοντέλο στην πραγματικότητα*.

σαφέστερο ορισμό, την επαρκέστερη κατηγοριοποίηση και τη θεωρητική τεκμηρίωση αυτού του εργαλείου (Γρηγοριάδου, 2021: 159).

Τα παραδείγματα του μοντέλου του Darcy και του προσδιορισμού των σταδίων λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας της Sterrett ενισχύουν την άποψη κατά την οποία κρίνεται σημαντικό για έναν φιλόσοφο να γνωρίζει τους τρόπους αξιοποίησης του μοντέλου ως πειραματικής τεχνικής στην επιστημονική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών, καθώς επίσης και για έναν φυσικό επιστήμονα να αντιλαμβάνεται την έννοια και τον ρόλο του μοντέλου στην επιστημονική μεθοδολογία, ενδεχομένως μέσω θεωριών προερχόμενων από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, προκειμένου να είναι σε θέση να κατασκευάζει και να αξιοποιεί αποτελεσματικά τα επιστημονικά μοντέλα στη μεθοδολογία του (Γρηγοριάδου, 2021: 159-160). Οι δυο αυτοί τομείς μελετούν το μοντέλο από διαφορετική οπτική και λειτουργούν συμπληρωματικά συμβάλλοντας από κοινού στη διαμόρφωση μιας σφαιρικής αντίληψης της έννοιας του μοντέλου. Οι θεωρίες που προέρχονται από τη φιλοσοφία της επιστήμης ορίζουν και κατηγοριοποιούν τα επιστημονικά μοντέλα, ενώ οι φυσικές επιστήμες διαμορφώνουν το πεδίο εφαρμογής του εργαλείου αυτού και του προσδίδουν επιστημονική αξία μέσω του τρόπου κατασκευής και πειραματικής χρήσης του (Γρηγοριάδου, 2021:159-160). Επομένως, αναδεικνύεται η σημασία ανάπτυξης ενός γόνιμου διεπιστημονικού διαλόγου αναφορικά με τα μοντέλα και την ομοιότητα μεταξύ των δύο αυτών πεδίων, ώστε μέσω μιας τέτοιας συνεργατικής προσέγγισης να επιτευχθεί η θεωρητική τεκμηρίωση των δύο αυτών εννοιών που θα συμβάλλει στην αποδοτικότερη αξιοποίηση των τεχνικών του μοντέλου και της ομοιότητας στην επιστημονική πρακτική.

**Μέρος Δεύτερο: Κριτική προσέγγιση της θεωρίας της Susan G. Sterrett περί της έννοιας της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης**

**Κεφάλαιο δεύτερο: Η θεώρηση της Sterrett**

**2.1 Sterrett, μια σύγχρονη φιλόσοφος της επιστήμης**

**2.1.1 Σπουδές-Επιστημονική-Επαγγελματική πορεία**

Η Susan G. Sterrett είναι καθηγήτρια Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της πόλης Wichita στο Kansas. Το 1977 ολοκλήρωσε τις προπτυχιακές της σπουδές στο Πανεπιστήμιο Cornell της Νέας Υόρκης, με αντικείμενο τη Θεωρητική και Εφαρμοσμένη Μηχανική. Εργάστηκε για μεγάλο χρονικό διάστημα ως Μηχανικός (Associate Engineer, Westinghouse Electric Corporation 1978-1984, Engineering consultant, Westinghouse Electric Corporation 1991-1998). Το 1987 ολοκλήρωσε τις μεταπτυχιακές της σπουδές στα Μαθηματικά και το 1988 στη Φιλοσοφία στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο Pittsburg στο Kansas. Το 1999 υποστήριξε τη διδακτορική της διατριβή με τίτλο: "How Beliefs Make a Difference" στο Πανεπιστήμιο Pittsburg στο Kansas (Sterrett, 1999, 2019: 1-12). Από το 2000 έως το 2009 εργάστηκε ως επίκουρη καθηγήτρια στο Duke University στη Νότια Καλιφόρνια. Την άνοιξη του 2010 εργάστηκε ως επισκέπτρια καθηγήτρια στο Κέντρο Φιλοσοφίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου Pittsburg και από το 2010 έως το 2013 ως συνεργάτης ερευνήτρια στον τομέα Φιλοσοφίας στο πανεπιστήμιο Carnegie Mellon στην Πενσυλβάνια. Από τον Αύγουστο του 2013 μέχρι σήμερα εργάζεται ως καθηγήτρια Ιστορίας και Φιλοσοφίας της Επιστήμης στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της πόλης Wichita του Κάνσας (Sterrett, 2019: 1-12).



**Εικόνα 2:** Susan G. Sterrett, μια σύγχρονη φιλόσοφος της επιστήμης.  
(Πηγή: Wichita State University, 2022)

Παρόλο που η Sterrett ξεκίνησε της σπουδές της από το πεδίο της μηχανικής, το ερευνητικό της ενδιαφέρον, η επιστημονική δράση και η αρθρογραφία της στράφηκαν στο πεδίο της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης. Η αρθρογραφία της επικεντρώνεται σε ζητήματα που σχετίζονται με τη μεθοδολογία της επιστήμης με σημαντική συμβολή της την ανάδειξη της σημασίας των εννοιών της ομοιότητας και των επιστημονικών μοντέλων στον τομέα της φιλοσοφίας της επιστήμης, η σημασία των οποίων είχε ήδη αναγνωριστεί στις φυσικές επιστήμες και τη μηχανική. Μεγάλο μέρος του ερευνητικού της έργου σχετίζεται με τα επιστημονικά μοντέλα και τη συμπερασματολογία που στηρίζεται στην αναλογία (analogical reasoning) στις φυσικές επιστήμες, στις γεωεπιστήμες, στη βιολογία, στην οικολογία, στη γνωσιακή επιστήμη και στην τεχνητή νοημοσύνη (Sterrett, 2019: 1-12). Η Sterrett προσεγγίζει ιστορικά και φιλοσοφικά τις έννοιες των όμοιων συστημάτων, της ομοιότητας, της αναλογίας και του επιστημονικού μοντέλου έχοντας ως σημείο εκκίνησης και αναφοράς θεωρίες, μεθοδολογίες και παραδείγματα προερχόμενα από τους κλάδους της μηχανικής και των φυσικών επιστημών.

Ερώτημα που προκύπτει από τη μελέτη της αρθρογραφίας της είναι εάν εν τέλει η Sterrett είναι μηχανικός που δραστηριοποιείται στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης ή φιλόσοφος που αξιοποιεί τις γνώσεις που έλαβε από τις προπτυχιακές της

σπουδές για να ενισχύσει τα φιλοσοφικά της επιχειρήματα. Ο αναγνώστης των άρθρων της μπορεί να διακρίνει μια ερευνήτρια με φιλοσοφικούς προβληματισμούς και φιλοσοφική σκέψη, που συχνά υιοθετεί τη συγγραφική μεθοδολογία ιστορικού καθώς εξετάζει τις έννοιες της ομοιότητας και του μοντέλου σε συγκεκριμένα ιστορικά πλαίσια ενώ δίνει έμφαση στην εξέλιξη αυτών μέσα στο χρόνο. Από την άλλη πλευρά η δομή των άρθρων της, η σαφήνεια, η λιτότητα και η περιεκτικότητα του λόγου που χρησιμοποιεί, η ειδική ορολογία και η χρήση πολλών λεπτομερών παραδειγμάτων αναφορικά με φυσικά συστήματα ή μηχανικές κατασκευές παραπέμπουν περισσότερο σε φυσικό επιστήμονα ή μηχανικό παρά σε φιλόσοφο. Η θεματολογία, όμως, που εξετάζει, τα ερευνητικά της ερωτήματα και οι καινοτόμες προσεγγίσεις και προτάσεις αναφορικά με τις έννοιες του μοντέλου και της ομοιότητας, δεν μπορούν πάρα να την τοποθετήσουν στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Μιας σύγχρονης φιλοσοφίας της επιστήμης που συμβαδίζει με τα δεδομένα της εποχής, δεν είναι αποστασιοποιημένη από την επιστημονική πρακτική και αποδέχεται πλέον τις σύγχρονες πειραματικές τεχνικές ως επίσημες επιστημονικές μεθοδολογικές τεχνικές. Οι σπουδές της στους δύο αυτούς τομείς πιθανότατα να έχουν συμβάλει στην κατάκτηση μίας σφαιρικής κατανόησης των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου καθώς είχε την ευκαιρία να μελετήσει θεωρητικά τις έννοιες μέσω της φιλοσοφίας αλλά και την πρακτική τους εφαρμογή μέσω της μηχανικής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτυγχάνει να προσεγγίζει θεμελιώδεις φιλοσοφικές θεωρίες και να αποδίδει δυσνόητες έννοιες, που απασχολούν εδώ και αρκετές δεκαετίες τους φιλοσόφους της επιστήμης, με σαφή τρόπο και κατανοητό επιστημονικό λόγο, κατά τρόπο που γίνεται κατανοητή από τον αναγνώστη ανεξάρτητα από το γνωσιακό του υπόβαθρο ή το πεδίο δραστηριοποίησής του. Το γεγονός αυτό αιτιολογεί τη σημαντική αξιοποίηση της αρθρογραφίας της ως βιβλιογραφικής πηγής από ερευνητές προερχόμενους από διαφορετικά επιστημονικά πεδία.

### **2.1.2 Δημοσιεύσεις**

Η Sterrett έχει 31 δημοσιεύσεις στο ιστορικό της εκ των οποίων οι 15 σχετίζονται με την ομοιότητα και τα επιστημονικά μοντέλα. Η αρθρογραφία της Sterrett ξεκίνησε κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών της σπουδών με το άρθρο "Sounds Like Light: Einstein's Special Theory of Relativity and Mach's Work on Acoustics and Aerodynamics" (1998) (Sterrett, 2019: 1-5· Sterrett, 1998). Η μελέτη αυτή τοποθετείται στο επιστημονικό πεδίο της ιστορίας της επιστήμης και αποτελεί εξέταση μελέτης

περίπτωσης της αναλογίας που διέκρινε η Sterrett μεταξύ των δύο θεωριών. Άλλα δύο άρθρα στα οποία εξετάζει την αναλογία μεταξύ θεωριών, ή συνεξετάζει τα analogy figures, όπως η ίδια αναφέρει, είναι η ιστορική μελέτη περίπτωσης για τον Δαρβίνο "Darwin's Analogy Between Artificial and Natural Selection: How Does It Go?"(2002), η οποία τοποθετείται στο πεδίο της ιστορίας της επιστήμης και η μελέτη σχετικά με την ανάπτυξη τεχνολογιών ηχητικής καταγραφής με τίτλο "Pictures of Sounds: Wittgenstein on Gramophone Records and the Logic of Depiction"(2005) (Sterrett, 2002(a): 151-168, 2005(b): 151-168, 2012(b): <https://mattersofproportion.wordpress.com/similarity-analogy-and-models/>, 2019).

Σημαντική συνεισφορά της υπήρξε η ανάδειξη και υποστήριξη της σημασίας των εννοιών της ομοιότητας, των όμοιων φυσικών συστημάτων και των επιστημονικών μοντέλων στη φιλοσοφία της επιστήμης, εννοιών των οποίων η σημασία είχε ήδη αναγνωριστεί στις φυσικές επιστήμες και στη μηχανική. Μεγάλο μέρος της αρθρογραφίας, των εισηγήσεων και του ερευνητικού της έργου, γενικότερα, επικεντρώνεται σε αυτές τις έννοιες, στην ιστορική εξέλιξή τους, τον ορισμό και τη σημασία της αξιοποίησης των τεχνικών αυτών κατά την επιστημονική μεθοδολογία. Τρία ενδιαφέροντα άρθρα που έχουν δημοσιευθεί και προσεγγίζουν τις έννοιες αυτές, υπό την οπτική του ιστορικού και φιλοσόφου της επιστήμης, είναι τα *Physically similar systems: a history of the concept* (2017), *Similarity and Dimensional Analysis* (2010) και *Experimentation on analogue models* (2017).

Το κείμενο *Physically similar systems: a history of the concept* αποτελεί μια αρκετά εκτενή ιστορική ανασκόπηση της έννοιας των όμοιων συστημάτων από τον 17<sup>ο</sup> έως τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Στο κείμενο αυτό η Sterrett προσεγγίζει κριτικά σημαντικές θεωρίες που διατυπώθηκαν και εξελίχθηκαν μέσα σε διάστημα τριών αιώνων σχετικά με την ιδέα των όμοιων συστημάτων, τη σημασία, την κατανόηση και την πειραματική αξιοποίησή τους από συγκεκριμένους επιστημονικούς τομείς, την απουσία τους από άλλους, καθώς και τον ρόλο τους στην αιτιολόγηση και εξαγωγή επιστημονικών συμπερασμάτων (Sterrett, 2017(b)). Στο άρθρο *Similarity and Dimensional Analysis* παρουσιάζει συνοπτικά τις ρίζες των εννοιών της ομοιότητας και της αναλογίας προκειμένου να προαχθεί η κατανόηση της σχέσης μεταξύ της μεθόδου ανάλυσης διαστάσεων και της αιτιολόγησης που βασίζεται στην ομοιότητα. Σε αυτό το άρθρο εστιάζει κυρίως στη χρήση της ανάλυσης διαστάσεων για την αιτιολόγηση που βασίζεται στην ομοιότητα (Sterrett, 2010). Στο άρθρο *Experimentation on analogue*



*models* η Sterrett παρουσιάζει την έννοια των μοντέλων αναλογίας, όπως διαμορφώθηκε μεταξύ 19<sup>ου</sup> και 21<sup>ου</sup> αι. Περιγράφει πειράματα που υλοποιούνται με την αξιοποίηση αυτής της κατηγορίας μοντέλων, αναφέρεται στους επιστημονικούς τομείς στο πλαίσιο των οποίων αυτά αξιοποιούνται, στον τρόπο κατασκευής τους και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους (Sterrett, 2017(a)).

Η ιστορική εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στο άρθρο της *Physical Pictures: Engineering Models circa 1914 and in Wittgenstein's Tractatus* και στο βιβλίο της *Wittgenstein's Tractatus Wittgenstein Flies a Kite: A Story of Models of Wings and Models of the World*, στο οποίο προσέγγισε διαλόγους σχετικά με τις έννοιες αυτές κατά τα τέλη του 19<sup>ου</sup> και τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, ταυτόχρονα με τη γραφή του *Tractatus* (Sterrett, 2002(c), 2005(c)). Στόχος αυτής της εργασίας ήταν να αποκαλύψει τις ιδέες σχετικά με την αξιοποίηση της ομοιότητας και των μοντέλων στη Φυσική, όπως εμφανίζονται στα φιλοσοφικά έργα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, που συχνά θεωρούνταν ότι σχετίζονταν περισσότερο με τη γλώσσα παρά με την επιστήμη (Sterrett, 2005(c)). Ένα σχετικά πρόσφατο έργο της με τίτλο *Pictures, models and measures* (2018) συμπληρώνει το ιστορικό πλαίσιο αποκαλύπτοντας την παρουσία των φυσικών μοντέλων όχι μόνο στην επιστήμη. Στην εργασία αυτή η Sterrett εξετάζει ένα σκίτσο που ανατυπώθηκε από ένα περιοδικό του Παρισιού του 1914 και δείχνει έναν δικηγόρο να χρησιμοποιεί ένα μοντέλο λεωφορείου και κούκλες για να αναπαραστήσει ένα τροχαίο ατύχημα. Το παρουσιάζει μαζί με μια συζήτηση για τα μοντέλα εκείνης της εποχής γενικότερα και σε σχέση με πειραματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην επιστημονική έρευνα ειδικότερα. Η συγκεκριμένη εργασία συμπεριλήφθηκε στη διεθνή έκθεση στη Βιέννη (Οκτώβριο 2018) για την επέτειο 100 χρόνων από την ολοκλήρωση του *Tractatus* ("The Wittgenstein Initiative") και εμφανίστηκε στο εικονογραφημένο βιβλίο που συνόδευσε την έκθεση (Sterrett, 2012(b): <https://mattersofproportion.wordpress.com/similarity-analogy-and-models/>, 2018: 99-136).

Μια ενδιαφέρουσα έρευνά της είναι το άρθρο *Kinds of models*, το οποίο συνιστά μια προσπάθεια προσέγγισης της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου και κατηγοριοποίησης των μοντέλων σε ευρείες κατηγορίες, υπό την οπτική του φιλοσόφου της επιστήμης. Η σημασία αυτού του άρθρου έγκειται στο ότι αποτελεί προσπάθεια επισήμανσης της περιορισμένης βιβλιογραφίας σχετικά με τα επιστημονικά μοντέλα στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, κατ' επέκταση της

ανάγκης εξέτασης αυτού του ζητήματος από το συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο και κάλυψης του προκύπτοντος γνωστικού κενού. Αποτελεί, δηλαδή, μια προσπάθεια επαρκέστερης προσέγγισης της έννοιας και ταξινόμησης των ειδών των επιστημονικών μοντέλων. Προσπαθεί να διασαφηνίσει την έννοια του επιστημονικού μοντέλου εστιάζοντας κυρίως στους όρους των σχέσεων του μοντέλου με το αντικείμενο, το σύστημα ή το φαινόμενο που μοντελοποιεί, καθώς επίσης και με τους τρόπους αξιοποίησής του ως μοντέλου. Η συγκεκριμένη προσέγγιση οδηγεί σε μια κατηγοριοποίηση επιστημονικών μοντέλων, που διακρίνονται μεταξύ τους, με σαφή κριτήρια, σε ευρύτερες, αλλά και ειδικότερες κατηγορίες και αντιστοιχίζονται με συγκεκριμένες επιστήμες. Σημαντική συμβολή αυτού του άρθρου αποτελεί η κατηγορία μοντέλων που η Sterrett ονομάζει *pieces of the world*, αναφερόμενη σε ορισμένα είδη μοντέλων, που αποτελούν τμήματα του πραγματικού κόσμου (Sterrett, 2005(a)).

Ακόμη ένα άρθρο που σχετίζεται με τα επιστημονικά μοντέλα είναι το *Physical Models and Fundamental Laws: Using One Piece of the World to Tell About Another*. Στο άρθρο αυτό η Sterrett αναφέρεται στη σχέση μεταξύ μοντέλου, θεωριών και νόμων κατά τη μεθοδολογία της πειραματικής μοντελοποίησης κλίμακας (experimental scale modeling) (Sterrett, 2002(b): 51-66). Επίσης, εξετάζει τον τρόπο με τον οποίον χρησιμοποιούνται τα μοντέλα κλίμακας (scale models) προκειμένου να οδηγήσουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων. Το κύριο ερώτημα που εξετάζεται στο συγκεκριμένο άρθρο είναι με ποιόν τρόπο εμπλέκονται οι θεμελιώδεις νόμοι στην κατασκευή των scale models, αλλά και κατά τη διεξαγωγή συμπερασμάτων από την αξιοποίησή τους. (Sterrett, 2002(b): 51-66).

Εκτός από την εντατική ενασχόληση και αρθρογραφία της σχετικά με την ομοιότητα και τα επιστημονικά μοντέλα, η Sterrett προχώρησε και στη συγγραφή άρθρων για τον Alan Turing και τη φυσική και τεχνητή νοημοσύνη, τα οποία, όμως, δεν εξετάζονται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, καθώς τα ζητήματα που διερευνώνται σε αυτά τοποθετούνται εκτός των βασικών σκοπών της συγκεκριμένης έρευνας (Sterrett, 2000: 541- 559, 2012(a): 703 - 713). Το ίδιο ισχύει και για τρία άρθρα της που δημοσιεύθηκαν πολύ πρόσφατα και δεν σχετίζονται με την υπόθεση που διερευνάται στην παρούσα διατριβή. Τα άρθρα αυτά είναι: “The Genius of the 'Original Imitation Game' Test” (2020), Review of *The Constructive Mind: Bartlett's Psychology in Reproduction* (2021(c)), “Mach on Analogy in Science” (2021(b)).

Δύο άρθρα με τα οποία ασχολείται αυτό το διάστημα είναι το Scale modeling και το Theory of dimensions (Sterrett, 2019:1-14). Μια άλλη εργασία που βρίσκεται σε εξέλιξη και αποσκοπεί στην επέκταση ορισμένων παρελθοντικών της διεπιστημονικών έργων στην ιστορία και φιλοσοφία της επιστήμης είναι το *Analogy principles: the use of analogy in the work of Einstein, Darwin and Turing* (Sterrett, 2019:1-14). Έχει δώσει διαδοχικά αναθεωρημένες και βελτιωμένες εκδοχές αυτής της ομιλίας. Στόχος της είναι να επεκτείνει αυτή την έρευνα σε μια δουλειά που θα ξεπερνά τις τρεις αυτές μεμονωμένες ιστορικές προσωπικότητες (Sterrett, 2019: 1-14).

Ακολουθεί λίστα των δημοσιεύσεων της Sterrett, όπως παρατίθεται στο πρόσφατα ανανεωμένο βιογραφικό της σημείωμα (Sterrett, 2021: <https://www.susangsterrett.com/uploads/8/1/3/0/81308146/sterrettcvshortjune2021.pdf>):

1. Sterrett, S. G. (2021) Review of *The Constructive Mind: Bartlett's Psychology in Reproduction*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2017. by Brady Wagoner. In *Memory Studies*, 14 (1), pp. 112 - 115.
2. Sterrett, S. G. (2021) "Mach on Analogy in Science" in *Interpreting Mach: Critical Essays*, edited by John Preston. Cambridge University Press.
3. Sterrett, S. G. (2020) "The Genius of the 'Original Imitation Game' Test" *Minds & Machines*, 30, 469- 486 <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09543-6>
4. Sterrett, S. G. (2019) "How Many Thoughts Can Fit in the Form of a Proposition?" *APA Newsletter on Philosophy and Computers*, Volume 19, No. 1.
5. Sterrett, S. G. (2019) "Relations between units and relations between quantities." Accepted by *Journal for the General Philosophy of Science*, Special Issue (highly refereed) Actually published in the anthology: *The Reform of the International System of Units: Philosophical, Historical and Sociological Perspectives*. Edited by Nadine DeCourtenay, Olivier Darrigol, and Oliver Schlaudt, Routledge. Preprint available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/157867902.pdf>
6. Sterrett, S. G. (2019) "Pictures, Models & Measures", adapted & abridged as an invited contribution to the exhibition "Ludwig Wittgenstein: Die Tractatus Odyssee" Ausstellung, a public exhibition in Vienna, Austria from 16 October to 30 November 2018, organized by "The Wittgenstein Initiative." Website <http://wittgenstein-initiative.com/news/> provides.

7. Sterrett, S. G. (2018) "Pictures, models, and measures." In *Belgrade Philosophical Annual 30/2017*; Special Issue: Wittgenstein In Perspective (full paper; published Open Access online March 2018).
8. Sterrett, Susan G. (2017) "Experimentation on Analogue Models." In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Springer, Switzerland. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11492/>
9. Sterrett, Susan G. (2017) "Physically Similar Systems -- A History of the Concept." In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Springer, Switzerland. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11352/>
10. Sterrett, S. G. (2017) "Turing and the integration of human and machine intelligence." Juliet Floyd and Alisa Bokulich (Eds.) *Philosophical Explorations of the Legacy of Alan Turing: Turing 100, Boston Studies in the Philosophy and History of Science* Springer, Switzerland. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/10316/>
11. Sterrett, S. G. (2014) "The morals of model-making". *Studies in History and Philosophy of Science*, Part A, Volume 46, June 2014, Pages 31-45. (Special issue: Values and Norms in Modeling the Progress of Science) Published open access.
12. (Book) *Three Views of Logic: Mathematics, Philosophy, and Computer Science* (co-authored w/ Donald Loveland (Duke Computer Science) and Richard Hodel (Duke Mathematics). (2014) Part III of the book: Philosophical Logic. Princeton University Press, January 2014. The book received a positive review in *MAA (Mathematical Association of America) Reviews* and was recommended by *Choice: Current Reviews for Academic Libraries*.
13. Sterrett, S. G. (2013) "Scientific Models in Philosophy of Science" in *HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science*, Volume 3, Issue 2, Page 334-337. Review of Daniela Bailer-Jones, *Scientific Models in the Philosophy of Science*.
14. Sterrett, S. G. (2012) "Bringing Up Turing's Child-Machine" in *How the World Computes, Springer Lecture Notes in Computer Science*, 2012, Volume 7318/2012, 703 - 713. Preprint: <http://philsciarchive.pitt.edu/9085/>

15. Sterrett, S. G. (2010) "Similarity and Dimensional Analysis" (Invited Handbook Article) *Handbook of the Philosophy of Science, Volume 9: Philosophy of Technology and the Engineering Sciences*, edited by Anthonie Meijers (Series editors: Dov Gabbay, Paul Thagard, and John Woods). pp. 799 – 824. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/4474/>.
16. Sterrett, S. G. (2009) "Abstracting Matter" <http://philsci-archive.pitt.edu/4836/> (in conference papers for Models and Simulation 3 (Charlottesville, Virginia, March 5 - 7, 2009))
17. Sterrett, S. G. (2009) "Nested Algorithms: Reply to Peter Simons' "Coincidence and Kite-Flying", <http://philsci-archive.pitt.edu/4488/>
18. Sterrett, S. G. (2006) "Models of Machines and Models of Phenomena." *International Studies in the Philosophy of Science* Vol. 20, No. 1, pp. 69-80. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/2245/>.
19. (Book) Sterrett, S. G. (2005) *Wittgenstein Flies a Kite: A Story of Models of Wings and Models of the World* Published November 2005, Pi Press (Penguin).  
Flyer on book: [https://www.academia.edu/1003211/Wittgenstein\\_flies\\_a\\_kite\\_a\\_story\\_of\\_models\\_of\\_wings\\_and\\_models\\_of\\_the\\_world](https://www.academia.edu/1003211/Wittgenstein_flies_a_kite_a_story_of_models_of_wings_and_models_of_the_world)
20. Sterrett, S. G. (2005) "Pictures of Sound: Wittgenstein on Gramophone Records and the Logic of Depiction." *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 36, pp. 351-362. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/2019/>.
21. Sterrett, S. G. (2005) "Kinds of Models": based on a talk presented at an STS Interdisciplinary roundtable: "The Multiple Meanings of Models", March 20, 2003, John Hope Franklin Center, Duke University <http://philsci-archive.pitt.edu/2363/>
22. Sterrett, S. G. (2002) "Darwin's analogy between artificial and natural selection: how does it go?" *Studies in History and Philosophy of the Biological and Biomedical Sciences*, Vol. 33, pp. 151-168.
23. Sterrett, S. G. (2002) "Physical Models and Fundamental Laws: Using One Piece of the World to Tell About Another". In *Mind and Society* 5, 2002, Vol. 3, pp. 51-66. (preprint: <http://philsciarchive.pitt.edu/720/>)
24. Sterrett, S. G. (2002) "Too Many Instincts: Contrasting Philosophical Views on Intelligence in Humans and Non-Humans", *JETAI (Journal of*

*Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*), Vol. 14, No. 1, pp. 39 - 60. Reprinted in *Thinking About Android Epistemology*, Edited by Ken Ford, Clark Glymour and Patrick Hayes, MIT Press (March 2006).

25. Sterrett, S. G. (2002) "Nested Algorithms and 'The Original Imitation Game Test': A Reply to James Moor" *Minds and Machines*, Vol. 12, pp. 131-136.

26. Sterrett, S. G. (2002) "Physical Pictures: Engineering Models circa 1914 and in Wittgenstein's *Tractatus*." *History and Philosophy of Science: New Trends and Perspectives*, ed. by Michael Heidelberger and Friedrich Stadler (Vienna Institute Yearbook 2001/9), Kluwer Academic, 2002. Preprint of longer lecture based on paper, includes timeline: <http://philsci-archive.pitt.edu/661/>.

27. Sterrett, Susan G. (2000) "Turing's Two Tests for Intelligence" *Minds and Machines*, Vol. 10, pp. 541- 559. Reprinted in *The Turing Test: The Elusive Standard of Artificial Intelligence*. Edited by James H. Moor. Kluwer Academic, 2003. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/8480/>.

28. Sterrett, Susan G. (1999) "How Beliefs Make a Difference" Ph.D. Dissertation, University of Pittsburgh. Available on Philosophy of Science Archive at <http://philsci-archive.pitt.edu/9372/> (Also available in hard copy and electronic pdf via ProQuest Dissertation Publishing <http://www.proquest.com/en-US/products/dissertations/>)

29. Sterrett, S. G. (1998) "Sounds Like Light: Einstein's Special Theory of Relativity and Mach's Work on Acoustics and Aerodynamics." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 29, 1 - 35.

30. Sterrett, Susan G. (1994 Talk) "Frege and Hilbert on the Foundations of Geometry" Available on Philosophy of Science Archive at <http://philsci-archive.pitt.edu/723/>

31. Putnam, Ralph T., Lesgold, Sharon B., Resnick, Lauren B., and Sterrett, Susan G. (1987) "Understanding Sign Change Transformations." in: Bergeron, Jacques C., Nicolas Herscovics, and Carolyn Kieran, (Eds.) *Proceedings of the International Conference on the Psychology of Mathematics Education (PME)* (11th, Montreal, Canada, July 19 - 25, 1987). V I, pp. 338 – 344

### **2.1.3 Η αρθρογραφία της Sterrett ως βιβλιογραφική πηγή**

Η σκέψη, οι προβληματισμοί και η αρθρογραφία της Sterrett έχουν ασκήσει επιρροή σε σημαντικό αριθμό νέων φοιτητών, επιστημόνων και ερευνητών, όχι μόνο από το επιστημονικό πεδίο της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης, αλλά και ερευνητών που δραστηριοποιούνται στους κλάδους της μηχανικής, της φυσικής, της βιολογίας και πολλών άλλων πεδίων. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την απήχηση που φαίνεται να έχει γνωρίσει η αρθρογραφία της ως βιβλιογραφική πηγή για συγγραφή βιβλίων, άρθρων, διδακτορικών διατριβών και εργασιών (πτυχιακών, διπλωματικών), κυρίως στην Αμερική αλλά και σε αρκετές άλλες χώρες.

Στο παράρτημα επισυνάπτεται ενδεικτικός κατάλογος εργασιών που αξιοποίησαν το έργο της Sterrett ως βιβλιογραφική πηγή, ο οποίος προέκυψε από διαδικτυακή αναζήτηση μέσω του google scholars, αποσκοπώντας στην τεκμηρίωση της απήχησης του ερευνητικού έργου της φιλοσόφου παγκοσμίως. Η βιβλιογραφία παρατίθεται με χρονολογική σειρά συγγραφής των άρθρων της.

### **2.2 Η έννοια των όμοιων συστημάτων και της ομοιότητας στη σκέψη της Sterrett**

Η Sterrett αναγνωρίζοντας τη σημασία της έννοιας των όμοιων συστημάτων και του μηχανισμού της ομοιότητας στην πειραματική μέθοδο των φυσικών επιστημών και των επιστημών της μηχανικής αλλά ταυτόχρονα τη μη επαρκή κατανόησή τους στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, επιδίωξε να προσεγγίσει τις έννοιες αυτές συμπεριλαμβάνοντας στη θεώρησή της τις σημαντικότερες προσπάθειες κατανόησης, εξήγησης και ορισμού των εννοιών αυτών αλλά και πολλά παραδείγματα της πειραματικής αξιοποίησής τους κυρίως μετά από την περίοδο της Αναγέννησης.

Η ιστορική ανασκόπηση της έννοιας των όμοιων συστημάτων της Sterrett αποτελεί σημαντική συμβολή αναφορικά με τη γνώση της έννοιας στα πεδία της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης καθώς μέσω του εντοπισμού και της εξέτασης σημαντικών θεωριών και παραδειγμάτων πειραματικής αξιοποίησής τους κατάφερε να παρουσιάσει βασικούς σταθμούς στην εξελικτική πορεία της έννοιας από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα και μετά (Sterrett, 2017(b): 377-411). Σύμφωνα με την ιστορική προσέγγισή της Sterrett, η ιδέα των όμοιων συστημάτων αρχικά αναπτύχθηκε στα πειράματα του Γαλιλαίου ενώ ο όρος similar systems εμφανίστηκε πρώτη φορά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα στο δεύτερο βιβλίο της Principia του Νεύτωνα (βλ. κεφ. 1.2.5). Η φιλόσοφος της επιστήμης εξέτασε σημαντικό αριθμό προσεγγίσεων και πειραματικών εφαρμογών της ιδέας των όμοιων συστημάτων που τοποθετούνται στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και υποστήριξε ότι την περίοδο αυτή η

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett

ιδέα των όμοιων συστημάτων αξιοποιήθηκε εκτενώς και αναπτύχθηκε περαιτέρω στα διάφορα πεδία της μηχανικής και της φυσικής (Sterrett, 2010: 799-824, 2017(b): 377-411). Η Sterrett επισήμανε ότι όταν οι μηχανικοί ή οι φυσικοί των τελών του 19<sup>ου</sup> αιώνα πραγματοποιούσαν πειράματα αξιοποιώντας όμοιες μηχανές ή όμοια συστήματα επικαλούνταν κάποιον νόμο ομοιότητας (similarity law) ή διαφορετικά κάποια αρχή ομοιότητας (similarity principle) (Sterrett, 2017(b): 377-411).

Ορισμένες αρκετά αντιπροσωπευτικές προσεγγίσεις αναφορικά με την αντίληψη και αξιοποίηση των όμοιων συστημάτων, που εξέτασε η Sterrett, προέρχονται από διάφορα πεδία των φυσικών επιστημών και της μηχανικής του 19<sup>ου</sup> αιώνα, όπως για παράδειγμα τα πειράματα του Froude με τα μοντέλα κλίμακας πλοίων (βλ. κεφ..3.2.5), τα μοντέλα ηλεκτρομαγνητικών εξισώσεων του Maxwell (βλ. κεφ. 1.3.2.5.), αλλά και άλλες προσεγγίσεις όχι τόσο γνωστές όπως για παράδειγμα εκείνες του James Thomson, του Joseph Bertrard και του Ferdinand Reech.

Η Sterrett αναγνωρίζει τη συμβολή του James Thomson, Άγγλου μηχανικού και φυσικού, αναφερόμενη στο άρθρο του με τίτλο "Comparison of similar structures as to elasticity, strength, and stability" («Σύγκριση όμοιων δομών ως προς την ελαστικότητα, τη δύναμη και τη σταθερότητα») που δημοσιεύτηκε το 1875, μέσω του οποίου προσπάθησε να προσδιορίσει και να παρουσιάσει τη μεθοδολογία που εμπλέκεται στον σχεδιασμό διάφορων κατασκευών, όπως γεφυρών και κτηρίων, χρησιμοποιώντας συχνά μερικά άλλα ενδιαφέροντα παραδείγματα, όπως οβελίσκους και ομπρέλες (Sterrett, 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390). Η Sterrett αναφέρει ότι τα παραδείγματα του Thomson εστίαζαν κυρίως στο πώς μεταβάλλεται κάποια ποσότητα έτσι ώστε δύο κατασκευές διαφορετικών μεγεθών να είναι όμοιες ως προς την ελαστικότητα, τη δύναμη ή τη σταθερότητα. Ο Thomson διέκρινε δύο είδη σύγκρισης όμοιων δομών, τη σύγκριση «ως προς την ελαστικότητα και την αντίσταση τους σε κάμψη, ζημιά ή θραύση από όμοια συστήματα δυνάμεων που εφαρμόζονται στα υπό εξέταση συστήματα» και τη σύγκριση «ως προς τη σταθερότητά τους, που καθορίζεται κυρίως από τη βαρύτητα [το βάρος τους]» (Sterrett 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390). Σύμφωνα με τη Sterrett, ο Thomson διατύπωσε και μία αρχή ομοιότητας για το πρώτο είδος σύγκρισης, η οποία επρόκειτο να γίνει αποδεκτή ως γενική αρχή που αξιοποιήθηκε σε συγκεκριμένα πεδία της μηχανικής. Κατά τη Sterrett η συγκεκριμένη αρχή είναι αντιπροσωπευτική των αρχών ομοιότητας ή των νόμων ομοιότητας εκείνης της περιόδου (Sterrett, 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390).

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett



Άλλη σημαντική αξιοποίηση της ιδέας των όμοιων συστημάτων που εξετάστηκε και αναγνωρίστηκε η σημασία της από τη Sterrett ήταν τα πειράματα των μοντέλων πλοίων του William Froude (βλ. κεφ. 1.3.2.5). Η Sterrett, όμως, αναφέρει ότι σύμφωνα με αρκετούς ερευνητές ο Froude στηρίχθηκε στα αποτελέσματα της έρευνας δύο Γάλλων μηχανικών του Joseph Bertrard και του Ferdinand Reech που διερεύνησαν μεθόδους στη μηχανική που στηρίζονται στην ομοιότητα, έχοντας ως αφετηρία της έρευνας τους την προσέγγιση του Νεύτωνα (Sterrett, 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390). Ο Ferdinand Reech ακολούθησε την προσέγγιση του Νεύτωνα, εξετάζοντας και προτείνοντας αρχές που προσδιορίζουν τον τρόπο συσχέτισης παρατηρήσεων σχετικών με την ταχύτητα και την κίνηση ενός πλοίου με άλλων πλοίων διαφορετικών μεγεθών. Ο Joseph Bertrand, σύμφωνα με τη Sterrett, φαίνεται ότι ξεκίνησε από την προσέγγιση του Νεύτωνα, αλλά δεν περιορίστηκε στην προσπάθεια επικύρωσης της θεωρίας του για τα όμοια συστήματα (Sterrett 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390). Ο Bertrand χαρακτήρισε το θεώρημα του Νεύτωνα σχετικά με τα όμοια συστήματα ως «...μια πραγματική θεωρία της ομοιότητας στη μηχανική». Επίσης υποστήριξε ότι «...σε οποιοδήποτε σύστημα δίνεται, υπάρχει ένας άπειρος αριθμός πιθανών συστημάτων, τα οποία μπορεί να θεωρηθούν όμοια με αυτό και ότι, σε αντίθεση με το ένα μόνο είδος ομοιότητας στην περίπτωση της γεωμετρίας, στις επιστήμες της μηχανικής μπορούμε να υποθέσουμε τέσσερα είδη, δηλαδή την ομοιότητα του μήκους, του χρόνου, των δυνάμεων και των μαζών» (Sterrett, 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390). Ο Bertrand υποστήριξε ότι οι μηχανικοί θα πρέπει να εκτιμήσουν τη δύναμη της θεωρίας (ή της αρχής) της ομοιότητας αναφορικά με την εύρεση λύσεων σε δυσεπίλυτα προβλήματα. Επίσης, ανέδειξε τη σημασία της πειραματικής χρήσης μοντέλων κλίμακας από μηχανικούς υποστηρίζοντας ότι η μέθοδος αυτή είναι ικανή να προβλέψει λάθη, τα οποία δεν μπορούν πάντα να προβλεφθούν χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τη θεωρία (Sterrett, 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390). Επίσης, εξήγησε πώς η έννοια των όμοιων συστημάτων, παρόλο που μπορεί ορισμένες φορές να φαίνεται περιορισμένη, είναι στην πραγματικότητα απαραίτητη σε ορισμένες περιπτώσεις, για προβλήματα που δε μπορούν να επιλυθούν με τη χρήση των μαθηματικών. Επιπλέον, ο Bertrand επισήμανε τη χρησιμότητα της αρχής ομοιότητας στην εκτέλεση «πειραμάτων σε μικρή κλίμακα» για να εξακριβωθεί «η αξία μιας μηχανικής εφεύρεσης, η οποία είναι πολύ ακριβή για να τεθεί σε λειτουργία σε μεγάλη κλίμακα» (Sterrett, 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390). Ο

Bertrand υποστήριξε ότι η θεωρία της ομοιότητας μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση επιστημονικής πρακτικής των επιστημών της μηχανικής.

Εκτός από τις θεωρίες που προέρχονται από τα πεδία της μηχανικής, η Sterrett προσέγγισε κριτικά και πολλές άλλες θεωρίες σημαντικών επιστημόνων που δραστηριοποιήθηκαν σε άλλα πεδία όπως για παράδειγμα στη θεωρητική φυσική ή στη θεωρητική και πειραματική υδροδυναμική (Sterrett, 2017(b): ch. 2.4.2, 382-390), οι περισσότερες εκ των οποίων στηρίζονται σε σημαντικό βαθμό στην προσέγγιση του Νεύτωνα. Ωστόσο, κρίθηκε σημαντικό να αναφερθούμε σε αυτές τις τρεις περιπτώσεις καθώς, παρόλο που δεν είναι τόσο γνωστές, αποτελούν σημαντικές προσεγγίσεις που μπορούν να συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση των εννοιών αυτών στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, καθώς εξετάζουν ζητήματα για τα οποία στο εν λόγω πεδίο δεν έχει διεξαχθεί εκτεταμένη έρευνα ούτε έχει διατυπωθεί ισχυρή επιχειρηματολογία μέχρι στιγμής, η οποία να προκύπτει από την παρατήρηση της πειραματικής εφαρμογής του μηχανισμού της ομοιότητας. Τα τρία σημαντικότερα ζητήματα που αναδεικνύονται μέσω της εξέτασης των τριών ανωτέρω θεωρητικών προσεγγίσεων από τη Sterrett, είναι ο ρόλος των αρχών ομοιότητας στην πειραματική πρακτική καθώς και δύο σημαντικές παρατηρήσεις του Bertrand. Η πρώτη παρατήρηση του Bertrand είναι η ύπαρξη ενός άπειρου αριθμού πιθανών όμοιων συστημάτων, η οποία τοποθετεί την έννοια της ομοιότητας σε νέες βάσεις και αφήνει σημαντικά περιθώρια επαναπροσδιορισμού της εννοιολόγησης του συγκεκριμένου μηχανισμού και ανεύρεσης τρόπων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ περισσότερων των δύο φυσικών συστημάτων. Σημαντική υπήρξε και η επισήμανσή του κατά την οποία η θεωρία ή η αρχή της ομοιότητας, κυρίως μέσω της εφαρμογής επιστημονικών μοντέλων κλίμακας, δίνει λύσεις σε προβλήματα που η θεωρία ή τα μαθηματικά δεν μπορούν να δώσουν. Η παρατήρηση αυτή είναι σημαντική καθώς από τη μια αναδεικνύει τις δυνατότητες της ομοιότητας και του μοντέλου στην πειραματική μέθοδο των πεδίων της μηχανικής ενώ ταυτόχρονα αποτελεί επίχειρημα υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας, μιας κατηγορίας μοντέλων, των οποίων η επιστημονική φύση έχει αμφισβητηθεί από τους φιλοσόφους της επιστήμης. Για αυτούς τους λόγους, ο εντοπισμός και η ανάδειξη των θεωριών αυτών αποτελεί μια σημαντική συμβολή της Sterrett όσον αφορά την ιστορική ανασκόπηση των εννοιών της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα αλλά και την καλύτερη κατανόηση τους στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett

Επίσης, η Sterrett αναγνωρίζει ως σημαντικό έτος αναφορικά με την εξέλιξη της έννοιας το 1914, όπου ο Edgar Buckingham πρότεινε τον όρο “Physically similar systems” προς αντικατάσταση του μέχρι τότε αποδεκτού όρου “Similar systems” που είχε προτείνει ο Νεύτωνας τον 17<sup>ο</sup> αιώνα. Ο Buckingham όρισε τα φυσικά όμοια συστήματα με όρους που αναπτύχθηκαν τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και χρησιμοποιήθηκαν στα μαθηματικά και τη μηχανική κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, όπως εξισώσεις και ανάλυση διαστάσεων (Sterrett, 2017(b): 377-411). Η Sterrett αποδέχεται τον ορισμό που έδωσε ο Buckingham για τα όμοια συστήματα, σύμφωνα με τον οποίον φυσικά όμοια συστήματα είναι εκείνα που χαρακτηρίζονται από μία συγκεκριμένη όμοια σχέση μεταξύ συγκεκριμένων φυσικών ποσοτήτων, η οποία εκφράζεται μέσω μίας μαθηματικής εξίσωσης αδιάστατων παραμέτρων (Sterrett, 2017(b): 377-411).

Επίσης, η Sterrett παρατήρησε ότι η έννοια των όμοιων συστημάτων αναπτύχθηκε στις φυσικές επιστήμες με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη βιολογία, που αξιοποιήθηκε σε ζητήματα σχετικά με τη φυσιολογία ζώων και φυτών (Sterrett, 2010: 799-824). Η Sterrett, βέβαια, εστίασε στη μελέτη θεωριών ή πειραματικής αξιοποίησης των όμοιων συστημάτων μετά την περίοδο της αναγέννησης. Επανερχόμενοι στην αξιοποίηση της ομοιότητας από τον Αριστοτέλη για την κατηγοριοποίηση ζώων και φυτών στις πραγματείες του «Περί τα ζώα Ιστορία» οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η ιδέα των όμοιων συστημάτων σαφώς αξιοποιήθηκε από την επιστήμη της βιολογίας, όπως παρατήρησε η φιλόσοφος της επιστήμης, και μάλιστα πολύ νωρίτερα από την περίοδο της αναγέννησης.

Σημαντική παρατήρηση της Sterrett είναι ότι η ιδέα των όμοιων συστημάτων κρίνεται χρήσιμη κατά την αξιοποίηση μεθόδων που συμβάλλουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τις τιμές συγκεκριμένων ποσοτήτων ενός συστήματος που προκύπτουν από την παρατήρηση άλλου συστήματος. Η χρησιμότητα της ιδέας αυτής σε πρακτικές εφαρμογές που συνήθως αποσκοπούν στον προσδιορισμό και την πρόβλεψη μιας συγκεκριμένης μη προσβάσιμης με άλλον τρόπο ποσότητας είναι σημαντική. Η Sterrett, όμως, επισημαίνει ότι πολλοί γνωρίζουν την έννοια των όμοιων συστημάτων μόνο σ’ αυτό το πλαίσιο, μέσω δηλαδή συγκεκριμένων παραδειγμάτων πειραματικής αξιοποίησής τους προερχόμενων από τις φυσικές επιστήμες. Το γεγονός αυτό συχνά οδηγεί στην υποτίμηση της θεμελιώδους φύσης, της τεράστιας δύναμης και του γενικότερου σκοπού της ιδέας αυτής. Το κενό αυτό επιδίωξε και κατάφερε σε σημαντικό βαθμό να καλύψει η Sterrett όχι μόνο μέσω της ιστορικής ανασκόπησης της

έννοιας των όμοιων συστημάτων αλλά κυρίως μέσω της διατύπωσης της θεωρίας της αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας.

Η Sterrett επισημαίνει ότι η σημασία της ομοιότητας στην κατανόηση και εξήγηση των φυσικών φαινομένων, καταστάσεων και συστημάτων είχε αναγνωριστεί πριν την εποχή του Πλάτωνα, ενώ εξακολουθεί να αναγνωρίζεται μέχρι σήμερα στη φιλοσοφία, την επιστήμη και την τεχνολογία (Sterrett, 2010: 799-824). Επίσης, η Sterrett υποστηρίζει ότι η ομοιότητα αξιοποιείται πάντα κατά τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων ακόμα και αν αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις δεν αναγνωρίζεται ρητά (Sterrett, 2006: 69-80). Σύμφωνα με τη φιλόσοφο της επιστήμης, η ομοιότητα έχει τις ρίζες της στη θεωρία του Ευκλείδη και σχετίζεται με την ομοιότητα των γεωμετρικών σχημάτων (Sterrett, 2010: 799-824). Σε αυτό το σημείο εντοπίζεται μια παράλειψη της Sterrett, καθώς όπως έχει αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο, η ομοιότητα των γεωμετρικών σχημάτων αρχικά εντοπίζεται στα θεωρήματα του Θαλή του Μιλήσιου και αργότερα στον Ευκλείδη, ο οποίος κατάφερε να συστηματοποιήσει και να κωδικοποιήσει την υφιστάμενη γνώση περί τη γεωμετρία.

Η έννοια της ομοιότητας, όπως προκύπτει από την ιστορική ανασκόπηση της Sterrett, ενώ έχει εξεταστεί από φυσικούς επιστήμονες και μηχανικούς σε σημαντικό βαθμό, δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο από τους φιλοσόφους της επιστήμης. Συχνά οι φιλόσοφοι ορίζουν την ομοιότητα ως την ύπαρξη μίας κοινής ή όμοιας ιδιότητας. Πολλοί φιλόσοφοι, όπως ο Nelson Goodman, υποστηρίζουν ότι καθετί είναι όμοιο με διάφορα πράγματα. Υπό αυτή την έννοια ο προσδιορισμός της ομοιότητας δε συνεπάγεται κάτι περισσότερο από τη συγκέντρωση και την επιλογή των χαρακτηριστικών που εξυπηρετούν ρεαλιστικούς σκοπούς (Giere, 2004: 747· Goodman, 1972: 446). Επομένως, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη άποψη αυτών των φιλοσόφων η ομοιότητα δεν αποτελεί μια έννοια ικανή να συμβάλλει τόσο πολύ στην έρευνα. Σύμφωνα με μια σημαντική παρατήρηση της Sterrett, οι φιλόσοφοι της επιστήμης του 20<sup>ου</sup> αιώνα που προσεγγίζουν την έννοια της ομοιότητας συνήθως δεν αναφέρονται στη σχέση της με τη θεωρία των διαστάσεων ή τις αδιάστατες αναλογίες (dimensionless ratios) (Sterrett, 2010: 799-824). Παρόλο που έχουν πραγματοποιηθεί ορισμένες έρευνες αναφορικά με τα ζητήματα της ανάλυσης διαστάσεων και τη φυσική ομοιότητα στη φιλοσοφία της επιστήμης (Krantz, 1971: 454-544), οι θεωρίες που προέκυψαν δεν ήταν κατάλληλα προσαρμοσμένες σε αυτό το πεδίο, κατά τη Sterrett.

Σε αυτό το πλαίσιο, λοιπόν, έρχεται η θεωρία της Sterrett να αποκαταστήσει την εσφαλμένη ή αποσπασματική κατανόηση και χρήση της ομοιότητας και να καλύψει συγκεκριμένα κενά αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας πυροδοτώντας νέες συζητήσεις στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Τρία σημαντικά καινοτόμα σημεία της φιλοσοφικής προσέγγισής της είναι η ανάδειξη της σχέσης της ομοιότητας με την αναλογία, της σχέσης της με την ανάλυση διαστάσεων καθώς και η ανάδειξη του ρόλου της ερευνητικής υπόθεσης κατά την προσπάθεια κατανόησης, ορισμού αλλά και πειραματικής αξιοποίησης της ομοιότητας.

Η Sterrett αποδέχεται την άποψη κατά την οποία η έννοια της ομοιότητας συνδέεται με την έννοια της αναλογίας. Εκλαμβάνει την έννοια της φυσικής ομοιότητας ως γενίκευση της έννοιας της γεωμετρικής ομοιότητας και υπό αυτούς τους όρους η ομοιότητα είναι ζήτημα αναλογίας σχέσεων και όχι ζήτημα εύρεσης ενός κοινού χαρακτηριστικού μεταξύ δυο συστημάτων ή φαινομένων (Sterrett, 2010: 799-824). Ενώ, όμως, η γεωμετρική ομοιότητα ορίζεται βάσει της αναλογίας σχημάτων, πλευρών ή και απόστασης μεταξύ δύο σημείων, η φυσική ομοιότητα ορίζεται βάσει της αναλογίας φυσικών ποσοτήτων ή σχέσεων φυσικών ποσοτήτων όπως του χρόνου, της μάζας και της δύναμης. Η Sterrett υπογραμμίζει ότι για να γενικευθεί η έννοια της ομοιότητας από τη γεωμετρία στις φυσικές επιστήμες, έπρεπε να γενικευθούν και οι έννοιες της αναλογίας και του σχήματος, δηλαδή να ολοκληρωθεί η μετάβαση από την ομοιότητα των γεωμετρικών σχημάτων στην ομοιότητα των φυσικών συστημάτων (Sterrett, 2010: 799-824). Η γενίκευση αυτή πραγματοποιήθηκε μέσα από την εξέλιξη της αξιοποίησης και της εννοιολόγησης των εννοιών της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Μέχρι την προσέγγιση του Νεύτωνα η ομοιότητα γινόταν αντιληπτή κυρίως ως γεωμετρική αναλογία ενώ από τον ορισμό των όμοιων συστημάτων του Νεύτωνα και μετά ως αναλογία φυσικών ποσοτήτων και αρκετά αργότερα μέσω της προσέγγισης του Buckingham ως αναλογία σχέσεων φυσικών ποσοτήτων. Κατά τη Sterrett, η έννοια της ομοιότητας στη φυσική συνοψίζεται στην ιδέα της διατήρησης μιας όμοιας σχέσης μεταξύ συγκεκριμένων ποσοτήτων από το μοντέλο στο προς εξέταση φαινόμενο (Sterrett, 2006: 69-80).

Στο πλαίσιο της γενικότερης προσπάθειάς της να εξηγήσει την έννοια της ομοιότητας φυσικών ποσοτήτων ή σχέσεων φυσικών ποσοτήτων, η Sterrett αξιοποιεί τη σχέση της ομοιότητας με την έννοια της αναλογίας φυσικών ποσοτήτων που συχνά απεικονίζεται μέσω μαθηματικών λόγων, οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν αδιάστατες

παραμέτρους (Sterrett, 2010: 799-824). Οι φυσικές ποσότητες οργανώνονται σε ένα σύστημα και συνδέονται με ένα σύστημα διαστάσεων. Οι φυσικές ποσότητες του ίδιου είδους έχουν όλες την ίδια διάσταση. Οι αναλογίες που αποδίδονται με μαθηματικούς λόγους, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη διαπίστωση της φυσικής ομοιότητας, είναι οι ίδιες χωρίς διάσταση, όπως και οι λόγοι που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της γεωμετρικής ομοιότητας (Sterrett, 2010: 799-824). Μπορεί να είναι απλοί όπως ένας λόγος δύο ποσοτήτων της ίδιας διάστασης, (όπως ο αριθμός Mach, ο οποίος είναι ένας λόγος δύο ταχυτήτων) ή πιο περίπλοκοι, (όπως ο αριθμός Reynolds, ο οποίος περιέχει πυκνότητα, ταχύτητα, μήκος και κινηματικό ιξώδες). Οι αναλογίες αυτές είναι γνωστές ως αδιάστατες παράμετροι (Sterrett, 2010: 799-824). Σε αυτό το σημείο εντοπίζεται, λοιπόν, ακόμη μια σημαντική παρατήρηση της Sterrett κατά την οποία η επιστημονική εξήγηση που βασίζεται στον μηχανισμό της ομοιότητας συγκεκριμένων φυσικών ποσοτήτων φυσικών συστημάτων σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό με την μέθοδο της ανάλυσης διαστάσεων.

Σημαντική συμβολή της Sterrett στην προσπάθεια κατανόησης και ορισμού της έννοιας της ομοιότητας εντοπίζεται στην έμφαση που έδωσε στη σημασία και τον ρόλο της επιστημονικής υπόθεσης υπό το πρίσμα της οποίας προσδιορίζεται πάντα η ομοιότητα μεταξύ δύο φυσικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, η Sterrett υποστήριξε ότι δύο συστήματα είναι φυσικά όμοια όταν χαρακτηρίζονται από μια αναλογία συγκεκριμένης σχέσης συγκεκριμένων φυσικών ποσοτήτων, η οποία ορίζεται πάντα υπό το πρίσμα μιας επιστημονικής υπόθεσης (Sterrett, 2006: 69-80).

Η σημασία και ο ρόλος της ερευνητικής υπόθεσης είναι καθοριστικοί για την ερευνητική διαδικασία. Αυτό το συμπέρασμα προκύπτει και από την προσπάθεια ορισμού της ίδιας της έννοιας «επιστήμη». Ας αναλογιστούμε, λοιπόν, τι είναι επιστήμη, αποσκοπώντας στο να εντοπίσουμε και να αναδείξουμε τον ρόλο της ερευνητικής υπόθεσης σε αυτή τη μορφή της διανοητικής δραστηριότητας αλλά κυρίως στο να ενισχύσουμε το επιχείρημα της Sterrett αναφορικά με την σημασία αναφοράς στην ερευνητική υπόθεση κατά την προσπάθεια ορισμού της έννοιας της ομοιότητας.

Ανάμεσα στο πλήθος των προσεγγίσεων αναφορικά με την έννοια της επιστήμης διακρίνονται ορισμένες που απαντούν σε σημαντικά ερωτήματα αναφορικά με τα βασικά χαρακτηριστικά της θεμελιώδους αυτής πνευματικής δραστηριότητας και τα οποία έχουν γενική ισχύ, δηλαδή ανταποκρίνονται σε όλα τα επιμέρους επιστημονικά πεδία. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής υποστηρίζεται ότι ένας ορισμός της έννοιας

της επιστήμης για να θεωρηθεί επαρκής πρέπει να απαντά σε τέσσερα βασικά ερωτήματα. Το πρώτο ερώτημα είναι: τι είδους δραστηριότητα είναι η επιστήμη; Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα θα παρουσιάσει την ταυτότητα αυτής της δραστηριότητας και τα βασικά χαρακτηριστικά της. Το δεύτερο ερώτημα είναι: γιατί ασκείται ή διαφορετικά τι αναμένεται από τη διεξαγωγή της; Τρίτο σημαντικό ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί στο πλαίσιο διατύπωσης ενός επαρκούς ορισμού της επιστήμης είναι: με ποιόν τρόπο ασκείται; Τελευταίο ιδιαίτερος σημαντικό ερώτημα είναι ποιος είναι ο βασικός σκοπός της;

Μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση των βασικών χαρακτηριστικών της επιστήμης εντοπίστηκε στο βιβλίο του Πέτρου Γέμτος *Η Μεθοδολογία των Κοινωνικών Επιστημών* (2004). Από τη μελέτη των χαρακτηριστικών της επιστήμης, όπως τα διέκρινε και τα ανέπτυξε ο Γέμτος, προκύπτουν οι απαντήσεις στα ανωτέρω τα ερωτήματα που οδηγούν στη διατύπωση του κάτωθι ορισμού:

Επιστήμη είναι η συστηματική πνευματική (του νου, του πνεύματος) δραστηριότητα με αντικειμενική ισχύ, που έχει σκοπό την αύξηση του πληροφοριακού μας δυναμικού, άμεσα ή έμμεσα, για τον εμπειρικά αντιληπτό κόσμο στον οποίον ζούμε, με την κατασκευή και τον έλεγχο υποθέσεων υψηλού πληροφοριακού περιεχομένου, αποσκοπώντας στην εξήγηση και πρόβλεψη των φαινομένων της πραγματικότητας (Γέμτος, 2004: 43-45).

Από τον ορισμό αυτόν προκύπτει και ο ρόλος της ερευνητικής υπόθεσης στην επιστήμη. Η υπόθεση προσδιορίζει όλη την ερευνητική διαδικασία. Ο ρόλος της διατύπωσης της ερευνητικής υπόθεσης είναι θεμελιώδης στη διαδικασία κατάκτησης της επιστημονικής γνώσης αναφορικά με τα φαινόμενα καθώς αποκαλύπτει την κατεύθυνση και τον σκοπό της έρευνας. Επίσης, βάσει της ερευνητικής υπόθεσης επιλέγονται οι μέθοδοι, οι τεχνικές και τα εργαλεία και βάσει αυτής σχεδιάζεται και διεξάγεται ο πειραματισμός. Η μεθοδολογική διαδικασία έρευνας των φυσικών φαινομένων χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα στάδια. Η διατύπωση της υπόθεσης αποτελεί το πρώτο βήμα κάθε ερευνητικής προσέγγισης θεωρητικής ή πειραματικής του κάθε φαινομένου καθώς αναδεικνύει ποιες πτυχές του υπό εξέταση φαινομένου θα διερευνηθούν. Μετά τη διατύπωση της υπόθεσης ακολουθεί η μελέτη του θεωρητικού πλαισίου μέσα στο οποίο εντάσσεται το φαινόμενο του ενδιαφέροντος. Επόμενο βήμα είναι η διατύπωση των πιο συγκεκριμένων, πιο περιορισμένης εμβέλειας, τεχνολογικών ερωτήσεων (Coutelieris et al., 2016(b): Vol.36(4), 2241-2242). Έπειτα σχεδιάζεται το

πείραμα και επιλέγονται τα κατάλληλα, μοντέλα, εργαλεία, όργανα για τη διεξαγωγή του. Ακολουθεί η εκτέλεση του πειράματος. Τέλος, τα αποτελέσματα που προκύπτουν γίνονται κατανοητά σε σχέση με ένα θεωρητικό σχήμα γενικότερο του ίδιου του προς εξέταση φαινομένου αλλά πάντα υπό το πρίσμα της ερευνητικής υπόθεσης που είχε διατυπωθεί στην αρχή της ερευνητικής διαδικασίας (Coutelieris et al., 2016(b): Vol.36(4), 2241-2242). Είναι, λοιπόν, εμφανές ότι η ερευνητική υπόθεση διατυπώνεται στην αρχή της έρευνας και παρίσταται σε κάθε στάδιο αυτής, καθορίζοντας τη θεωρία που θα μελετηθεί, τα εργαλεία και τις τεχνικές που θα επιλέγουν ή θα κατασκευαστούν για να αξιοποιηθούν πειραματικά αλλά και την ίδια τη διαδικασία διεξαγωγής του πειράματος. Τέλος, τα αποτελέσματα του πειράματος ελέγχονται πάντα υπό το πρίσμα της υπόθεσης και αξιοποιούνται ώστε να ελέγξουν την εγκυρότητα αυτής.

Στο γενικότερο αυτό πλαίσιο, γίνεται κατανοητό ότι ο ρόλος της ερευνητικής υπόθεσης είναι καθοριστικός και κατά την αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας ως πειραματικής τεχνικής κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων που αποσκοπούν στην περιγραφή, εξήγηση, πρόβλεψη ενός συγκεκριμένου κάθε φορά φαινομένου. Για παράδειγμα κατά τη διαδικασία έρευνας ενός φαινομένου, κατά το στάδιο επιλογής και σχεδιασμού της πειραματικής διαδικασίας, οι ερευνητές θα επιλέξουν κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο που θα εξυπηρετεί τον έλεγχο της συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης. Επίσης, η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση συστήματος θα επιλεγεί και θα οριστεί και πάλι βάσει της υπόθεσης. Τέλος, τα συμπεράσματα που θα προκύψουν από την πειραματική εφαρμογή του μηχανισμού της ομοιότητας θα οδηγήσουν στην επικύρωση ή την απόρριψη της ερευνητικής υπόθεσης. Παρατηρούμε, λοιπόν, ότι η λειτουργία του μηχανισμού της ομοιότητας καθορίζεται σε όλα τα στάδια της από την ερευνητική υπόθεση. Το γεγονός αυτό από τη μια γεννά ερωτήματα για τη μη, μέχρι τη θεώρηση της Sterrett, συσχέτιση της ερευνητικής υπόθεσης με την έννοια του μηχανισμού της ομοιότητας και από την άλλη αποδεικνύει τη σημασία της προσθήκης αυτής της φιλοσόφου στον ορισμό της ομοιότητας. Η σημαντική αυτή επισήμανση της Sterrett συμβάλλει στον σαφέστερο ορισμό των εννοιών της ομοιότητας, των όμοιων συστημάτων και των μοντέλων αναλογίας και τοποθετεί τη θεωρία της ανάμεσα στους σημαντικότερους σταθμούς εξέλιξης των εννοιών αυτών. Επομένως, αντιλαμβανόμαστε πόσο σημαντική υπήρξε η συμβολή της Sterrett στην εισαγωγή νέων βάσεων στην προσέγγιση των εννοιών της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων στο πεδίο της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης.



Συνοψίζοντας, οι σημαντικότερες συμβολές της θεωρίας της Sterrett αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας εντοπίζονται στη σύνδεση της ομοιότητας με την έννοια της αναλογίας και με τη μέθοδο ανάλυσης διαστάσεων, στην ανάδειξη του ρόλου της ερευνητικής υπόθεσης κατά τον ορισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων αλλά, όπως θα αναπτύξουμε και στις επόμενες ενότητες, και στην ανάδειξη της λειτουργίας της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού κλίμακας των επιστημονικών μοντέλων. Τρία σημαντικά ζητήματα που εξέτασε η Sterrett αναφορικά με τον μηχανισμό της ομοιότητας είναι στο πλαίσιο ποιων μεθοδολογιών χρησιμοποιείται ο μηχανισμός της ομοιότητας (βλ. κεφ. 2.3, 2.4.1, 2.4.2), πώς εμπλέκονται η θεωρία, οι αρχές, οι νόμοι, στην κατασκευή και τη λειτουργία του επιστημονικού μοντέλου και πώς επιλέγονται τα κριτήρια με τα οποία ορίζεται η ομοιότητα μεταξύ δυο συστημάτων (βλ. κεφ. 2.4.1, 2.4.3) και εάν αντιγραφή ενός συστήματος ή η αναπαραγωγή ενός φαινομένου συνιστά ομοιότητα και συγκεκριμένα την ομοιότητα που εμπλέκεται στη μοντελοποίηση κλίμακας (βλ. κεφ. 2.4.3).

Παρόλο που η συμβολή της Sterrett αναφορικά με την κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων στα πεδία της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης υπήρξε πολύ σημαντική και καινοτόμος, εντοπίζονται ορισμένες παραλείψεις στη θεώρησή της. Για να κατανοηθεί επαρκώς η έννοια ενός μηχανισμού που αξιοποιείται πειραματικά, όπως στην προκειμένη περίπτωση της ομοιότητας, και να επιτευχθεί η όσο το δυνατόν επαρκέστερη θεωρητική του τεκμηρίωση είναι σημαντικό να εξεταστεί έστω και κατά συνοπτικό ή αντιπροσωπευτικό τρόπο η ιστορία του υπό διερεύνηση μηχανισμού. Συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί πότε εμφανίστηκε ο μηχανισμός αυτός για πρώτη φορά στο πλαίσιο της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας και ποιες μορφές πήρε μέσα στους αιώνες μέχρι να αποκτήσει τη μορφή και τον ρόλο του στην σύγχρονη επιστήμη. Η μελέτη και η παρουσίαση της εξέλιξης της κατανόησης της έννοιας αλλά και της αξιοποίησης του υπό εξέταση μηχανισμού μπορούν να συμβάλλουν στην σφαιρικότερη, ουσιαστικότερη και εν τέλει επαρκέστερη κατανόηση της έννοιας αυξάνοντας τις πιθανότητες επίτευξης μίας επαρκούς θεωρητικής τεκμηρίωσης της. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι παρόλο που η Sterrett προσέγγισε κριτικά πλήθος θεωριών προερχόμενων από τις φυσικές επιστήμες και τη μηχανική μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, εστιάζοντας κυρίως στις προσεγγίσεις που τοποθετούνται χρονικά στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, δεν επιδίωξε την προσεκτική αναζήτηση των αρχών ή των ριζών της έννοιας των όμοιων

συστημάτων και της ομοιότητας. Η Sterrett έκανε μεν κάποιες αναφορές στους Πυθαγόρειους φιλοσόφους και στον Ευκλείδη, ωστόσο παρέλειψε σημαντικές προσεγγίσεις όπως εκείνη του του Θαλή του Μιλήσιου, που προηγήθηκε χρονικά του Ευκλείδη όσον αφορά στην κατανόηση και αξιοποίηση της γεωμετρικής ομοιότητας, ενώ δεν αναφέρθηκε και στην περίπτωση του Αριστοτέλη, ο οποίος δεν κατανόησε απλώς τη σημασία της ομοιότητας κατά την προσπάθεια κατάκτησης της γνώσης του κόσμου αλλά, όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο, την αξιοποίησε και κατά τη σύνταξη των εκτενών ζωολογικών του καταλόγων, κατά την κατηγοριοποίηση, δηλαδή, της γνώσης περί τα είδη των ζώων. Επίσης, όπως προκύπτει από τη μελέτη της αρθρογραφίας της, η Sterrett δε φαίνεται να έχει ασχοληθεί συστηματικά μέχρι σήμερα με τη διερεύνηση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας της ομοιότητας από την αρχαιότητα μέχρι την περίοδο της Αναγέννησης. Δεν εντοπίζονται στις δημοσιεύσεις της αναφορές για παράδειγμα στην Αιγυπτιακή επιστήμη, συνολικά στην περίοδο της κλασικής αρχαιότητας ή στην περίοδο του μεσαίωνα. Ενδεχομένως, η εξέταση της κατανόησης και της αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας αυτών περιόδων δεν έχουν προσελκύσει μέχρι στιγμής το ενδιαφέρον της φιλοσόφου. Αυτό, βέβαια, δε μειώνει την αδιαμφισβήτητη σημαντική της συμβολή αναφορικά με την ιστορική και φιλοσοφική διερεύνηση της έννοιας μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, αφήνει όμως κάποια σημαντικά κενά αναφορικά με την έννοια στο πεδίο της ιστορίας της επιστήμης. Τα κενά αυτά επιδιώχθηκε να καλυφθούν ως έναν βαθμό στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής μέσω της διάκρισης συγκεκριμένων εξελικτικών σταδίων της έννοιας της ομοιότητας παράλληλα με την εξέλιξη της επιστήμης.

## **2.3 Τα επιστημονικά μοντέλα στη σκέψη της Sterrett**

### **2.3.1 Η κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων της Sterrett**

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που απασχόλησαν τη Sterrett είναι στο πλαίσιο ποιων μεθοδολογιών χρησιμοποιείται ο μηχανισμός της ομοιότητας (Sterrett, 2006: 69-80). Όπως η ίδια επισημαίνει, από τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα ο μηχανισμός της ομοιότητας συνδέεται με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου και αξιοποιείται συστηματικά από ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων. Στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα οι φιλόσοφοι της επιστήμης είχαν καταβάλει προσπάθειες κατανόησης και ορισμού της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου αντιμετωπίζοντας τα μοντέλα κυρίως ως θεωρητικές δομές ή ενδιάμεσα στάδια μεταξύ θεωρίας και φυσικής πραγματικότητας.

Σε αυτό το πλαίσιο έρχεται η θεώρηση της Sterrett και τοποθετεί σε νέες βάσεις τη γενική προσπάθεια της θεωρητικής τεκμηρίωσης του σημαντικού αυτού μεθοδολογικού εργαλείου πειραματισμού.

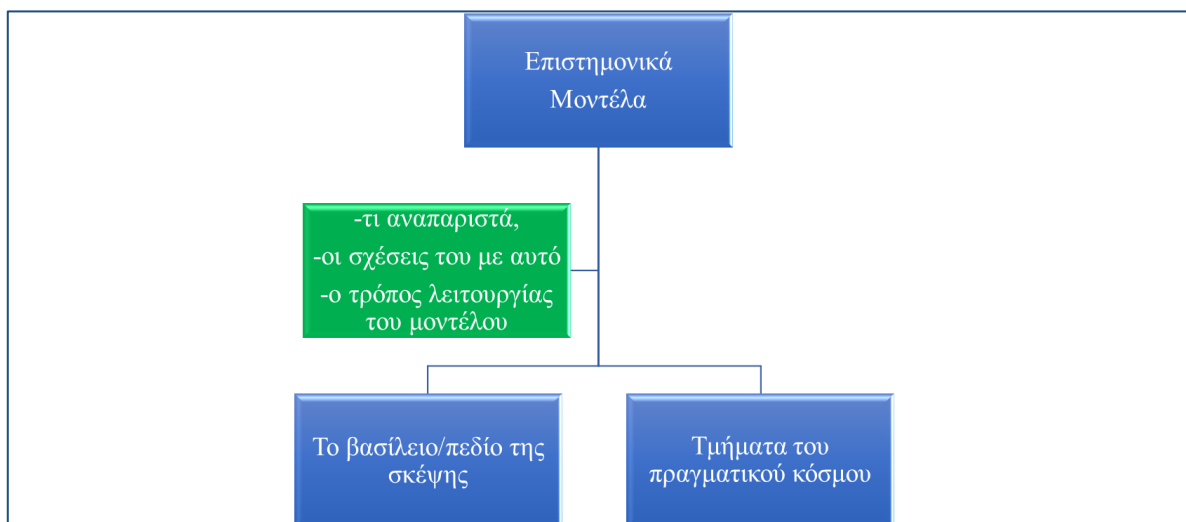
Η Sterrett μελέτησε εκτενώς την έννοια της ομοιότητας ως σημαντικού μηχανισμού ικανού να συμβάλλει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για μη προσβάσιμα συστήματα, ως σημαντικού μηχανισμού, δηλαδή, λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων. Η Sterrett προσέγγισε την έννοια του επιστημονικού μοντέλου ιστορικά, φιλοσοφικά, αλλά ταυτόχρονα αξιοποιώντας γνώσεις προερχόμενες από τα πεδία της μηχανικής και των φυσικών επιστημών. Έχοντας μελετήσει ένα ευρύ φάσμα και έναν μεγάλο αριθμό μοντέλων, οδηγήθηκε σ' ένα σημαντικό συμπέρασμα, το οποίο τοποθετεί τη θεωρία της ανάμεσα στους σημαντικότερους μέχρι σήμερα σταθμούς της εξέλιξης της έννοιας του μοντέλου όχι μόνο στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης αλλά και της ιστορίας της επιστήμης. Η Sterrett μέσω της εκτενούς έρευνάς της παρατήρησε την εκτεταμένη χρήση των μοντέλων-φυσικών διατάξεων σε διάφορα πεδία της μηχανικής, στη φυσική, στη βιολογία, στις γεωεπιστήμες ακόμα και στις κοινωνικές επιστήμες, όπως για παράδειγμα στην εγκληματολογία (Sterrett, 2005(a): 1-12). Το γεγονός αυτό ενίσχυσε την άποψή της, κατά την οποία η μέχρι τότε αντίληψη των μοντέλων στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης ήταν αποσπασματική καθώς δεν συμπεριλάμβανε ένα ευρύ φάσμα μοντέλων που αποτελούσαν μέρη του πραγματικού κόσμου. Αντιλήφθηκε, λοιπόν, ότι τα μοντέλα-φυσικές διατάξεις δεν μπορεί να λειτουργούν ούτε πρέπει να γίνονται αντιληπτά και αποδεκτά μόνο ως εκπαιδευτικά βοηθήματα ή ως συμπληρωματικές επιστημονικές τεχνικές και όχι ως αποδεκτές επιστημονικές τεχνικές, δεδομένης της ιδιαίτερως εκτεταμένης κατασκευής και αξιοποίησής τους (Sterrett 2005(a): 1-12). Αφού επισήμανε τη σημασία της περαιτέρω διερεύνησης της κατηγορίας αυτής των επιστημονικών μοντέλων από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, η Sterrett προέβη σε μια καινοτόμο πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε δύο ευρείες κατηγορίες, αναθεωρώντας το κριτήριο της κατηγοριοποίησης των μοντέλων. Η Sterrett στο άρθρο της με τίτλο *Kinds of models* (Sterrett 2005(a): 2) υποστηρίζει ότι :

«Αυτό που διακρίνει αυτά τα δύο είδη μοντέλων δεν είναι η διαφορά που υπάρχει μεταξύ της φύσης των όντων που χρησιμοποιούνται ως μοντέλα – για παράδειγμα όχι η διαφορά μεταξύ ενός ζωντανού οργανισμού και μιας αφηρημένης μαθηματικής δομής – αλλά η διαφορά αυτών των δύο μοντέλων, η οποία προσδιορίζεται από τις

σχέσεις τους με το σύστημα που μοντελοποιούν αλλά και από τον τρόπο με τον οποίον χρησιμοποιούνται για να το μοντελοποιήσουν. Για να το πούμε εν συντομία, αυτό που κάνει αυτά τα δύο είδη μοντέλων να είναι διαφορετικά είναι τα χαρακτηριστικά βάσει των οποίων το καθένα από αυτά τα είδη θεωρείται μοντέλο».

Επομένως, κατά την κατηγοριοποίηση των μοντέλων η Sterrett εστιάζει σε αυτό που ένα μοντέλο αναπαριστά, στις σχέσεις του με αυτό και στον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου. Το επιχείρημά της αυτό σηματοδοτεί μια νέα εποχή στην εξέταση της επιστημονικής μεθόδου των φυσικών επιστημών από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Σηματοδοτεί μια νέα προσπάθεια πιο σφαιρικής θεωρητικής προσέγγισης και επαρκέστερης κατανόησης, εννοιολόγησης και θεωρητικής τεκμηρίωσης σημαντικών μηχανισμών και τεχνικών που αξιοποιούνται πειραματικά στις φυσικές επιστήμες.

Στο άρθρο της *Kinds of models* (2005(a)) η Sterrett αναφέρει ότι στην προτεινόμενη κατηγοριοποίησή της δεν συμπεριέλαβε όλα τα είδη μοντέλων αλλά εκείνα που συμβάλλουν κατά την προσπάθεια εξαγωγής συμπερασμάτων, αιτιολόγησης καταστάσεων, παροχής εξηγήσεων και προαγωγής της κατανόησης μη προσβάσιμων συστημάτων. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνει τη διάκριση δύο ευρέων κατηγοριών επιστημονικών μοντέλων, της κατηγορίας “realm of thought” και της κατηγορίας “using one piece of the world to tell about another” (Sterrett, 2005(a): 1-12) (σχήμα 1).



**Σχήμα 1:** Κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων της Susan G. Sterrett (Ίδια επεξεργασία).

Στην πρώτη κατηγορία, η οποία θα μπορούσε να αποδοθεί στην ελληνική γλώσσα ως «Το πεδίο της σκέψης», εντάσσονται μοντέλα αφηρημένα, μαθηματικές δομές,

αλγόριθμοι ή περιγραφές μηχανισμών. Είναι θεωρητικά εργαλεία και όχι κάτι που βρίσκεται στον χρόνο και στον χώρο. Τα εργαλεία αυτά θεωρούνται μοντέλα λόγω της σχέσης τους με κάποιες εξισώσεις ή επιστημονικές προτάσεις (Sterrett, 2005(a): 1-12). Σημαντικά είδη μοντέλων που εντάσσονται σε αυτήν την κατηγορία είναι τα μηχανικά μοντέλα εξισώσεων, τα μοντέλα αξιωματών στην αριθμητική και τη γεωμετρία και τα μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης (Sterrett, 2005(a): 1-2, 9-11). Τα μοντέλα αυτά, όπως και η ίδια επισημαίνει είναι «περισσότερο κάτι που τοποθετείται στο πεδίο της σκέψης, παρά κάτι που τοποθετείται στον χώρο και τον χρόνο» (Sterrett, 2005(a): 9).

Για παράδειγμα, τα μαθηματικά μοντέλα συχνά κατασκευάζονται για να προσομοιώνουν κάποια πραγματική ή φανταστική κατάσταση. Οι μαθηματικές προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται σε πολλούς επιστημονικούς κλάδους. Μερικά παραδείγματα είναι οι προσομοιώσεις σχετικά με το πώς ένα κτήριο ανταποκρίνεται σε σεισμό, την επίδραση της χρήσης λιπασμάτων στην απόδοση των καλλιεργειών, το πώς η αύξηση των τιμών του πετρελαίου θα επηρεάσει τα κέρδη των εταιρειών σε διάφορους τομείς της οικονομίας κ.α. (Sterrett, 2005(a): 5-7). Όπως επισημαίνει η Sterrett, μερικές φορές, τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις παίρνουν τις τιμές των παραμέτρων που δεν παράγονται από μια μαθηματική συνάρτηση, αλλά είναι εμπειρικά δεδομένα που έχουν καταγραφεί ή που έχουν παραχθεί από άλλα εμπειρικά δεδομένα. Η ίδια αναφέρει ότι σε μαθηματικές προσομοιώσεις ο στόχος δεν είναι απαραίτητα να αποκτηθεί ένα μοντέλο που να ικανοποιεί ένα ορισμένο σύνολο θεμελιωδών μαθηματικών εξισώσεων που περιγράφουν ένα φυσικό φαινόμενο (όπως οι εξισώσεις του Maxwell), ούτε ένα μοντέλο ενός συνόλου επιστημονικών προτάσεων που να καταγράφουν τη μαθηματική δομή, αλλά ένα μοντέλο από το οποίο μπορεί κανείς να υπολογίσει τις τιμές ενός συνόλου παραμέτρων που συμφωνούν με εκείνες που παρατηρούνται σε μια πραγματική κατάσταση (Sterrett, 2005(a): 5-7). Σε κάποιες περιπτώσεις, κατά τη Sterrett, ο στόχος είναι οι τιμές που υπολογίζονται από το μαθηματικό μοντέλο να συμφωνούν με εμπειρικές παρατηρήσεις (Sterrett, 2005(a): 5-7). Ωστόσο, σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι αυτό δεν ισχύει για όλες τις κατηγορίες μαθηματικών μοντέλων. Για παράδειγμα, δεν ισχύει για τα προβλεπτικά μοντέλα, που προβλέπουν τη συμπεριφορά ενός συστήματος, οπότε κατά την εφαρμογή τους δεν υπάρχουν παρατηρήσεις με τις οποίες οι τιμές των παραμέτρων του ενδιαφέροντος θα μπορούσαν να συμφωνήσουν.

Τα μοντέλα που εντάσσονται στη δεύτερη κατηγορία της Sterrett αποτελούν τμήματα του πραγματικού κόσμου και είναι ευρύτερα γνωστά ως μοντέλα αναλογίας. Τα μοντέλα που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία δεν είναι αφηρημένα, ούτε αποτελούν ενδιάμεσο στάδιο θεωρίας και πραγματικού κόσμου, αλλά αποτελούν ένα συγκεκριμένο κομμάτι του πραγματικού κόσμου (Sterrett, 2005(a): 1-12). Τα μοντέλα αναλογίας είναι επί της ουσίας φυσικές διατάξεις που λειτουργούν ως μοντέλα άλλων φυσικών διατάξεων, τις οποίες οι ερευνητές δεν μπορούν να παρατηρήσουν απευθείας λόγω του μεγέθους τους, της απόστασης χώρου ή χρόνου που τους χωρίζει από αυτές (Sterrett, 2017(a): 857). Ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας αυτών των μοντέλων είναι η ομοιότητα που επικυρώνεται μέσω σχέσεων αναλογίας ποσοτήτων ή σχέσεων ποσοτήτων μεταξύ των δύο φαινομένων, συστημάτων ή αντικειμένων, οι οποίες συνήθως περιγράφονται από μαθηματικές σχέσεις (Sterrett, 2005(a): 1, 6-14· Sterrett, 2017(a): 857-861). Η ομοιότητα, σύμφωνα με τη Sterrett, ορίζεται πάντα με κριτήρια που καθορίζονται από το εκάστοτε προς εξέταση φαινόμενο υπό το πρίσμα συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης και αξιοποιείται από τους ερευνητές κατά το στάδιο επιλογής ή κατασκευής του μοντέλου αλλά και κατά το στάδιο επέκτασης των συμπερασμάτων από το μοντέλο προς το αντικείμενο, σύστημα ή φαινόμενο του ενδιαφέροντος (Sterrett, 2005(a): 1, 6-14· Sterrett, 2017(a): 860-861). Ευρέως αποδεκτές μέθοδοι, αρχές και επιστημονικοί νόμοι εμπλέκονται στον καθορισμό κριτηρίων ομοιότητας μεταξύ δύο καταστάσεων αλλά και κατά την επιβεβαίωση ότι πληρούνται αυτά τα κριτήρια. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των μοντέλων κλίμακας, η μεθοδολογία αφορά στον προσδιορισμό της φυσικής ομοιότητας με αδιάστατες παραμέτρους (*dimensionless parameters*). Επομένως, η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου κλίμακας και του υπό εξέταση συστήματος συνήθως δεν είναι απόλυτη, καθώς ορίζεται σε σχέση με ένα συγκεκριμένο ή με κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, τα οποία ορίζονται πάντα υπό το φως μιας επιστημονικής υπόθεσης.

Παραδείγματα μοντέλων που εντάσσονται στην κατηγορία των *pieces of the word* μοντέλων της Sterrett είναι τα μοντέλα οργανισμών (*animal models*) που χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιολογία, τα μοντέλα κλίμακας (*scale models*) στις φυσικές επιστήμες και σε διάφορα πεδία της μηχανικής αλλά και κάποια μοντέλα αναπαράστασης γεγονότων (*re-enactments of events*) που αξιοποιούνται από την επιστήμη της εγκληματολογίας. Αυτά τα είδη μοντέλων θεωρούνται μοντέλα λόγω ομοιότητας με κάποιο άλλο φυσικό αντικείμενο ή κατάσταση (Sterrett, 2005(a): 1-12).

Η Sterrett εξέτασε εκτενώς το είδος των μοντέλων κλίμακας που χρησιμοποιούνται συνήθως στη μηχανική και τη φυσική. Τα μοντέλα κλίμακας δεν αποτελούν θεωρητικά μοντέλα, ούτε τοποθετούνται μεταξύ θεωρίας και πραγματικού κόσμου, αλλά εντάσσονται στον πραγματικό κόσμο, αποτελώντας κομμάτι του. Τα μοντέλα κλίμακας αποτελούν μια ιδιαίτερα εκτεταμένη υποκατηγορία των μοντέλων αναλογίας και είναι φυσικά αντικείμενα ή συστήματα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ή την πρόβλεψη της συμπεριφοράς μίας μηχανικής κατασκευής, ενός αντικειμένου ή ενός συστήματος διαφορετικών διαστάσεων (Sterrett, 2005(a): 7-8). Κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει συγκεκριμένη και σαφώς προσδιορισμένη αναλογία τους με ένα σύστημα του φυσικού κόσμου (του εκάστοτε συστήματος στόχου), η οποία συνήθως περιγράφεται με μια μαθηματική σχέση (Sterrett, 2002(b), vol.3: 59-63· Sterrett, 2005(a): 1-3· Sterrett, 2006, vol. 20: 69-80· Sterrett, 2017 (a): 857-878).

Η λειτουργία των μοντέλων κλίμακας βασίζεται στην ομοιότητα και η πιο συνηθισμένη μέθοδος που αξιοποιείται κατά τη χρήση τους είναι ανάλυση διαστάσεων των ποσοτήτων από τις οποίες εξαρτάται το προς εξέταση φαινόμενο. Η λογική του μοντέλου αυτού εστιάζει στην αξιοποίηση ενός φυσικού αντικειμένου, φαινομένου ή συστήματος για να ανακαλυφθεί μια συγκεκριμένη συμπεριφορά ενός άλλου με βάση την αναλογία μεταξύ τους (Sterrett, 2005(a): 7-8). Κατασκευάζονται, λοιπόν, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μια ιδιαίτερη αναλογία με κάποιο σύστημα του φυσικού κόσμου, έτσι ορισμένες φορές περιγράφονται και ως *physically similar systems*. Η σχέση αναλογίας ανάμεσα στο μοντέλο και το υπό έλεγχο σύστημα προσδιορίζεται από την κατεύθυνση και τον σκοπό της έρευνας αναφορικά με συγκεκριμένο υπό εξέταση σύστημα υπό το πρίσμα της υπό έλεγχο ερευνητικής υπόθεσης (Sterrett, 2002: 59-63, 2005(a): 7-8, 2017 (a) : 857-860).

Επομένως, βασικό σημείο σε όλη τη διαδικασία είναι ο προσδιορισμός της αναλογίας από την οποία θα εξαρτηθεί και η φυσική ομοιότητα (Sterrett, 2017 (a): 857-860). Όπως γίνεται αντιληπτό, η μέθοδος είναι αναλογική καθώς μελετάται μια συγκεκριμένη κατάσταση προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα για μια άλλη ανάλογη συγκεκριμένη κατάσταση. Για αυτόν τον λόγο τα μοντέλα αυτά ονομάζονται και μοντέλα αναλογίας (analogue models). Τα μοντέλα κλίμακας (scale models) συνήθως είναι μηχανικά συστήματα, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Έτσι και χημικά, φυσικά, ηλεκτρικά συστήματα μπορεί να αποτελούν μοντέλα κλίμακας (scale models) (Sterrett, 2002: 54-57, 2005(a): 7-8).

Η συμβολή της Sterrett στην ανάδειξη της σημασίας της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου, της κατανόησης, της εννοιολόγησης και της κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων στον τομέα της φιλοσοφίας της επιστήμης είναι προφανής. Μέσα από την έρευνά της υπογράμμισε πόσο «παραμελημένη» είναι η έννοια των επιστημονικών μοντέλων και πόσο αποσπασματική είναι η κατανόηση της στον τομέα της φιλοσοφίας της επιστήμης. Ταυτόχρονα, εισήγαγε ένα διαφορετικό κριτήριο κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων, το κριτήριο του «τι αναπαριστά ένα μοντέλο και πώς λειτουργεί αυτός ο μηχανισμός της αναπαράστασης», το οποίο οδήγησε σε μια πιο επαρκή ταξινόμηση των μοντέλων στις δύο μεγάλες κατηγορίες της. Η συμβολή της Sterrett, όμως, αναφορικά με την έννοια του μοντέλου δεν περιορίζεται απλώς στην προσέγγιση της έννοιας και τη διατύπωση μιας πρότασης κατηγοριοποίησης των μοντέλων. Όπως προκύπτει από τη μελέτη της αρθρογραφίας της, η Sterrett εξέτασε μεγάλο αριθμό παραδειγμάτων επιστημονικών μοντέλων που αξιοποιούνται σε διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς και περιέγραψε τον τρόπο λειτουργίας τους ενώ ταυτόχρονα προσδιόρισε συγκεκριμένα στάδια εφαρμογής των μοντέλων κλίμακας (βλ. κεφ. 2.4.2.) κατά την πειραματική μεθοδολογία κυρίως των φυσικών επιστημών και της μηχανικής.

Επίσης, η συμβολή της Sterrett δεν περιορίζεται στη θεωρία της καθ'εαυτή, που αναμφισβήτητα είναι σημαντική και καινοτόμος, αλλά εντοπίζεται και στο ότι μέσω αυτής δείχνει τον δρόμο και τον τρόπο με τον οποίον οι επόμενοι φιλόσοφοι της επιστήμης και φυσικοί επιστήμονες πρέπει να κινηθούν ώστε να τις κατανοήσουν σφαιρικά και να επιτύχουν τη θεωρητική τεκμηρίωση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου, που δεν είναι άλλος από την προσέγγισή τους μέσω ενός διεπιστημονικού διαλόγου. Προκειμένου να συνθέσει τη θεωρία της η Sterrett αξιοποίησε τις γνώσεις της από το πεδίο της μηχανικής αλλά και από τα πεδία της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης. Πιθανότατα για αυτόν τον λόγο η προσέγγισή της γίνεται κατανοητή και αξιοποιείται εκτενώς από τους φιλοσόφους της επιστήμης και από τους φυσικούς επιστήμονες και τους μηχανικούς. Η περίπτωση της «διεπιστημονικής» αυτής προσέγγισης της Sterrett, ενισχύει την πεποίθηση κατά την οποία η κατανόηση των εννοιών αυτών μπορεί να προκύψει μέσα από έναν συστηματικό και συνεχή διάλογο εκπροσώπων των πεδίων της φιλοσοφίας της επιστήμης και των φυσικών επιστημών. Η ανάπτυξη ενός διεπιστημονικού διαλόγου μπορεί να οδηγήσει στη διαμόρφωση μιας επαρκέστερης αντίληψης και ορισμού των



εννοιών του επιστημονικού μοντέλου και της ομοιότητας, καθώς από τη μια οι φυσικές επιστήμες θα παρέχουν τη γνώση που προκύπτει από το σχεδιασμό και την εφαρμογή των τεχνικών αυτών δίνοντάς τους ταυτόχρονα προστιθέμενη επιστημονική αξία ενώ η φιλοσοφία της επιστήμης συμβάλλει στη θεωρητική τους τεκμηρίωση, δηλαδή στον ορισμό και στην τεκμηρίωσή τους ως επίσημων επιστημονικών μεθόδων. Η ανάπτυξη, βέβαια, ενός τέτοιου διεπιστημονικού διαλόγου δεν μπορεί και δεν πρέπει να είναι παροδική ή ευκαιριακή. Επειδή τα εργαλεία αυτά εξελίσσονται διαρκώς, ο διάλογος αυτός θα πρέπει να αποτελεί μια διαρκή διαδικασία που θα εκτυλίσσεται παράλληλα με την αξιοποίησή τους και θα παρέχει τη δυνατότητα ενός συνεχούς επαναπροσδιορισμού της τεχνικής αυτής, ανταποκρινόμενου στην εξέλιξή της και ικανού να συμβάλλει στον σαφή κάθε φορά ορισμό και τη διασφάλιση της αποτελεσματικής πειραματικής εφαρμογής της.

Παρόλο που η Sterrett στις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα κατάφερε να ενισχύσει σημαντικά τη γνώση περί τα μοντέλα, εξακολουθούν να εντοπίζονται κενά ως προς την κατανόηση της έννοιας των μοντέλων ενώ ταυτόχρονα η αξιοποίησή τους επεκτείνεται με γρήγορους ρυθμούς σε περισσότερους επιστημονικούς τομείς. Αρχικά, η Sterrett, όπως στην περίπτωση της έννοιας της ομοιότητας έτσι και στην περίπτωση της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου δεν φαίνεται να προέβη σε αναζήτηση των πρώτων μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν ή στην εξέταση της ιστορικής εξέλιξης της τεχνικής αυτής πριν τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, ενώ εστίασε στη μελέτη της πειραματικής χρήσης των μοντέλων μετά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα και στις φιλοσοφικές προσπάθειες εννοιοδότησής τους. Προκειμένου να καλυφθεί το κενό αυτό και να ενισχυθεί η κατανόηση της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου, στο πρώτο κεφάλαιο επιδιώχθηκε η ιστορική ανασκόπηση της τεχνικής αυτής από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, μέσω της παρουσίασης αρκετά αντιπροσωπευτικών παραδειγμάτων χρήσης μοντέλων σε διάφορους τομείς της επιστημονικής δραστηριότητας. Επίσης, διατυπώθηκε επιχειρηματολογία κατά την οποία τα πρώτα μοντέλα που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα είναι ο κύκλος των πετρών της Nabta Playa και τα γλυπτά cowstone και bedrock στην έρημο Νουβία, τα οποία τοποθετούνται χρονικά περίπου 2.000 πριν την, κατά γενική παραδοχή, αρχή αυτού που σήμερα λέμε επιστήμη.

Επίσης, σημαντικό ερώτημα που προκύπτει αναφορικά με την κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων που πρότεινε η φιλόσοφος, είναι εάν βάσει αυτής κάθε είδος μοντέλου μπορεί να συμπεριληφθεί σαφώς και μόνο σε μία από τις προτεινόμενες δύο

κατηγορίες της Sterrett ή εάν υπάρχουν κάποια είδη μοντέλων, τα οποία δεν μπορούμε να τα τοποθετήσουμε εύκολα σε μία από αυτές τις δύο κατηγορίες. Για παράδειγμα, σε ποια κατηγορία θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν τα φανταστικά ή τα νοητά μοντέλα (fiction models) όπως το μοντέλο του ατόμου του Bohr; Αυτό ακριβώς είναι το σημείο στο οποίο η θεωρία της Sterrett αναφορικά με την κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων δε δίνει απάντηση και γεννά επιπλέον ερωτήματα σχετικά με την πιθανότητα επιλογής ενός άλλου κριτηρίου κατηγοριοποίησης των μοντέλων, ικανού να οδηγήσει σε μια επαρκέστερη ταξινόμησή τους, στο πλαίσιο της οποίας να επιτυγχάνεται η κατηγοριοποίηση όλων των μοντέλων σε συγκεκριμένες βασικές κατηγορίες αλλά και η κατάταξη κάθε μοντέλου σε μία και μόνο κατηγορία.

Το ερώτημα αυτό όπως και άλλα κενά που δεν καλύπτονται από τις σύγχρονες θεωρητικές προσεγγίσεις της έννοιας του μοντέλου επιτάσσουν την ανάγκη συστηματικότερης και επαρκέστερης διερεύνησης του ζητήματος από το κατεξοχήν πεδίο έρευνας της εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης και μεθοδολογίας, δηλαδή από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Αποσκοπώντας ειδικότερα στην αντιμετώπιση των περιορισμών και των αναπάντητων ερωτημάτων που προκύπτουν από την προσέγγιση της Sterrett και γενικότερα στη διατύπωση μιας σφαιρικής προσέγγισης αναφορικά με την έννοια και τις μορφές του επιστημονικού μοντέλου στη σύγχρονη επιστήμη, η οποία ξεκίνησε στο πρώτο κεφάλαιο με τη διατύπωση ορισμού και τον εντοπισμό συχνών παρανοήσεων αναφορικά με την έννοια του μοντέλου, στη συνέχεια διατυπώνεται μια πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες, λαμβάνοντας ως κριτήριο κατηγοριοποίησης τη φύση των μοντέλων. Η φύση των μοντέλων υποστηρίζεται ότι αποτελεί ασφαλές κριτήριο, ικανό να οδηγήσει σε μια επαρκή ταξινόμηση των θεμελιωδών κατηγοριών μοντέλων και στην τοποθέτηση κάθε μοντέλου σε μία και μόνο κατηγορία.

### **2.3.2 Η πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες**

Ο ορισμός και η κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων αποτελούν απαιτητικές διαδικασίες και κάθε ερευνητής, είτε από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης είτε από κάποιο άλλο επιστημονικό πεδίο, ασχολείται με αυτά τα ζητήματα, καλείται να αντιμετωπίσει σημαντικές δυσκολίες. Αρχικά, τα επιστημονικά μοντέλα χρησιμοποιούνται εκτενώς από ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων. Αυτό έχει ως

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett

αποτέλεσμα τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συστηματική αξιοποίηση μιας τεράστιας ποικιλίας τύπων μοντέλων, γεγονός που οδηγεί αντιστοίχως σε ένα ευρύ φάσμα ορισμών των επιστημονικών μοντέλων. Επιπλέον, η τεχνική μοντελοποίησης αναπτύσσεται συνεχώς και νέοι τύποι μοντέλων διαμορφώνονται και συμπεριλαμβάνονται στη μεθοδολογία διαφόρων επιστημονικών τομέων. Με άλλα λόγια, η έννοια και οι κατηγορίες των επιστημονικών μοντέλων εξελίσσονται συνεχώς. Επομένως, ο ερευνητής που εξετάζει την έννοια και την κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων, έρχεται αντιμέτωπος με πολλές πληροφορίες αναφορικά με διάφορες μορφές μιας διαρκώς εξελισσόμενης επιστημονικής τεχνικής. Ο μεγάλος αριθμός, η ποικιλία των επιστημονικών μοντέλων και το ευρύ φάσμα των εφαρμογών τους σε όλο και μεγαλύτερο πλήθος επιστημονικών πεδίων, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, καθιστούν το εγχείρημα κατηγοριοποίησής των μοντέλων ιδιαίτερα απαιτητικό. Ταυτόχρονα, όμως, η ταξινόμηση των μοντέλων σε βασικές κατηγορίες είναι σημαντική καθώς η επίτευξή της θα διευκολύνει κατά την επιλογή και την αξιοποίησή τους κατά της πειραματική διαδικασία από τους φυσικούς, τους μηχανικούς και γενικότερα όλους τους επιστήμονες που τα αξιοποιούν συστηματικά στο πλαίσιο της πειραματικής τους μεθοδολογίας. Επιπλέον, μια σαφής και επαρκής κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων θα συμβάλλει και στην καλύτερη κατανόηση της φύσης και της λειτουργίας του κάθε μοντέλου από τους φιλοσόφους της επιστήμης, ενισχύοντας ταυτόχρονα και την προσπάθεια κατανόησης και θεωρητικής τεκμηρίωσης της έννοιας του μοντέλου αλλά και των δυνατοτήτων που αυτό παρέχει στην επιστημονική πρακτική.

Επομένως, η διατύπωση ενός περιεκτικού ορισμού που να παρουσιάζει την έννοια, τη λειτουργία, τον σκοπό της τεχνικής αυτής στη σύγχρονη επιστήμη αλλά και η διατύπωση μιας επαρκούς πρότασης κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε βασικές κατηγορίες αποτελούν δύσκολα αλλά πολύ σημαντικά εγχειρήματα για τον τομέα της φιλοσοφίας της επιστήμης αλλά και για τους τομείς αξιοποίησης των τεχνικών αυτών, όπως για παράδειγμα για τα πεδία των φυσικών και της μηχανικής, στα οποία η χρήση των μοντέλων αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της πειραματικής τους μεθοδολογίας. Συγκεκριμένα, η πρόταση μίας σαφούς κατηγοριοποίησης των μοντέλων από εκπροσώπους του πεδίου της φιλοσοφίας της επιστήμης είναι ικανή να συμβάλλει στη θεωρητική τεκμηρίωση της τεχνικής αυτής, παρέχοντας τοιούτοτρόπως τα απαραίτητα θεωρητικά εφόδια που θα οδηγήσουν στην καλύτερη κατανόηση του

εργαλείου και την αποδοτικότερη αξιοποίησή του από τους επιστήμονες που τα αξιοποιούν συστηματικά στο πλαίσιο της πειραματικής τους μεθοδολογίας.

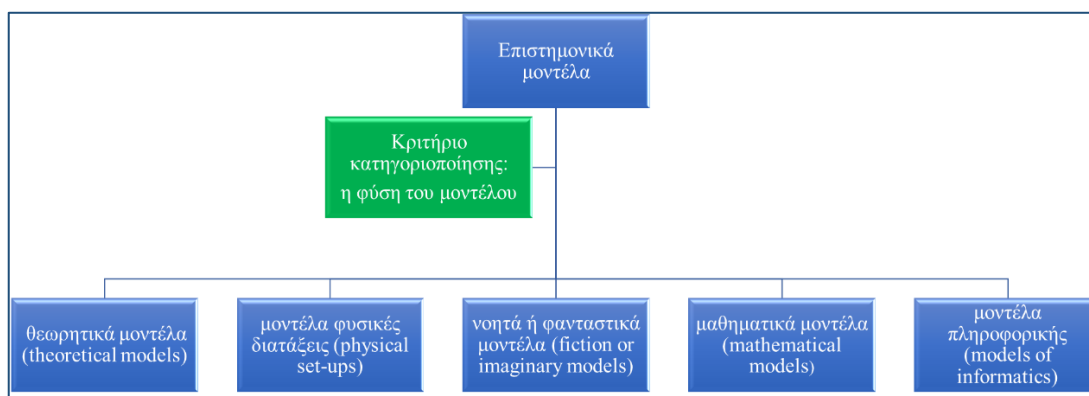
Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η Sterrett προκειμένου να κατηγοριοποιήσει τα μοντέλα στηρίχθηκε σε αυτό που ένα μοντέλο αναπαριστά, στις σχέσεις με αυτό που αναπαριστά και στον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου. Παρόλο που η κατηγοριοποίηση της Sterrett υπήρξε καινοτόμος, ιδιαίτερα για τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, καθώς μέσω αυτής αναδείχθηκε και η κατηγορία των μοντέλων φυσικών διατάξεων, υπάρχουν κατηγορίες μοντέλων όπως για παράδειγμα τα φανταστικά ή νοητά μοντέλα (fiction models), τα οποία δεν μπορούμε να τα τοποθετήσουμε εύκολα σε μία από τις δύο αυτές κατηγορίες που πρότεινε Sterrett. Επίσης, δεδομένου του εύρους και της ποικιλίας των τύπων των επιστημονικών μοντέλων που αξιοποιούνται στη σύγχρονη επιστήμη, η διάκριση μόνο δύο βασικών κατηγοριών είναι αρκετά περιοριστική. Σε μια προσπάθεια να υπερκεραστούν οι περιορισμοί της κατηγοριοποίησης της Sterrett επιδιώχθηκε η επιλογή διαφορετικού κριτηρίου και βάσει αυτού η διατύπωση πρότασης κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες.

Βασικό ερώτημα που προέκυψε είναι ποια κατηγοριοποίηση μοντέλων θα μπορούσε να θεωρηθεί επαρκής; Τι περιμένουμε, δηλαδή, από μια τέτοια κατηγοριοποίηση; Για να θεωρηθεί μια κατηγοριοποίηση επαρκής, αρχικά, θα πρέπει να δύναται να συμπεριλαμβάνει όλους τους τύπους των επιστημονικών μοντέλων στις βασικές της κατηγορίες. Επίσης, είναι σημαντικό να δίνει τη δυνατότητα της σαφούς τοποθέτησης κάθε μοντέλου σε μία και μόνο από τις βασικές προτεινόμενες κατηγορίες. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια βάσει των οποίων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν τα επιστημονικά μοντέλα. Για παράδειγμα, το ερώτημα τι είδους οντότητες μπορούν να θεωρηθούν ως μοντέλα οδηγεί στην υιοθέτηση ενός οντολογικού κριτηρίου ή το ερώτημα πώς μαθαίνουμε και εξηγούμε με μοντέλα στην επιλογή ενός επιστημολογικού κριτηρίου (Frigg and Hartmann, 2020). Βάσει ποιου κριτηρίου, όμως, θα μπορούσε να επιτευχθεί μια επαρκής κατηγοριοποίηση μοντέλων που να πληροί αυτές τις δύο προϋποθέσεις; Το κριτήριο κατηγοριοποίησης θα πρέπει να είναι αυστηρό, θεμελιώδες και να εξασφαλίζει μια σαφή και επαρκή κατηγοριοποίηση, μια κατηγοριοποίηση που να πληροί τις δύο προαναφερθείσες προϋποθέσεις, περιορίζοντας ταυτόχρονα τον ρόλο του ανθρώπινου παράγοντα κατά την ταξινόμηση των μοντέλων. Πιο απλά το κριτήριο θα πρέπει να είναι αυστηρό κατά τρόπο που να υποδεικνύει την κατάταξη των

μοντέλων σε συγκεκριμένες κατηγορίες, κατά τρόπο που να υποδεικνύει το ίδιο το κριτήριο σε ποια βασική κατηγορία θα εντάσσεται το κάθε μοντέλο.

Στο πλαίσιο της πρότασης κατηγοριοποίησης των μοντέλων που διατυπώνεται σε αυτή τη διατριβή, επιλέχθηκε ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων η φύση του μοντέλου, πιστεύοντας ότι αυτό το κριτήριο μπορεί να οδηγήσει σε μια σαφή, ασφαλή, αυστηρή και επαρκή ταξινόμηση των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες. Με άλλα λόγια, η προτεινόμενη κατηγοριοποίηση βασίζεται στο θεμελιώδες ερώτημα: τι είδους οντότητες χρησιμοποιούνται ως μοντέλα ή διαφορετικά ποια η φύση των μοντέλων; Εστιάζοντας σε αυτό το κριτήριο μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι όλοι οι τύποι μοντέλων μπορούν να συμπεριληφθούν στις προτεινόμενες κατηγορίες, ενώ ταυτόχρονα κάθε μοντέλο ανάλογα με τη φύση του μπορεί να τοποθετηθεί σε μία μόνο κατηγορία. Επομένως, το ίδιο το κριτήριο, δηλαδή η φύση του κάθε μοντέλου, η οποία είναι συγκεκριμένη, σαφής και ευκολά αναγνωρίσιμη, ορίζει κατά τρόπο αδιαμφισβήτητο σε ποια συγκεκριμένη κατηγορία εντάσσεται το κάθε επιστημονικό μοντέλο.

Έπειτα από εκτενή βιβλιογραφική και διαδικτυακή έρευνα μέσω της οποίας εντοπίστηκαν και διερευνήθηκαν πολλά και διαφορετικά είδη μοντέλων, διακρίθηκαν πέντε βασικές κατηγοριών επιστημονικών μοντέλων βάσει της φύσης τους (σχήμα 2).



**Σχήμα 2:** Η κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων με κριτήριο τη φύση τους. Σχήμα πέντε κατηγοριών (five classes scheme) (Ίδια επεξεργασία).

Πρώτη κατηγορία είναι τα θεωρητικά μοντέλα (theoretical models), τα οποία είναι θεωρητικές δομές που αναπτύσσονται για να εξηγήσουν μια κατάσταση ή ένα φαινόμενο, ή για να συμβάλουν στην πρόβλεψη μιας κατάστασης ή ενός φαινομένου. Η διαμόρφωση των θεωρητικών μοντέλων βασίζεται σε επιστημονικές προτάσεις, αρχές, νόμους και χρησιμοποιούνται στην επιστημονική μεθοδολογία διαφορετικών τομέων όπως της φυσικής, της ιατρικής, της ψυχολογίας, των οικονομικών, των

επιστημών της εκπαίδευσης κ.λπ. (Hodges, 2020: ch.5· Frigg and Hartmann, 2020: ch. 2, 2.3, 3.4, 4.2). Τα θεωρητικά μοντέλα συνίστανται από ένα σύνολο παραδοχών σχετικά με ένα αντικείμενο ή σύστημα και παρόλο που η θεωρία και το θεωρητικό μοντέλο αναφέρονται στο ίδιο σύστημα παραδοχών το ένα δεν μπορεί να αντικαταστήσει το άλλο. Το θεωρητικό μοντέλο περιγράφει μια εσωτερική δομή, μια σύνθεση ή έναν μηχανισμό και η αναφορά σε αυτό εξηγεί τις διάφορες ιδιότητες που παρουσιάζει το αντικείμενο ή το σύστημα που εμπίπτει στο ερευνητικό ενδιαφέρον (Χριστοδουλίδης, 1979: 307). Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα θεωρητικών μοντέλων είναι το είδος των εννοιολογικών μοντέλων (conceptual models), τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε τομείς όπως η θεωρητική φυσική. Ένα άλλο παράδειγμα είναι τα γνωσιακά μοντέλα (cognitive models), τα οποία βασίζονται στη γνώση που αποκτούμε για μια διαδικασία ή ένα φαινόμενο. Οι ερευνητές παρατηρούν ένα φαινόμενο, το μελετούν και βασίζονται στην εμπειρία τους για να προβούν σε προβλέψεις και προτάσεις (Frigg and Hartmann, 2020: ch.3). Αυτή η διαδικασία ονομάζεται γνωσιακή μοντελοποίηση. Άλλα είδη θεωρητικών μοντέλων είναι μοντέλα μάθησης (models of learning) που χρησιμοποιούνται στην ψυχολογία και μοντέλα οικονομικής ανάπτυξης στα οικονομικά (models of economic growth in finances).

Δεύτερη είναι η κατηγορία των μοντέλων φυσικών διατάξεων (physical set-ups). Τα επιστημονικά μοντέλα που συμπεριλαμβάνονται σε αυτήν την κατηγορία είναι φυσικά αντικείμενα, φυσικά συστήματα, φυσικά φαινόμενα, ζωντανοί οργανισμοί, καταστάσεις ή ακόμα και φυσικές αναπαραστάσεις σκηνών εγκλήματος. Αυτά τα υλικά μοντέλα επιλέγονται ή κατασκευάζονται από ερευνητές για να περιγράψουν, να εξηγήσουν ή να προβλέψουν μια όμοια φυσική διάταξη που τοποθετείται στον πραγματικό κόσμο, πάντα υπό το πρίσμα μιας συγκεκριμένης επιστημονικής υπόθεσης. Αυτή η κατηγορία μοντέλων χρησιμοποιείται εκτενώς από διαφορετικά επιστημονικά πεδία με κυρίαρχα τα πεδία των φυσικών επιστημών και των επιστημών της μηχανικής. Επιπλέον, αυτή η κατηγορία συμπεριλαμβάνει σημαντικό αριθμό τύπων μοντέλων όπως μοντέλα κλίμακας στη μηχανική, τη φυσική, τη γεωλογία, την οικολογία, την υδρογεωλογία, μοντέλα ζωντανών οργανισμών στη βιολογία, την ιατρική ή τη φαρμακευτική ακόμα και μοντέλα αναπαραστάσεως σκηνών εγκλήματος στην επιστήμη της εγκληματολογίας (Sterrett, 2005(a): 6-9· Frigg and Hartmann, 2020: κεφ. 2.1).

Η τρίτη κατηγορία είναι τα νοητά ή φανταστικά μοντέλα (fiction or imaginary models). Τα μοντέλα αυτά είναι διανοητικές κατασκευές, διανοητικές αναπαραστάσεις,

όχι υλικά αντικείμενα και φυσικές διατάξεις που τοποθετούνται στον χώρο και τον χρόνο ούτε θεωρητικές κατασκευές αλλά δημιουργήματα της ανθρώπινης νόησης. Αυτή η κατηγορία μοντέλων χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση φυσικών αντικειμένων, φαινομένων, καταστάσεων, διατάξεων που είναι δύσκολο ή αδύνατο να παρατηρηθούν ή ακόμη και πιθανών συστημάτων (Frigg and Hartmann, 2020: ch 2.2). Παρόλο που η χρήση των νοητών ή φανταστικών μοντέλων παρατηρείται συχνά στην επιστημονική πρακτική ήδη από τα πειράματα του Γαλιλαίου μέχρι σήμερα, αυτό το είδος μοντελοποίησης δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς μέχρι σήμερα. Στο πλαίσιο της παρούσας προσέγγισης, υιοθετώντας το οντολογικό κριτήριο κατηγοριοποίησης, διακρίνουμε τα νοητά από τα θεωρητικά μοντέλα καθώς αποτελούν δύο διαφορετικές οντότητες. Από τη μια πλευρά, ένα θεωρητικό μοντέλο είναι μια θεωρία που βασίζεται σε επίσημες προτάσεις, αρχές, νόμους, από την άλλη ένα διανοητικό μοντέλο είναι μια φανταστική, ανθρώπινη νοητή κατασκευή που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση φυσικών διατάξεων, πιθανών συστημάτων ή φυσικών καταστάσεων γενικότερα (Nersessian, 1998: 11-12· Sterrett, 2005(a): 9· Gelfert, 2017: 8-9· Frigg and Hartmann, 2020: ch.2.2). Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση για αυτή την κατηγορία μοντέλων αποδίδεται στη Nancy Nersessian, φιλόσοφο, φυσικό, εν ενεργεία καθηγήτρια γνωσιακών επιστημών στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Georgia και επιστημονικό συνεργάτη του τμήματος ψυχολογίας του Harvard. Η Nersessian υποστήριξε ότι μεγάλο μέρος προσπαθειών της ανθρώπινης συλλογιστικής δραστηριότητας πραγματοποιείται μέσω «διανοητικών μοντέλων», δηλαδή μέσω πειραμάτων που αξιολογούν εσωτερικά-διανοητικά μοντέλα (Nersessian, 1998: 11-12). Ένα διανοητικό μοντέλο, σύμφωνα με τη Nersessian, είναι ένα δομικό ανάλογο μιας υπό εξέταση πραγματικής κατάστασης του φυσικού κόσμου ή μίας φανταστικής κατάστασης, γεγονότος ή διαδικασίας, το οποίο κατασκευάζεται από τον ανθρώπινο νου (Nersessian, 1998: 11-12). Στο πλαίσιο αυτό, το φανταστικό ή νοητό μοντέλο αποτελεί μια αναλογία που ενσωματώνει μια αναπαράσταση των χωρικών και χρονικών σχέσεων και των θεμελιωδών χαρακτηριστικών που την συνδέουν με τα γεγονότα και τις οντότητες που απεικονίζει και οποιεσδήποτε άλλες πληροφορίες σχετίζονται με τη διαδικασία εξέτασης συγκεκριμένων πτυχών του υπό εξέταση συστήματος, φαινομένου ή κατάστασης. Ενδιαφέροντα παραδείγματα εφαρμογής φανταστικών μοντέλων προέρχονται από τη φυσική, τα οικονομικά, την κοινωνιολογία και άλλους

τομείς. Για παράδειγμα, όταν ο Bohr παρουσίασε το μοντέλο του ατόμου, εισήγαγε ένα φανταστικό μοντέλο (Frigg and Hartmann, 2020: ch.2.2).

Μια άλλη ευρέως αξιοποιημένη κατηγορία μοντέλων είναι αυτή των μαθηματικών μοντέλων (mathematical models). Τα μαθηματικά μοντέλα είναι αναπαραστάσεις της συμπεριφοράς πραγματικών συσκευών και αντικειμένων σε μαθηματικούς όρους (Dym, 2004: 4), δηλαδή μαθηματικές απεικονίσεις συγκεκριμένων συμπεριφορών ενός υπό εξέταση συστήματος. Σύμφωνα με ορισμένες κατηγοριοποιήσεις τα μαθηματικά μοντέλα τοποθετούνται στην ίδια κατηγορία με τα θεωρητικά μοντέλα βάσει της άποψης ότι είναι αφηρημένες οντότητες με κύριο στόχο την περιγραφή ή την πρόβλεψη μηχανισμών, συστημάτων ή φαινομένων. Ωστόσο, στο πλαίσιο της παρούσας κατηγοριοποίησης οι δύο αυτές κατηγορίες διακρίνονται σαφώς καθώς η φύση τους είναι διαφορετική. Τα θεωρητικά μοντέλα αποτελούν θεωρίες που βασίζονται σε επίσημες προτάσεις, αρχές, νόμους, ενώ τα μαθηματικά μοντέλα είναι αναπαραστάσεις των συμπεριφορών των πραγματικών συστημάτων που εκφράζονται με μαθηματικούς όρους. Τα μαθηματικά μοντέλα χρησιμοποιούνται συστηματικά από διαφορετικά επιστημονικά πεδία όπως της μηχανικής, των φυσικών επιστημών, των οικονομικών, των κοινωνικών επιστημών, της ιατρικής και πολλών άλλων πεδίων. Το βασικό τους πλεονέκτημα που αιτιολογεί την ιδιαίτερος εκτεταμένη εφαρμογή τους στη σύγχρονη επιστήμη είναι ότι περιγράφουν τα συστήματα στόχους με την αξιοποίηση της γλώσσας των μαθηματικών, η οποία είναι περιεκτική, ακριβής και διέπεται από καλά καθορισμένους κανόνες (Glenn, 2008: 1-2). Οι κανόνες αυτοί επιτρέπουν την ακριβή και αποτελεσματική εξέταση και διαχείριση των συστημάτων που εμπίπτουν στο ερευνητικό ενδιαφέρον, περιορίζοντας σημαντικά την πιθανότητα σφάλματος αναφορικά με την περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη τους, ιδιαίτερα στην περίπτωση των φυσικών συστημάτων και φαινομένων που χαρακτηρίζονται από το ντετερμινισμό. Επίσης, τα μαθηματικά μοντέλα παρέχουν λύσεις, οι οποίες είναι αυτονόητα αληθείς και πέραν πάσης αμφισβητήσεως, ακριβώς επειδή προκύπτουν με μαθηματικό τρόπο από μαθηματικές περιγραφές των φυσικών φαινομένων και συστημάτων. Παραδείγματα μαθηματικών μοντέλων είναι στατιστικά μοντέλα και γραμμικά μοντέλα (Glenn, 2008: 7-35).

Τελευταία είναι η κατηγορία των μοντέλων πληροφορικής (models of informatics), μια ιδιαίτερα εκτεταμένη κατηγορία μοντέλων που αξιοποιείται συστηματικά στη σύγχρονη επιστήμη και παρέχει μια ποικιλία εφαρμογών σε διάφορους τομείς της



μηχανικής, των φυσικών επιστημών, των οικονομικών, των κοινωνικών επιστημών και άλλων τομέων. Στην πληροφορική ένα μοντέλο αποτελείται από προγράμματα και παρουσιάζει, εξηγεί, αναπαριστά το υπό εξέταση σύστημα στις οθόνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, στο πλαίσιο της διαδικασίας εισόδου-επεξεργασίας-εξόδου (Bertot et al., 2009: 3-4). Δύο δημοφιλή είδη μοντέλων πληροφορικής είναι τα μοντέλα δεδομένων (data models) και τα μοντέλα προσομοίωσης (models of simulation). Ένα μοντέλο δεδομένων ουσιαστικά αποτελεί μια περιγραφή των αντικειμένων ή των συστημάτων, που αναπαρίστανται από ένα σύστημα υπολογιστή μαζί με τις ιδιότητες και τις σχέσεις τους (Mo and Sinha, 2015: 51-55). Στην πραγματικότητα, είναι ένα αφηρημένο μοντέλο που οργανώνει στοιχεία δεδομένων και τυποποιεί τον τρόπο με τον οποίο τα στοιχεία δεδομένων συσχετίζονται μεταξύ τους και αναπαριστά την υπό εξέταση πραγματική κατάσταση (Mo and Sinha, 2015: 52-55). Αυτά τα είδη μοντέλων συνήθως χαρακτηρίζονται ως δομές δεδομένων, ειδικά στο πλαίσιο μιας γλώσσας προγραμματισμού (Mo and Sinha, 2015: 51-73). Τα μοντέλα δεδομένων μπορούν να αναφέρονται είτε σε αφηρημένες τυποποιήσεις των αντικειμένων και των σχέσεων που εντοπίζονται μεταξύ τους σε έναν συγκεκριμένο τομέα εφαρμογής είτε στο σύνολο των εννοιών που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό τέτοιων τυποποιήσεων (π.χ. ταξινομίες, γνωστές βάσεις δεδομένων) (Mo and Sinha, 2015: 51-73). Μια άλλη κατηγορία μοντέλων πληροφορικής είναι τα μοντέλα προσομοίωσης, τα οποία είναι προγράμματα υπολογιστών ή αλγόριθμοι που προσομοιώνουν αλλαγές ενός μοντελοποιημένου συστήματος ως απόκριση στα σήματα εισόδου σε ελεγχόμενο περιβάλλον (Ifenthaler, 2012). Οι προσομοιώσεις υπολογιστών είναι τεχνικές που εφαρμόζονται σχεδόν σε όλους τους τομείς της επιστημονικής έρευνας. Οι προσομοιώσεις ταξινομούνται συνήθως σύμφωνα με τον τύπο του αλγορίθμου που χρησιμοποιούν (Smith, 1999, 1: 1-3· Winsberg, 2003, 70: 107-108). Ένα μοντέλο προσομοίωσης επιτρέπει την εξέταση των συμπεριφορών ενός συστήματος χωρίς να απαιτείται η κατασκευή ενός φυσικού συστήματος ή ο πειραματισμός στο πραγματικό σύστημα. Αυτό το είδος μοντέλων λειτουργεί μέσω μιας διαδικασίας δημιουργίας και ανάλυσης ενός ψηφιακού πρωτοτύπου ενός φυσικού μοντέλου για να προβλέψει την συμπεριφορά ή την απόδοσή του πραγματικού υπό έλεγχο συστήματος, όπως συμβαίνει για παράδειγμα με τους προσομοιωτές πτήσης (Smith, 1999, 1: 1-4). Θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι τα μοντέλα προσομοίωσης αποτελούν μια εξελιγμένη μορφή των μοντέλων κλίμακας καθώς ο βασικός σκοπός

λειτουργίας τους είναι κοινός και συνοψίζεται στην αναπαράσταση και πιλοτική δοκιμή, για παράδειγμα, διάφορων μηχανοκίνητων οχημάτων με σκοπό τον κατάλληλο σχεδιασμό και την ασφαλή και αποτελεσματική κατασκευή τους, με τη διαφορά βέβαια της φύσης του μοντέλου από το μοντέλο φυσική διάταξη στο μοντέλο ψηφιακού πρωτότυπου.

Συνοψίζοντας, στο πλαίσιο αυτής της διατριβής προτείνεται ως καταλληλότερο κριτήριο της κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων η φύση του ίδιου του μοντέλου που οδηγεί στη διάκριση των πέντε βασικών κατηγοριών μοντέλων: των θεωρητικών μοντέλων, των μοντέλων φυσικών διατάξεων, των διανοητικών μοντέλων, των μαθηματικών μοντέλων και των μοντέλων πληροφορικής. Αυτή η πρόταση κατηγοριοποίησης χαρακτηρίζεται από ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικά στηρίζεται σε ένα θεμελιώδες και συγκεκριμένο κριτήριο, δηλαδή τη φύση του ίδιου του μοντέλου. Το κριτήριο αυτό είναι αυστηρό καθώς υποδεικνύει την κατάταξη των μοντέλων σε συγκεκριμένες κατηγορίες, *αποφασίζει*, δηλαδή το ίδιο το κριτήριο σε ποια βασική κατηγορία θα εντάσσεται το κάθε μοντέλο. Υπό αυτούς τους όρους επιτρέπει τη σαφή τοποθέτηση του κάθε μοντέλου σε μία και μόνο κατηγορία.

Επίσης, η κατηγοριοποίηση που προέκυψε βάσει του κριτηρίου αυτού είναι αρκετά επαρκής καθώς μπορεί να συμπεριλάβει όλα τα είδη επιστημονικών μοντέλων στις προτεινόμενες πέντε βασικές κατηγορίες. Δεδομένου ότι οι προτεινόμενες κατηγορίες είναι θεμελιώδεις και συγκεκριμένες δίνουν τη δυνατότητα μιας διαρκούς προσθήκης νέων τύπων ή ειδών μοντέλων χωρίς να επηρεάζονται, χωρίς δηλαδή να προκύπτει η ανάγκη διαίρεσης ή σύμπτυξης τους. Επιπλέον, το κριτήριο κατηγοριοποίησης, δεδομένου ότι είναι θεμελιώδες, μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί κατά την ταξινόμηση μοντέλων σε γενικές κατηγορίες από τους ερευνητές ανεξαρτήτως επιστημονικού πεδίου. Αυτό το προτεινόμενο σχήμα κατηγοριοποίησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο από επιστήμονες και φιλόσοφους, υποστηρίζοντας την έρευνά τους. Μέσω αυτής της κατηγοριοποίησης, οι επιστήμονες από κάθε επιστημονικό πεδίο θα μπορούσαν να βοηθηθούν στην επιλογή του μοντέλου που ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες της έρευνάς τους και να περιγράψουν εύκολα τα μεθοδολογικά εργαλεία τους, στο στάδιο της παρουσίασης της μεθοδολογίας που ακολούθησαν. Επιπλέον, στο πλαίσιο αυτής της προσέγγισης, γίνεται αποδεκτό το επιχείρημα της Sterrett σύμφωνα με το οποίο δεν πρέπει να γίνονται αποδεκτά ως επιστημονικά μοντέλα μόνο θεωρητικές ή αφηρημένες οντότητες αλλά και φυσικές

διατάξεις. Αυτή η κατηγορία μοντέλων αποτελεί ένα σημαντικό, συστηματικά και εκτενώς αξιοποιημένο, επιστημονικό εργαλείο της σύγχρονης επιστήμης γεγονός που επιτάσσει την επαρκέστερη εξέτασή του από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

## **2.4 Ζητήματα αντιστοίχισης μοντέλου και πραγματικότητας**

### **2.4.1 Το βασικό επιχείρημα της Sterrett υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας**

Ένα σημαντικό ζήτημα που έχει απασχολήσει τις τελευταίες δεκαετίες τους φιλοσόφους της επιστήμης είναι εάν τα επιστημονικά μοντέλα κλίμακας, και γενικότερα τα μοντέλα αναλογίας, μπορούν ή εάν πρέπει να γίνονται αποδεκτά ως επιστημονικές τεχνικές. Μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα η πλειοψηφία των θεωριών που προέρχονταν από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης αμφισβητούσε την επιστημονικότητα των μοντέλων κλίμακας (Sterrett, 2002(b): 51-66· Sterrett, 2017 (a): 863-864). Η γενικότερη αυτή πεποίθηση των φιλοσόφων στηρίζεται στην άποψη κατά την οποία ο τρόπος εφαρμογής των θεμελιωδών νόμων μέσω της τεχνικής του μοντέλου στον πραγματικό κόσμο μπορεί να προκύψει μόνο μέσω της αξιοποίησης αφηρημένων, θεωρητικών μοντέλων ενός ενδιάμεσου σταδίου, μεταξύ των επίσημων επιστημονικών θεωριών, αρχών και νόμων, και του πραγματικού κόσμου (Sterrett, 2002(b): 51-66).

Ορισμένοι φιλόσοφοι προσπαθώντας να απαντήσουν στο ερώτημα «πώς εμπλέκονται η θεωρία, οι αρχές και οι νόμοι στη λειτουργία των επιστημονικών μοντέλων;», δεν αναφέρονται στην κατηγορία των μοντέλων κλίμακας, ενώ άλλοι τα αποκλείουν ρητά από τις προσεγγίσεις τους. Σύμφωνα με τη γενικώς αποδεκτή άποψη των φιλοσόφων της επιστήμης κυρίως των τελών του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τα μοντέλα που γίνονται αποδεκτά είναι θεωρητικά, αφηρημένα μοντέλα που περιγράφονται και δομούνται βάσει μίας αρχής, μίας θεωρίας ή ενός νόμου (Sterrett, 2002(b): 51-56). Για παράδειγμα, όταν κάποιος επιστήμονας θέλει να περιγράψει τον τρόπο ροής του ρεύματος και έχει στη διάθεσή του την απαιτούμενη θεωρία και ένα σύνολο εξισώσεων θα μπορούσε να προχωρήσει στη δημιουργία ενός αφηρημένου μοντέλου ενός συγκεκριμένου δικτύου. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τη θεωρία, τις εξισώσεις και τους νόμους που διέπουν τη συμπεριφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στα δίκτυα και βασικούς κανόνες εξαγωγής συμπερασμάτων, θα μπορούσε να οδηγηθεί σε συμπεράσματα για το προς διερεύνηση δίκτυο (Sterrett, 2002(b): 52-53). Στο πλαίσιο αυτό οι φιλόσοφοι της επιστήμης υιοθετούν την άποψη κατά την οποία οι νόμοι

μπορούν να εφαρμοστούν σε συλλογιστική που συμπεριλαμβάνει τη χρήση μοντέλων ενός ενδιάμεσου σταδίου και όχι φυσικών μοντέλων, καθώς έγκυρα επιστημονικά συμπεράσματα προκύπτουν μόνο από τα μοντέλα που λειτουργούν σε ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ κάτι θεωρητικού ή αφηρημένου και κάτι συγκεκριμένου.

Σύμφωνα με αυτή την άποψη, τα μοντέλα κλίμακας που λειτουργούν βάσει της φυσικής ομοιότητας δεν συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των μοντέλων που συμβάλουν στην εφαρμογή των θεμελιωδών αυτών νόμων. Η διαφορά, δηλαδή, που παρατηρείται ανάμεσα στη φύση και τη λειτουργία των μοντέλων κλίμακας και των θεωρητικών μοντέλων ενδιάμεσου σταδίου, κρίθηκε από πολλούς φιλοσόφους ικανή να απορρίψει την επιστημονικότητα της συγκεκριμένης τεχνικής. Η διαφορετική, όμως, μέθοδος λειτουργίας, η διαφορετική φύση του μοντέλου ή ο διαφορετικός τρόπος εμπλοκής των θεωριών, των νόμων και των αρχών στην κατασκευή και τη λειτουργία των δύο αυτών διαφορετικών ειδών μοντέλων, αποτελούν ισχυρό επιχειρήμα αμφισβήτησης ή απόρριψης της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας; Μέσω αυτού του ερωτήματος αναδεικνύεται μια σημαντική αντίθεση. Βρισκόμαστε μπροστά στο οξύμωρο σχήμα κατά το οποίο αμφισβητείται από τους φιλοσόφους η επιστημονικότητα μίας τεχνικής που αξιοποιείται συστηματικά από ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων με κυρίαρχα τα πεδία της μηχανικής, των φυσικών επιστημών, της ιατρικής, της βιολογίας, των γεωεπιστημών και πολλών άλλων κλάδων. Αυτό και μόνο το γεγονός οδηγεί σε προβληματισμό για την, για πολλά χρόνια, καθιερωμένη άποψη των φιλοσόφων της επιστήμης αναφορικά με τα μοντέλα κλίμακας.

Η Sterrett αναγνωρίζοντας την αποσπασματική εξέταση και κατανόηση των μοντέλων κλίμακας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, ανέπτυξε μια ισχυρή επιχειρηματολογία μέσω της οποίας υποστηρίζει ότι τα επιστημονικά μοντέλα κλίμακας κατασκευάζονται και λειτουργούν βάσει επίσημων θεωριών, νόμων και αρχών και υπό αυτή την έννοια αποτελούν επίσημες επιστημονικές τεχνικές και πρέπει να αναγνωρίζονται ως τέτοιες (Sterrett, 2002(b): 51-66). Η Sterrett ανέπτυξε την επιχειρηματολογία της, κυρίως στο άρθρο της *Physical models and fundamental laws: using one piece of the world to tell about another (2002(b))*, προσπαθώντας να απαντήσει στο πώς εμπλέκονται οι θεμελιώδεις νόμοι στην κατασκευή και τη λειτουργία των μοντέλων κλίμακας καθώς και στην εξαγωγή συμπερασμάτων που προκύπτουν από αυτή. Επίσης, στο άρθρο της *Experimentation on analogue models* η φιλόσοφος παρουσιάζει αναλυτικά και μέσω πολλών παραδειγμάτων τον τρόπο

λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας και των μοντέλων κλίμακας. Η Sterrett αναγνωρίζει τη διαφορά της μεθοδολογίας της μοντελοποίησης κλίμακας, δηλαδή της φυσικής ομοιότητας, από τη μεθοδολογία που υιοθετείται κατά τη χρήση άλλων κατηγοριών μοντέλων και υποστηρίζει ότι ακριβώς σε αυτό το σημείο εντοπίζεται η σημασία περαιτέρω διερεύνησης του μηχανισμού λειτουργίας των μοντέλων αυτών από τη φιλοσοφία της επιστήμης (Sterrett, 2002(b): 51-66). Η σημασία εντοπίζεται στο ότι η μέθοδος της φυσικής ομοιότητας παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής επιστημονικών συμπερασμάτων μέσω της εφαρμογής των μοντέλων κλίμακας, αποτελώντας ουσιαστικά έναν ποιοτικά διαφορετικό τρόπο με τον οποίον οι θεμελιώδεις νόμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ευρύτερο πλαίσιο της αιτιολόγησης μέσω αναλογίας, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες (Sterrett, 2002(b): 51-66).

Η Sterrett παρουσιάζει αρχικά την πεποίθηση κατά την οποία οι νόμοι μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε θεωρητικά ή αφηρημένα μοντέλα και την αντικρούει λέγοντας ότι αν δεχτούμε αυτή την άποψη θα είναι σαν να δεχόμαστε ότι οι νόμοι εφαρμόζονται μόνο έμμεσα, μόνο σε θεωρητικά ή αφηρημένα κατασκευάσματα που αποσκοπούν στην περιγραφή, εξήγηση, πρόβλεψη φαινομένων του φυσικού κόσμου και όχι σε μοντέλα που αποτελούν τμήματα του πραγματικού κόσμου (Sterrett, 2002(b): 52-53). Το επιχείρημα αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί αληθές μόνο στην περίπτωση που οι θεμελιώδεις νόμοι θα ίσχυαν για τα αφηρημένα μοντέλα και όχι για την φυσική πραγματικότητα. Πράγμα που σαφώς δε συμβαίνει. Η Sterrett, λοιπόν, επιχειρεί να αποδείξει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι θεμελιώδεις επιστημονικοί νόμοι με τρόπο που δεν περιορίζεται σε εφαρμογές εξιδανικευμένων ή αφηρημένων μοντέλων.

Σε πρώτο στάδιο, η φιλόσοφος παραθέτει μια αντίθεση αναφορικά με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται τα θεωρητικά μοντέλα ενδιάμεσου σταδίου εν συγκρίσει με τα μοντέλα κλίμακας. Στην πρώτη περίπτωση προκύπτουν συμπεράσματα από μοντέλα θεωρητικά, αφηρημένα ενώ στη δεύτερη περίπτωση από συγκεκριμένα μοντέλα που αποτελούν φυσικές διατάξεις, μέσω της μεθόδου της φυσικής ομοιότητας. Στην δεύτερη αυτή περίπτωση τα συμπεράσματα προκύπτουν από μια συγκεκριμένη κατάσταση για μια άλλη συγκεκριμένη κατάσταση (Sterrett, 2002(b): 52-53). Επίσης, εκτός από τη διαφορά αναφορικά με τη φύση των δύο ειδών μοντέλων, η Sterrett παρατηρεί ακόμη μια διαφορά αναφορικά με τον τρόπο που οι δυο αυτές κατηγορίες μοντέλων συσχετίζονται με τους νόμους. Συγκεκριμένα η Sterrett υποστηρίζει ότι στην περίπτωση των μοντέλων “ενδιάμεσου σταδίου”, οι νόμοι και οι μαθηματικές

εξιιώσεις περιγράφουν ή προβλέπουν τι συμβαίνει στο μοντέλο, ενώ στα μοντέλα αναλογίας που λειτουργούν βάσει της μεθόδου της φυσικής ομοιότητας, οι νόμοι δεν αποτελούν μόνο ένα μέσο περιγραφής ή πρόβλεψης σχετικά με το τι θα συμβεί στο μοντέλο, αλλά χρησιμοποιούνται και για να επικυρώσουν την ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του συστήματος στόχου, δηλαδή του φαινομένου, του συστήματος, του αντικειμένου ή γενικότερα της κατάστασης που αναπαριστά το μοντέλο (Sterrett, 2002(b): 52-53). Κατά τη Sterrett δηλαδή, οι νόμοι στην περίπτωση των μοντέλων κλίμακας αναδεικνύουν και ποια δομικά χαρακτηριστικά των πραγματικών καταστάσεων, που εμπίπτουν στο ερευνητικό μας ενδιαφέρον, θα πρέπει να αναζητήσουμε για να εντοπίσουμε και να επιλέξουμε ή να κατασκευάσουμε καταστάσεις φυσικά όμοιες με το εκάστοτε σύστημα στόχο και να μπορέσουμε στη συνέχεια να εξετάσουμε τις καταστάσεις αυτές για να οδηγηθούμε σε συμπεράσματα για το σύστημα στόχο, στο οποίο δεν έχουμε απευθείας πρόσβαση. Από την προσέγγιση της Sterrett, δηλαδή, προκύπτει ότι στη μέθοδο της φυσικής ομοιότητας οι νόμοι δεν παίζουν μόνο περιγραφικό ή επεξηγηματικό ρόλο, αλλά εμπλέκονται σαφώς στην κατασκευή και καθορίζουν τη λειτουργία των μοντέλων κλίμακας καθώς επικυρώνουν την ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του συστήματος στόχου (Sterrett, 2002(b): 51-53, 65-66). Ο καθοριστικός ρόλος τους σε αυτή τη διαδικασία αποτελεί το σημαντικότερο επιχείρημα υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας και η ανάδειξή του αποτελεί μία από τις σημαντικότερες συμβολές της θεωρίας της Sterrett στην κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και των επιστημονικών μοντέλων κλίμακας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Η Sterrett επισημαίνει ότι συχνά στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης η διαφορετική χρήση των μοντέλων κλίμακας παρουσιάζεται ως αρνητικό στοιχείο ενώ συχνά συναντάται μια επιφύλαξη αναφορικά με την εγκυρότητα τους. Για παράδειγμα, έχει εκφραστεί η άποψη κατά την οποία ένα μοντέλο κλίμακας ακόμα και αν είναι κατασκευασμένο από τα ίδια υλικά με το σύστημα που μοντελοποιεί, αυτό δεν συνεπάγεται απαραίτητα ότι θα έχει την ίδια συμπεριφορά με αυτό. Αναφερόμενη στην προσέγγιση του Αυστριακού φυσικού και φιλόσοφου Ludwig Boltzman για τα μοντέλα, η Sterrett λέει ότι ο Boltzman περιέγραψε τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στα μαθηματικά, στη φυσική και στις μηχανικές επιστήμες ως συνέχεια της σκέψης μας. Συγκεκριμένα ο Boltzman υποστήριξε ότι *οι σκέψεις στηρίζουν τα πράγματα με τον ίδιο τρόπο που τα μοντέλα στηρίζουν τις φυσικές καταστάσεις που αναπαριστούν*

(Sterrett, 2002(b): 58-62). Ο Boltzman αναφέρθηκε και στην κατηγορία μοντέλων που είναι κατασκευασμένα από χαρτί, ξύλο, μέταλλο ή κάποιο άλλο υλικό αναγνωρίζοντας ότι διέπονται από φυσικούς νόμους και αποτελούν συνέχιση της σκέψης μας. Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση του Boltzman, «η φυσική θεωρία είναι μια πνευματική κατασκευή μηχανικών μοντέλων που μας βοηθούν να αντιληφθούμε τη λειτουργία των μηχανισμών που κρατάμε στα χέρια μας, τα οποία έχουν τόσα κοινά με τα φυσικά φαινόμενα ώστε να μας βοηθήσουν να τα κατανοήσουμε καλύτερα» (Sterrett, 2002(b): 58-62). Ωστόσο, εξέφρασε και ο Boltzman τις αμφιβολίες του αναφορικά με τα μοντέλα κλίμακας καθώς ορισμένες φορές μια μεταβολή στις διαστάσεις οδηγεί και σε μεταβολή στη δράση τους. Αιτιολόγησε αυτή του την επιφυλακτική στάση φέρνοντας ως παράδειγμα την κατασκευή ενός μοντέλου ιπτάμενης μηχανής που όταν κατασκευάζεται σε μικρή κλίμακα μπορεί να υποστηρίξει το βάρος του και να πετάξει, χάνει, όμως, την ισχύ της όταν οι διαστάσεις της αυξηθούν (Sterrett, 2002(b): 58-62). Αντίστοιχη θέση παίρνει και η φιλόσοφος της επιστήμης Mary Hesse, η οποία υποστηρίζει ότι τα μοντέλα αναλογίας πρέπει να κατασκευάζονται και να χρησιμοποιούνται μόνο όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν άλλες τεχνικές. Ωστόσο, ούτε και η Hesse κάνει κάποια αναφορά στα πλεονεκτήματα των μοντέλων αναλογίας (Sterrett, 2002(b): 58-62). Μια άλλη αποσπασματική προσέγγιση της έννοιας των μοντέλων κλίμακας εντοπίζεται, κατά τη Sterrett, στη θεωρητική προσέγγιση της έννοιας από τους Roman Frigg και Stephan Hartmann σε κεφάλαιο της εγκυκλοπαίδειας Sandford με τίτλο *Μοντέλα στην επιστήμη*. Οι Frigg και Hartmann αναφέρουν ως παράδειγμα μοντέλων κλίμακας ξύλινα αυτοκίνητα ή μοντέλα-γέφυρες, ενώ δεν τα εντάσσουν στην κατηγορία των μοντέλων αναλογίας. Επίσης, δεν κάνουν καμία αναφορά στην μεθοδολογία αυτής της κατηγορίας μοντέλων, δεν τα συνδέουν με τη μέθοδο της φυσικής ομοιότητας και της ανάλυσης διαστάσεων, παρόλο που υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία στο πεδίο των φυσικών επιστημών που εξετάζει αυτό το ζήτημα (Sterrett, 2017 (a): 863-864).

Η Sterrett απαντά στη γενικότερη αυτή στάση επισημαίνοντας ότι υπάρχουν δύο επιλογές, είτε να απορρίψουμε κάτι ως μη αποτελεσματικό εκ των προτέρων είτε να αρχίσουμε να ενδιαφερόμαστε για το πώς δουλεύει αυτό. Η ίδια επιλέγει το δεύτερο και αναφέρεται στα πλεονεκτήματα της τεχνικής των μοντέλων κλίμακας. Η μεθοδολογία των μοντέλων κλίμακας δεν περιορίζεται στην κατασκευή ενός μοντέλου διαφορετικών διαστάσεων από το σύστημα στόχο, αλλά παρέχει τη δυνατότητα

δοκιμής των δυνατοτήτων του (Sterrett, 2002(b): 58-65). Η παρατήρηση αυτή της φιλοσόφου είναι ιδιαίτερος σημαντική καθώς επισημαίνει ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνικής που αιτιολογεί την υιοθέτηση και εκτεταμένη χρήση των μοντέλων κλίμακας από το πεδίο της μηχανικής. Η δυνατότητα που παρέχει η αξιοποίηση των μοντέλων κλίμακας για την κατασκευή, για παράδειγμα, μοντέλων πλοίων και η δοκιμή τους σε συνθήκες πλεύσης αποτελεί σημαντικό μέσο έρευνας για τους ναυπηγούς καθώς τους δίνει τη δυνατότητα να ελέγξουν τις συνθήκες πλεύσης σε μικρή κλίμακα πλοίου και να οδηγηθούν σε συμπεράσματα αναφορικά με την καταλληλότητα των υλικών κατασκευής, του σχήματος του πλοίου, των απαιτήσεων αναφορικά με τις μηχανές που θα πρέπει να κατασκευαστούν για να συμβάλλουν στην πλεύση, τις ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει και την αλληλεπίδραση του πλοίου με το νερό κ.α. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη δοκιμή μοντέλων πλοίων με τους απαραίτητους υπολογισμούς επεκτείνονται σε πλοία πλήρους μεγέθους και συμβάλλουν στον σχεδιασμό και την κατασκευή πλοίων που μπορούν να πλεύσουν με ασφάλεια.

Άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνικής του μοντέλου κλίμακας, που επεσήμανε η Sterrett, εντοπίζεται στο ότι η μέθοδος της φυσικής ομοιότητας δεν απαιτεί την ύπαρξη συγκεκριμένων εξισώσεων που καθορίζουν τη συμπεριφορά είτε του μοντέλου είτε της κατάστασης που μοντελοποιείται, ενώ χρησιμοποιεί θεμελιώδεις νόμους (Sterrett, 2002(b): 58-62). Η Sterrett αποδέχεται την παρατήρηση του Boltzman κατά την οποία η αλλαγή διαστάσεων από το μοντέλο στο σύστημα ορισμένες φορές συνεπάγεται και αλλαγή συμπεριφοράς, αλλά επιμένει ότι αυτός δεν είναι λόγος να εγκαταλειφθεί αυτή η τεχνική, αλλά να τροποποιηθεί, όπου χρειάζεται.

Όπως προκύπτει, η Sterrett έθεσε σε νέες βάσεις τη διερεύνηση της έννοιας του μοντέλου κλίμακας στις συζητήσεις που λαμβάνουν χώρα στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Ανέδειξε ότι η μέχρι τότε στάση της πλειοψηφίας των φιλοσόφων, η οποία συνοψίζεται στη μη αποδοχή της επιστημονικής φύσης της τεχνικής των μοντέλων κλίμακας και μάλιστα χωρίς την απαιτούμενη σε βάθος εξέταση του εργαλείου αυτού, δεν μπορεί να γίνει αποδεκτή από ένα πεδίο που μελετά διάφορες πτυχές της επιστημονικής μεθόδου. Υποστήριξε ότι η κατηγορία των μοντέλων κλίμακας πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω από τους φιλοσόφους προκειμένου να γίνει αντιληπτός ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας τους, δηλαδή η ομοιότητα. Ταυτόχρονα πραγματοποίησε η ίδια σημαντικό βήμα στην προσπάθεια της θεωρητικής προσέγγισης



της έννοιας του μοντέλου κλίμακας και επιχειρηματολόγησε υπέρ της επιστημονικής φύσης του εργαλείου αυτού. Βασιζόμενη στον σημαντικό ρόλο που παίζουν οι νόμοι στην επικύρωση της ομοιότητας ανάμεσα στο μοντέλο κλίμακας και στο υπό διερεύνηση φυσικό σύστημα, υποστήριξε ότι το μοντέλο κλίμακας αποτελεί επιστημονική τεχνική και πρέπει να αντιμετωπίζεται ως τέτοια. Το επιχείρημά της είναι αρκετά ισχυρό και ικανό να πείσει ακόμα και τους πιο δύσπιστους αναφορικά με την αποδοχή της τεχνικής αυτής ως αμιγώς επιστημονικής. Από τη στιγμή που οι επιστημονικοί νόμοι, οι αρχές, οι επίσημες θεωρίες αξιοποιούνται και καθορίζουν την κατασκευή και τη λειτουργία των μοντέλων κλίμακας, τότε αυτά θα πρέπει να γίνονται αποδεκτά ως επιστημονικές τεχνικές.

Αποδεχόμενοι το επιχείρημα της Sterrett αναφορικά με την επιστημονικότητα των μοντέλων κλίμακας και των μοντέλων αναλογίας γενικότερα, επανερχόμαστε στο οξύμωρο σχήμα που παρατηρήσαμε στην αρχή αυτής της ενότητας, κατά το οποίο η πλειοψηφία των φιλοσόφων της επιστήμης αμφισβητεί την επιστημονική σημασία μιας τεχνικής που αξιοποιείται συστηματικά από εύρος επιστημονικών κλάδων και την αντιμετωπίζει ως συμπληρωματικό ή βοηθητικό εργαλείο που συμβάλλει κυρίως κατά την εκπαιδευτική διαδικασία. Συμπληρώνουμε, λοιπόν, ότι εάν ίσχυε αυτό, εάν δηλαδή ο ρόλος του μοντέλου κλίμακας ήταν απλά συμπληρωματικός ή βοηθητικός δε θα χρησιμοποιούνταν από τους σύγχρονους επιστήμονες συστηματικά και τόσο εκτεταμένα, αλλά ως συμπληρωματικό εργαλείο που θα ενίσχυε τις “περισσότερο επιστημονικές” τεχνικές κατά τους φιλοσόφους, όπως μια θεωρία, μια εξίσωση ή ένα μοντέλο ενδιάμεσου σταδίου. Στην πράξη, όμως, δε συμβαίνει αυτό. Αντιθέτως, η τεχνική του μοντέλου κλίμακας χρησιμοποιείται συχνά ως μεμονωμένη και κύρια μέθοδος πολλών πειραματικών ερευνών.

Εάν πάλι δεχτούμε την άποψη της Hesse κατά την οποία τα μοντέλα κλίμακας πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο σε εκείνες τις περιπτώσεις που δε θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις ανάγκες της έρευνας κάποια άλλη επιστημονική τεχνική, οδηγούμαστε σε ένα ακόμα παράδοξο. Πώς είναι δυνατόν μια επιστημονική τεχνική να αποδεικνύεται ανεπαρκής να εξετάσει κάποιες πτυχές ενός φυσικού, για παράδειγμα, φαινομένου, ενώ η τεχνική των μοντέλων αναλογίας, της οποίας η επιστημονική φύση αμφισβητείται από τους φιλοσόφους, να τα καταφέρνει και να καλύπτει το συγκεκριμένο γνωστικό κενό, αυτό που οι άλλες αποδεκτές τεχνικές δεν κατάφεραν να καλύψουν, ενώ ταυτόχρονα να μην αναγνωρίζεται η επιστημονικότητά της; Σε αυτό το

ερώτημα έδωσε την απάντηση ο γεωφυσικός Marion King Hubbert, ο οποίος προσπαθώντας να παρουσιάσει τους λόγους για τους οποίους χρησιμοποιείται η μέθοδος της φυσικής ομοιότητας στην επιστήμη της γεωφυσικής, επεσήμανε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις τα υπό εξέταση φαινόμενα είναι ιδιαίτερα περίπλοκα, γεγονός που καθιστά δύσκολη ή ακόμα και αδύνατη τη μαθηματική τους ανάλυση. Σε αυτές τις περιπτώσεις που η μαθηματική ανάλυση είναι ανεπαρκής ή που για κάποιον άλλον λόγο δεν ενδείκνυται, η καλύτερη εναλλακτική είναι η κατασκευή και η εφαρμογή ενός μοντέλου κλίμακας (Sterrett, 2017 (a): ch. Z.2.3, 857-878). Μια αντίστοιχη άποψη είχε εκφραστεί και από τον Γάλλο μηχανικό Joseph Bertrand, όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.2, σύμφωνα με την οποία η θεωρία ή η αρχή της ομοιότητας, κυρίως μέσω της εφαρμογής επιστημονικών μοντέλων κλίμακας, δίνει λύσεις σε προβλήματα που η θεωρία ή τα μαθηματικά δε μπορούν να δώσουν. Υπό αυτούς τους όρους, η μοντελοποίηση κλίμακας δε λειτουργεί ως συμπληρωματική τεχνική, αλλά ως εναλλακτική επιστημονική τεχνική, μια επιστημονική τεχνική που μπορεί να αντικαθιστά μια άλλη επιστημονική τεχνική καθώς κρίνεται επαρκέστερη ή καταλληλότερη για την επίλυση κάποιου συγκεκριμένου προβλήματος ή για τη διερεύνηση μιας συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης. Επομένως, η τεχνική του μοντέλου κλίμακας δεν αποτελεί ένα συμπληρωματικό μέσο που απλώς ενισχύει άλλες επιστημονικές τεχνικές ούτε την έσχατη εναλλακτική λύση, όταν οι άλλες τεχνικές δεν αποδίδουν. Αντιθέτως τα μοντέλα κλίμακας αποτελούν ισχυρές επιστημονικές τεχνικές, διαφορετικές μεν όσον αφορά τη φύση ή το μηχανισμό λειτουργίας τους σε σχέση με άλλες τεχνικές μοντελοποίησης, αλλά ισάξιες με άλλες κατηγορίες μοντέλων, ικανές να εφαρμοστούν βάσει επιστημονικών κριτηρίων και να οδηγήσουν σε επιστημονικά συμπεράσματα καλύπτοντας γνωστικά κενά που άλλες τεχνικές, θεωρίες ή μαθηματικές αναλύσεις δεν μπορούν να καλύψουν.

Οι σύγχρονοι φιλόσοφοι της επιστήμης, λοιπόν, θα πρέπει να απαλλαγούν από τις προκαταλήψεις και τις αποσπασματικές προσεγγίσεις του παρελθόντος και να εμπλακούν σε έναν διεπιστημονικό διάλογο με ερευνητές των επιστημονικών τομέων που εφαρμόζουν συστηματικά αυτές τις τεχνικές. Τοιουτοτρόπως, θα είναι σε θέση να κατανοήσουν καλύτερα τη φύση, τη δύναμη, τον ρόλο και τη σημασία των τεχνικών αυτών στη σύγχρονη επιστήμη.

#### **2.4.2 Η ομοιότητα ως μηχανισμός αλλαγής κλίμακας από το μοντέλο στην πραγματικότητα**

Η σημαντικότερη διαφορά ανάμεσα στα μοντέλα αναλογίας και στις υπόλοιπες κατηγορίες μοντέλων εντοπίζεται στη βασική μέθοδο επιλογής ή κατασκευής και στον βασικό μηχανισμό λειτουργίας τους, δηλαδή στην μέθοδο της φυσικής ομοιότητας κατά τη Sterrett, ή διαφορετικά στον μηχανισμό της ομοιότητας, τον μηχανισμό, δηλαδή, αλλαγής κλίμακας από το μοντέλο στην πραγματικότητα. Η μελέτη του μηχανισμού αυτού οδηγεί σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα που διασαφηνίζουν τον τρόπο λειτουργίας, τη σημασία, τον ρόλο της κατηγορίας αυτής των μοντέλων στη σύγχρονη επιστήμη. Η Sterrett κατέβαλε σημαντική προσπάθεια και αφιέρωσε μεγάλο μέρος της αρθρογραφίας της στην προσπάθεια κατανόησης, διερεύνησης και θεωρητικής τεκμηρίωσης της τεχνικής των μοντέλων αναλογίας και κυρίως των μοντέλων κλίμακας, που μέχρι την προσέγγισή της δεν είχαν εξεταστεί επαρκώς από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Εκτός από την ανάδειξη του ρόλου των θεωριών, των νόμων και των αρχών κατά την κατασκευή και εφαρμογή των μοντέλων κλίμακας, η Sterrett προέβη σε σχολαστική διερεύνηση και αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας τους, κατά την οποία παρουσίασε λεπτομερώς τα στάδια της εφαρμογής τους και κατ' επέκταση τον τρόπο λειτουργίας του μηχανισμού αλλαγής κλίμακας από το μοντέλο στο υπό εξέταση φυσικό σύστημα.

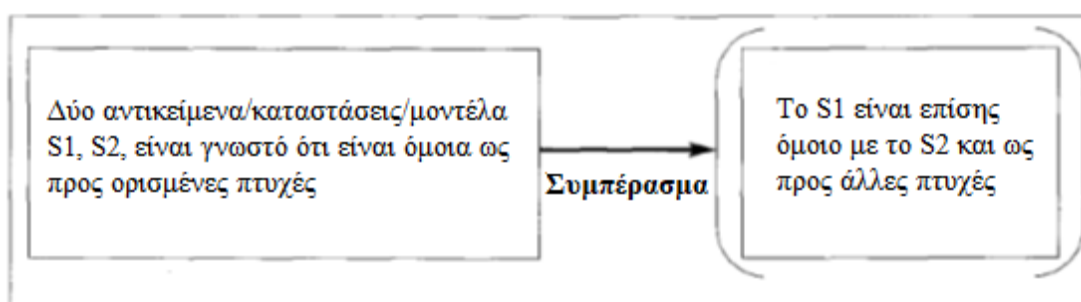
Η Sterrett υποστήριξε ότι η λειτουργία των μοντέλων αναλογίας μπορεί να βασίζεται είτε σε μία κοινή εξίσωση που συνδέει το μοντέλο με το σύστημα που αναπαριστά, είτε στον εντοπισμό κοινών χαρακτηριστικών με αυτό που καθορίζεται κυρίως βάσει των γνώσεων και των επιλογών του ερευνητή, είτε στη μέθοδο των φυσικά όμοιων συστημάτων μέσω της ανάλυσης διαστάσεων (Sterrett 2017 (a): 869-872). Σύμφωνα με τη Sterrett, στην πρώτη περίπτωση η αναλογία ποσοτήτων ή σχέσεων ποσοτήτων μεταξύ του μοντέλου και του συστήματος που μοντελοποιείται εκφράζεται από μία εξίσωση ή, θα μπορούσαμε να συμπληρώσουμε, από ένα σύνολο εξισώσεων, που ισχύει για τις συγκεκριμένες ποσότητες και των δύο συστημάτων (Sterrett, 2017 (a): 869-872). Στη δεύτερη περίπτωση η αναλογία μεταξύ του μοντέλου και του συστήματος στόχου βασίζεται στον εντοπισμό κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ των δύο συστημάτων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά που εμπίπτει στο ερευνητικό ενδιαφέρον. Μερικές φορές τα χαρακτηριστικά αυτά εντοπίζονται μέσω αξιοποίησης εξισώσεων ή και αναλύσεις μηχανισμών (Sterrett, 2017 (a): 869-872). Αυτό, όμως,

σύμφωνα με τη Sterrett, δεν είναι απαραίτητο καθώς σε αυτή την περίπτωση μεγαλύτερο ρόλο παίζει το σκεπτικό του ερευνητή όταν αποφασίζει ποια χαρακτηριστικά της κατάστασης είναι ανάλογα. Μερικές φορές ένας ερευνητής μπορεί να βασιστεί σε μερική γνώση, δηλαδή λιγότερη γνώση από αυτήν που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος. Σύμφωνα με τη Sterrett, η μερική γνώση ορισμένες φορές μπορεί να είναι αρκετή για να δείξει ότι ένα μοντέλο αναλογίας θα παρουσιάσει την ίδια συμπεριφορά με το σύστημα που μοντελοποιεί, έτσι ώστε ο πειραματισμός στο μοντέλο να είναι ικανός να μας ενημερώσει για το σύστημα στόχο (Sterrett, 2017 (a): 869-872).

Στην τρίτη περίπτωση η τεχνική του μοντέλου αναλογίας βασίζεται στην ιδέα των φυσικά όμοιων συστημάτων, η οποία στηρίζεται σε ένα (μη μοναδικό) σύνολο παραμέτρων χωρίς διάσταση που χαρακτηρίζει το σύστημα σε σχέση με ένα συγκεκριμένο είδος συμπεριφοράς και εφαρμόζεται με τη μέθοδο της ανάλυσης διαστάσεων (Sterrett, 2017(a): 869-872). Η ομοιότητα της συμπεριφοράς του συστήματος  $S$  και  $S'$  διαπιστώνεται όταν αυτές οι παράμετροι έχουν την ίδια τιμή στο  $S$  όπως στο  $S'$ . Η γνώση που βασίζεται σε αυτήν τη μέθοδο είναι η γνώση ως προς τις ποσότητες σχετικά με τη συμπεριφορά του ενδιαφέροντος. Στην περίπτωση αυτή απαιτούνται λιγότερες πληροφορίες από αυτές που απαιτούνται για παράδειγμα στην πρώτη περίπτωση που η ομοιότητα μεταξύ των δύο συστημάτων εκφράζεται βάσει μιας συγκεκριμένης κοινής εξίσωσης (Sterrett, 2017(a): 869-872). Τα μοντέλα κλίμακας λειτουργούν κυρίως βάσει της ιδέας των όμοιων συστημάτων και της ανάλυσης διαστάσεων.

Σύμφωνα με τη Sterrett, η αρχή της φυσικής ομοιότητας εφαρμόζεται κατά την κατασκευή ενός μοντέλου κλίμακας, το οποίο είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιον τρόπο ώστε να χαρακτηρίζεται από μια συγκεκριμένη ομοιότητα αναφορικά με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά με ένα άλλο φυσικό σύστημα. Η αρχή της φυσικής ομοιότητας επιβεβαιώνει ότι τα δύο αυτά συστήματα είναι όμοια σε ορισμένες πτυχές (Sterrett, 2002(b): 54-55, 2017(a): 857-860). Επομένως, τα συμπεράσματα που θα προκύψουν για το σύστημα στόχο από το μοντέλο, θα βασίζονται στη λογική της σαφώς προσδιορισμένης αναλογίας μεταξύ τους. Κατά τη Sterrett, μια τυπική μορφή αναλογικής αιτιολόγησης είναι η εξής: Θέτουμε σε σύγκριση δύο συστήματα  $S1$  και  $S2$ , τα οποία έχουν τις ιδιότητες  $A$ ,  $B$  και  $C$ . Εάν το  $S1$  έχει και την ιδιότητα  $D$ , τότε θα πρέπει και το  $S2$  να έχει την ιδιότητα  $D$ . Το ότι το  $S1$  και το  $S2$  έχουν και τα δύο τις

ιδιότητες A, B και C δεν είναι το μόνο στοιχείο που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι και τα δύο έχουν και την ιδιότητα D, καθώς συχνά υπάρχουν επιπρόσθετες πληροφορίες που ενισχύουν το συμπέρασμα αυτό και υποστηρίζουν τον ισχυρισμό κατά τον οποίο η ιδιότητα D σχετίζεται με τις ιδιότητες A, B και C (Sterrett, 2002(b): 54-55) (εικόνα 3). Σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχουν συγκεκριμένοι λόγοι που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα δύο συστήματα έχουν κάποιες όμοιες ιδιότητες, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση χρήσης μοντέλων οργανισμών στην βιολογία, ενώ σε άλλες περιπτώσεις αυτό δεν είναι τόσο εμφανές (Sterrett, 2002(b): 54).



**Εικόνα 3:** Γενικός τύπος αιτιολόγησης βάσει της αναλογίας. Πηγή: (Sterrett, 2002(b): 55)

Η Sterrett συμπληρώνει ότι οι ερευνητές διαμορφώνουν το μοντέλο και το επεξεργάζονται με διαφορετικά εργαλεία που διαθέτουν όπως με θεωρίες, με αλγόριθμους της γεωμετρίας ή της πληροφορικής αλλά και με συνδυασμούς αυτών. Διαθέτουν, δηλαδή, αρκετές εναλλακτικές μέσων και μεθόδων που τους επιτρέπουν να προβλέψουν τη συμπεριφορά του μοντέλου. Το μοντέλο αναλογίας αποτελεί επί της ουσίας μια αναπαράσταση ενός φυσικού συστήματος πιο εύκολα διαχειρίσιμη από το ίδιο το σύστημα (Sterrett, 2002(b): 51-66). Επίσης, η χρήση του μοντέλου κλίμακας δεν περιορίζεται στη χρήση των γεωμετρικών μοντέλων κλίμακας που καλύπτουν ανάγκες σχετικές με την αρχιτεκτονική διάταξη και ο μόνος στόχος είναι η αναπαράσταση χωρικών σχέσεων, αλλά καλύπτουν και ανάγκες αναπαράστασης πολύπλοκων συστημάτων και εφαρμόζονται στο πλαίσιο προηγμένων μεθόδων μοντελοποίησης μηχανικών, φυσικών και πολλών άλλων συστημάτων και φαινομένων, ενώ συμβάλλουν στην πρόβλεψη συμπεριφοράς μεγάλων μηχανών (Sterrett, 2002(b): 51-66).

Η Sterrett κατά την εισαγωγική περιγραφή των μοντέλων κλίμακας αναφέρεται σε μια διαφήμιση που θεωρεί ότι απεικονίζει τη βασική ιδέα της εφαρμογής των μοντέλων κλίμακας. Στην πρώτη σελίδα του διαφημιστικού εντύπου εμφανίζεται ένα μοντέλο-

αυτοκίνητο μέσα σε μια αεροδυναμική σήραγγα, ενώ στη συνέχεια εμφανίζεται ένα πραγματικό αυτοκίνητο που τρέχει στον αυτοκινητόδρομο. Η εικόνα συνοδεύεται από λεζάντα που αναγράφει: *Ψίθυροι στην αεροδυναμική σήραγγα, φωνές στον αυτοκινητόδρομο* (Sterrett, 2002(b): 56-57). Η διαφήμιση αυτή κατά τη Sterrett εκφράζει τη μέθοδο της εξαγωγής επιστημονικών συμπερασμάτων μέσω των μοντέλων κλίμακας. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους που εφαρμόζονται σε άλλες κατηγορίες μοντέλων, η μέθοδος της φυσικής ομοιότητας μας λέει το εξής: *Εάν το μοντέλο αυτοκινήτου ψιθυρίζει στο τούνελ, τότε το πραγματικό αυτοκίνητο θα ουρλιάζει σε έναν αυτοκινητόδρομο χωρίς όριο ταχύτητας* (Sterrett, 2002(b): 56-57). Δηλαδή, παρουσιάζει ένα συμπέρασμα που προκύπτει από μια φυσική κατάσταση για μια άλλη φυσική κατάσταση όμοια της πρώτης. Στο πλαίσιο αυτό, η μοντελοποίηση κλίμακας αποτελεί μια τεχνική που συμβάλλει στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς διαφόρων ποσοτήτων μιας περίπλοκης κατάστασης S1 από την παρατήρηση των ίδιων ποσοτήτων μίας συνήθως πιο απλής κατάστασης S2. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται μέσω της αξιοποίησης της μεθόδου ανάλυσης διαστάσεων των ποσοτήτων του ενδιαφέροντος.

Η Sterrett στην προσπάθειά της να καλύψει σημαντικά γνωστικά κενά αναφορικά με την κατηγορία των επιστημονικών μοντέλων κλίμακας, αλλά και για να ενισχύσει το επιχειρήμά της, κατά το οποίο τα μοντέλα που εντάσσονται σε αυτήν είναι επίσημες επιστημονικές τεχνικές και πρέπει να αντιμετωπίζονται ως τέτοιες, προέβη στη διάκριση και παρουσίαση των συγκεκριμένων σταδίων κατασκευής και λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας. Η διάκριση αυτή πιθανότατα προέκυψε από την εκτενή μελέτη πολλών παραδειγμάτων μοντέλων κλίμακας προερχόμενων από διάφορους επιμέρους τομείς των φυσικών επιστημών και της μηχανικής, όπως προκύπτει από την αρθρογραφία της. Εξετάζοντας, λοιπόν, η Sterrett την κατασκευή και την εφαρμογή διαφόρων μοντέλων κλίμακας κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν ορισμένα διακριτά στάδια κατά την κατασκευή και τη λειτουργία τους, μέσα από τα οποία γίνεται καλύτερα αντιληπτός και ο τρόπος αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας.

Στο πρώτο στάδιο ο ερευνητής μελετά τις σημαντικές φυσικές ποσότητες που τον απασχολούν αναφορικά με το σύστημα ή φαινόμενο του ενδιαφέροντος. Στο επόμενο στάδιο ο ερευνητής κατασκευάζει ή επιλέγει μια φυσική κατάσταση S2, η οποία είναι όμοια με μια φυσική κατάσταση S1 στα σημεία που εμπίπτουν στο ερευνητικό του ενδιαφέρον (Sterrett, 2002(b): 56-57). Κατασκευάζει, δηλαδή, ένα φυσικά όμοιο σύστημα με το S1 αναφορικά με τις τιμές συγκεκριμένων ποσοτήτων αδιάστατων

παραμέτρων που προσδιορίζουν μια συγκεκριμένη συμπεριφορά του συστήματος που τον ενδιαφέρει. Με άλλα λόγια, ο ερευνητής επιλέγει τη σχέση αναλογίας που ανταποκρίνεται στην ερευνητική του υπόθεση και επιλέγει ή κατασκευάζει το επιστημονικό μοντέλο βάσει αυτής της σχέσης. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζει την ομοιότητα μεταξύ των δύο συστημάτων πάντα υπό το πρίσμα της συγκεκριμένης ερευνητικής του υπόθεσης. Με τη λογική αυτή ο ερευνητής δηλώνει την ομοιότητα ως εξής: το σύστημα S2 είναι όμοιο με το σύστημα S1 σε σχέση με τη συγκεκριμένη συμπεριφορά B. Στη συνέχεια αναπτύσσει τους κανόνες αντιστοίχισης των τιμών των συγκεκριμένων προς εξέταση φυσικών ποσοτήτων από το σύστημα S2 στο S1 μέσω συγκεκριμένων νόμων, αρχών και ίσως και εξισώσεων. Όταν το μοντέλο S2 επιλεγεί ή κατασκευαστεί, ο ερευνητής παρατηρεί τη συμπεριφορά του, προβαίνει στις απαιτούμενες μετρήσεις και σε υπολογισμούς ώστε να επεκτείνει τα συμπεράσματά του για τις ποσότητες που τον ενδιαφέρουν από το σύστημα S2 στο S1, δηλαδή το σύστημα στόχο (Sterrett, 2002(b): 56-58). Η διαδικασία μοντελοποίησης κλίμακας περιλαμβάνει και την αιτιολόγηση της αντιστοίχισης ποσοτήτων ή σχέσεων ποσοτήτων μεταξύ των δύο συστημάτων, η οποία συνήθως επιτυγχάνεται μέσω συγκεκριμένης αρχής ή εξίσωσης. Επίσης, η ομοιότητα μεταξύ των δύο συστημάτων επικυρώνεται μέσω της διαδικασίας ανάλυσης διαστάσεων, δηλαδή μέσω της καθιέρωσης της ισότητας των σχετικών αδιάστατων παραμέτρων, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά για να παρέχει μια βάση για την πειραματική αξιοποίηση των μοντέλων κλίμακας και εξακολουθεί να αποτελεί βάση για την κατασκευή και αξιοποίηση των μοντέλων αναλογίας διατηρώντας το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί, όπως άλλες μέθοδοι, πλήρη γνώση των εξισώσεων και των συνθηκών που καθορίζουν τη συμπεριφορά B που ενδιαφέρει τον ερευνητή (Sterrett, 2017 (a): 857-861).

Η μέθοδος αυτή, όπως αποδεικνύεται και από την περιγραφή της λειτουργίας της από τη Sterrett, είναι μια μέθοδος απόλυτα συνυφασμένη με την μέθοδο επιστημονικής εξήγησης βάσει της αναλογίας (εικόνα 2). Το μοντέλο και το σύστημα που μοντελοποιείται είναι δύο καταστάσεις όμοιες ως προς συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (Sterrett, 2002(b): 56-57). Η Sterrett επισημαίνει την ιδιαίτερη προσοχή που ο επιστήμονας πρέπει να δώσει κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας αναφορικά με κάθε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό από το σύστημα S1 στο S2, κατά την επιλογή ή κατασκευή του (Sterrett, 2002(b): 56-57). Εξίσου μεγάλη προσοχή απαιτείται και κατά τη διαδικασία επέκτασης των παρατηρήσεων ή συμπερασμάτων από το μοντέλο στο

σύστημα στόχο. Αφού το είδος της ποσότητας θα είναι το ίδιο ανάμεσα στα δύο συστήματα αλλά οι διαστάσεις διαφορετικές, με προσοχή να γίνουν κάποιοι μαθηματικοί υπολογισμοί ώστε από την τιμή μίας ποσότητας του S2 να εντοπίσουμε την τιμή της αντίστοιχης ποσότητας του S1 (Sterrett, 2002(b): 56-57). Σε αυτό το γενικότερο πλαίσιο, ο μηχανισμός ομοιότητας θα μπορούσε να κατανοηθεί ως ένα σύνολο κανόνων, νόμων, αρχών ή μαθηματικών σχέσεων που χρησιμοποιούνται από την πειραματική τεχνική των μοντέλων αναλογίας, και ειδικότερα κλίμακας, κατά το στάδιο επιλογής ή κατασκευής τους και κατά το στάδιο επέκτασης των συμπερασμάτων από το μοντέλο κλίμακας στο αντικείμενο, σύστημα ή φαινόμενο ενδιαφέροντος, δηλαδή στο σύστημα στόχο.

Η Sterrett προκειμένου να διασαφηνίσει τον τρόπο λειτουργίας της φυσικής ομοιότητας στα μοντέλα κλίμακας φέρνει ένα απλό αλλά ταυτόχρονα ιδιαίτερω εύστοχο παράδειγμα που σχετίζεται με τον υπολογισμό όγκου από ένα σύστημα σε ένα άλλο. Αναφέρει, λοιπόν, μια υποθετική περίπτωση στην οποία θέλει να υπολογίσει τον όγκο ενός υλικού όπως κεριού, γύψου ή χαλκού που θα γεμίσει ένα συγκεκριμένο καλούπι μεγάλων διαστάσεων (Sterrett, 2002(b): 59-61). Η ίδια υποστηρίζει ότι μέσω της μεθόδου της φυσικής ομοιότητας και στην περίπτωση αυτή της γεωμετρικής ομοιότητας, μπορεί να το υπολογίσει χρησιμοποιώντας ένα γεωμετρικά όμοιο μοντέλο κλίμακας του πραγματικού καλουπιού αλλά μικρότερων διαστάσεων. Το μοντέλο κλίμακας του καλουπιού θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από αναλογία γραμμικών διαστάσεων με τις αντίστοιχες διαστάσεις του καλουπιού που αποτελεί το σύστημα στόχο (Sterrett, 2002(b): 59-61). Στην αρχή, λοιπόν, θα κατασκευάσει ένα μοντέλο-καλούπι στο 1/10 του μεγέθους του πραγματικού καλουπιού. Στη συνέχεια θα γεμίσει το καλούπι αυτό με υγρό και θα υπολογίσει με ακρίβεια τον όγκο του. Έπειτα, βάσει της αναλογίας ανάμεσα στο μοντέλο και το σύστημα στόχο θα προχωρήσει σε πολλαπλασιασμό ώστε να υπολογίσει τον όγκο του υγρού για το κανονικών διαστάσεων καλούπι. Συγκεκριμένα, εάν το μοντέλο είχε σε κλίμακα 1/10 του κανονικού καλουπιού, τότε για να υπολογιστεί το υγρό που θα γεμίσει το κανονικό καλούπι θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί η ποσότητα του υγρού που γέμισε το μοντέλο καλούπι 10x10x10 ή επί 1.000 (Sterrett, 2002(b): 59-61). Μέσω αυτού του παραδείγματος η Sterrett αποδεικνύει ότι μπορεί να επεκτείνει τα συμπεράσματα από το μοντέλο στο σύστημα του ενδιαφέροντος χωρίς να έχει κάποιον συγκεκριμένο τύπο



ή κάποια εξίσωση που θα τη βοηθήσει να προσδιορίσει τον όγκο ή το σχήμα του καλουπιού-στόχου.

Παρόλο που το παράδειγμα της Sterrett είναι αρκετά απλό καθώς η μόνη κλίμακα στην οποία αναφέρεται σχετίζεται με τον όγκο του καλουπιού, καταφέρνει μέσω αυτού του παραδείγματος να απεικονίσει τα βασικά βήματα κατά τη διαδικασία εφαρμογής του μηχανισμού της ομοιότητας μέσω της λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας αλλά και να αναδείξει βασικά σημεία στα οποία ο ερευνητής πρέπει να εστιάσει κατά τη διαδικασία αυτή. Τα σημεία που πρέπει να προσέξει ο ερευνητής, κατά τη Sterrett, είναι η διατήρηση των αναλογιών αδιάστατων ποσοτήτων από το μοντέλο στο σύστημα στόχο και το ότι η ποσότητα του ενδιαφέροντος ποικίλει λόγω αλλαγών στη γραμμική διάσταση (Sterrett, 2002(b): 59-61). Κατά τη Sterrett, σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου μοντελοποίησης κλίμακας είναι το είδος των πληροφοριών που απαιτούνται είναι θεμελιώδες, όχι όμως καθολικά εφαρμόσιμο καθώς αυτές ποικίλουν ανά περίπτωση (Sterrett, 2002(b): 59-61). Έτσι, η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα χρήσης θεμελιωδών γνώσεων για διατύπωση και έλεγχο υποθέσεων αναφορικά με συγκεκριμένες φυσικές καταστάσεις για τις οποίες έχουμε μερική γνώση. Το είδος των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται σχετίζονται με τη φύση του χώρου και όχι με λεπτομέρειες αναφορικά με την κατάσταση που μοντελοποιείται. Η βάση των συμπερασμάτων που μπορούμε να συνάγουμε είναι η αρχή της φυσικής ομοιότητας (Sterrett, 2002(b): 51-66).

Τα επιστημονικά μοντέλα αναλογίας αποτελούν ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για τις φυσικές επιστήμες καθώς συμβάλλουν στην πρόοδο της γνώσης μας για τον κόσμο που μας περιβάλλει. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται από το πεδίο της θεωρητικής φυσικής είναι πάρα πολλά και διαφορετικά μεταξύ τους, γεγονός που καθιστά από δύσκολο έως αδύνατο εγχείρημα την σύνταξη καταλόγου που να τα συμπεριλαμβάνει και να τα παρουσιάζει όλα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα μοντέλων αναλογίας που έχουν κατασκευαστεί και χρησιμοποιηθεί εκτενώς και για μεγάλα χρονικά διαστήματα, κατά τη Sterrett, εξετάζουν την αναλογία ανάμεσα στο φως και στον ήχο ή ανάμεσα σε ηλεκτρικά και μηχανικά κυκλώματα, ενώ πολλά μοντέλα έχουν κατασκευαστεί και χρησιμοποιηθεί για να συμβάλλουν στην περιγραφή του φωτός, της θερμότητας, του ηλεκτρομαγνητισμού (Sterrett, 2017(a): 857-878).

Η Sterrett, επισημαίνει ότι η ομοιότητα φυσικών φαινομένων ή καταστάσεων γενικότερα δεν είναι κάτι απόλυτο και θα πρέπει να ορίζεται σε σχέση με ένα

συγκεκριμένο φαινόμενο ή ένα είδος φαινομένων, βάσει ενός σαφώς προσδιορισμένου χαρακτηριστικού που δηλώνεται από την υπό έλεγχο ερευνητική υπόθεση (Sterrett, 2002(b): 60-61). Η Sterrett αναφέρει ότι κατ' αντιστοιχία με την εφαρμογή της ομοιότητας για συμπεράσματα αναφορικά με χωρικές, γεωμετρικές διαστάσεις, κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται μοντέλα αναλογίας φυσικών φαινομένων ή καταστάσεων, μόνο που σε αυτή την περίπτωση ορίζεται η ομοιότητα μεταξύ άλλων ποσοτήτων ή σχέσεων ποσοτήτων, όπως για παράδειγμα της ταχύτητας. Στην περίπτωση των φυσικών φαινομένων, η ομοιότητα προσδιορίζεται από αναλογίες αδιάστατες παραμέτρων διάφορων ειδών και όχι μόνο από τον λόγο των μηκών, όπως στην περίπτωση του υπολογισμού του όγκου και της γεωμετρικής ομοιότητας γενικότερα. Παραδείγματα λόγων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή κι εξήγηση φυσικών συστημάτων είναι ο αριθμός του Mach που είναι ο λόγος ταχυτήτων ή ο αριθμός Reynolds, ο οποίος υπολογίζεται από την πυκνότητα, την ταχύτητα και το μήκος, διαιρούμενων από το ιξώδες, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ομοιότητας αναφορικά με τη ροή σε δυο συστήματα ή αναφορικά με άλλες σημαντικές υδροδυναμικές συμπεριφορές (Sterrett, 2002(b): 60-61· Sterrett, 2017(a): 860-862).

Η βασική μέθοδος που αξιοποιείται κατά την εφαρμογή των μοντέλων κλίμακας είναι η ανάλυση διαστάσεων, μέσω της οποίας οι επιστήμονες μπορούν να εξάγουν πληροφορίες για ένα φαινόμενο υπό την προϋπόθεση ότι το φαινόμενο μπορεί να περιγραφεί από μια εξίσωση αδιάστατων παραμέτρων (Sterrett, 2002: 61-64). Οι σημαντικές πληροφορίες που απαιτούνται κατά αυτή τη διαδικασία είναι οι πληροφορίες σχετικά με τις σημαντικές ποσότητες που εμπíπτουν στο ερευνητικό ενδιαφέρον και το ότι οι νόμοι θα πρέπει να ισχύουν ανεξάρτητα από τις διαστάσεις, ανεξάρτητα από την κλίμακα του συστήματος. Ο φιλόσοφος Brian Ellis που ασχολήθηκε με το ζήτημα της ανάλυσης διαστάσεων παρατηρεί ότι η ανάλυση διαστάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μας πει πως να κατασκευάσουμε ένα μοντέλο και πώς να το χρησιμοποιήσουμε για να αντλήσουμε συμπεράσματα σχετικά με μια κατάσταση που μπορεί να είναι απρόσιτη για εμάς με οποιοδήποτε άλλο μέσο (Sterrett, 2002(b): 62-64). Η Sterrett αποδέχεται τις απόψεις του Ellis και συμπληρώνει ότι ένα ακόμα στοιχείο που καθιστά ιδιαίτερα γόνιμη τη μέθοδο αυτή είναι το γεγονός ότι σε αυτή την ερευνητική μεθοδολογία εμπλέκεται ένα συγκεκριμένο, διακριτό κομμάτι του πραγματικού κόσμου. Η μεθοδολογία αυτή, δηλαδή, μας επιτρέπει να

παραμείνουμε στον κόσμο των πραγματικών φαινομένων καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της έρευνας (Sterrett, 2002(b): 62-64). Η παρατήρηση αυτή είναι αρκετά σημαντική καθώς αναδεικνύει το βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων κλίμακας εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα είδη μοντέλων, που δεν είναι άλλο από το ότι τα μοντέλα αυτά τα χωρίζει μικρότερη απόσταση με το σύστημα στόχο, εν συγκρίσει με άλλες κατηγορίες μοντέλων. Ανήκουν στην ίδια κατηγορία με τα συστήματα του ενδιαφέροντος, είναι φυσικές διατάξεις που τοποθετούνται στον χώρο και τον χρόνο. Η παρατήρηση αυτή εκτός του ότι αναδεικνύει το βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων κλίμακας αιτιολογεί και την ευρεία αξιοποίησή τους από τις φυσικές επιστήμες και τη μηχανική, στο πλαίσιο των οποίων επιδιώκεται η περιγραφή, εξήγηση, πρόβλεψη φυσικών συστημάτων αλλά και η πιλοτική δοκιμή μηχανών, πλοίων, αεροπλάνων, κτηρίων. Βάσει των ανωτέρω αποδεικνύεται ότι υπάρχει μια επίσημη μεθοδολογία, η οποία σχετίζεται με τη λογική της αξιοποίησης των μοντέλων κλίμακας και γενικότερα των μοντέλων που εντάσσονται στην κατηγορία “using one piece of the world to tell about another” (Sterrett, 2005(a): 9), παρατήρηση που ενισχύει την επιχειρηματολογία της Sterrett αναφορικά με την επιστημονικότητά τους.

Η συμβολή της Sterrett στην ανάδειξη της σημασίας, του ρόλου και της λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης υπήρξε πολύ σημαντική καθώς αποτέλεσε μια από τις πρώτες προσπάθειες παρουσίασης και τεκμηρίωσης της κατηγορίας αυτής των μοντέλων σε ένα πεδίο στο οποίο μέχρι τότε η τεχνική αυτή δεν είχε εξεταστεί επαρκώς, η υπάρχουσα γνώση ήταν αποσπασματική και η πλειοψηφία των φιλοσόφων είτε την αγνοούσε είτε την απέρριπτε ως επιστημονική τεχνική. Η Sterrett εκτός από την ανάδειξη της σημασίας μιας επαρκέστερης εξέτασης των μοντέλων κλίμακας και του βασικού μηχανισμού λειτουργίας τους κατάφερε να διαμορφώσει μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση για την εν λόγω κατηγορία μοντέλων, επισημαίνοντας τους λόγους για τους οποίους είναι και πρέπει να αντιμετωπίζονται ως επιστημονικές τεχνικές και περιέγραψε τα πλεονεκτήματά τους στην πειραματική πρακτική που οφείλονται κυρίως στον βασικό μηχανισμό λειτουργίας τους, δηλαδή την ομοιότητα.

Η αποδοχή της επιχειρηματολογίας της Sterrett αναφορικά με τον ρόλο της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού λειτουργίας του επιστημονικού μοντέλου συμβάλλει στην επικύρωση του πρώτου σκέλους της υπό έλεγχο ερευνητικής υπόθεσης αυτής της διατριβής, κατά την οποία η ομοιότητα αποτελεί τον βασικό μηχανισμό

λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων, τον μηχανισμό εκείνον που επιτρέπει στα μοντέλα να αναπαριστούν συγκεκριμένα τμήματα του φυσικού κόσμου. Η Sterrett, πραγματοποίησε αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας, ως βασικού μηχανισμού κλίμακας ανάμεσα σε ένα μοντέλο και στο σύστημα που μοντελοποιεί, εστιάζοντας, όμως, κυρίως στη γεωμετρική ομοιότητα ή διαφορετικά στην ομοιότητα διαστάσεων των δύο συστημάτων. Πραγματοποίησε μια εκτενή έρευνα αναφορικά με την ομοιότητα ως μηχανισμό κλίμακας από μια φυσική διάταξη σε μια άλλη, από ένα φυσικό φαινόμενο ή σύστημα σε ένα άλλο. Εξέτασε, δηλαδή, την εξωτερική ομοιότητα των φυσικών φαινομένων και συστημάτων ενώ δεν ασχολήθηκε με την εσωτερική ομοιότητα των φυσικών φαινομένων ή συστημάτων, δηλαδή «την αξιοποίηση της ομοιότητας ως μηχανισμού μεταφοράς γνώσης που αποκτάται για μια συγκεκριμένη κλίμακα μελέτης ενός φαινομένου, σε μια άλλη κλίμακα του ίδιου φαινομένου» (εσωτερική ομοιότητα) (Καναβούρας και συν, 2021: 210-213). Αυτή ακριβώς την παράλειψη που εντοπίζεται στη θεώρηση της Sterrett και αποτελεί σημαντικό κενό αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας ως μηχανισμού κλίμακας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, επιδιώκουμε να καλύψουμε στο τρίτο κεφάλαιο (βλ. κεφ. 3.1, 3.2), αποσκοπώντας στην επίτευξη μίας επαρκέστερης περιγραφής της εξωτερικής και εσωτερικής ομοιότητας ως μηχανισμού κλίμακας των μοντέλων αναλογίας και γενικότερα ως μηχανισμού κατηγοριοποίησης της γνώσης των φαινομένων, στο γενικότερο πλαίσιο επιδίωξης ελέγχου της ερευνητικής υπόθεσης της παρούσας έρευνας.

#### **2.4.3 Η αντιγραφή ή η αναπαραγωγή ως ομοιότητα**

Ένα σημαντικό ερώτημα που προκύπτει κατά την εξέταση του μηχανισμού της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού κατασκευής και λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας είναι εάν η αντιγραφή ενός συστήματος ή η αναπαραγωγή ενός φαινομένου συνιστούν ομοιότητα. Εάν, δηλαδή, η κατασκευή ενός αντίγραφου ενός φυσικού συστήματος ή ενός μηχανικού συστήματος μπορεί να λειτουργήσει ως επιστημονικό μοντέλο αναλογίας ενός συστήματος στόχου και να οδηγήσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα, δηλαδή την περιγραφή, την εξήγηση, την πρόβλεψη αναφορικά με το σύστημα αυτό. Το ερώτημα αυτό ενδεχομένως να μη φαίνεται τόσο θεμελιώδες όσο τα ζητήματα που συζητήθηκαν σε προηγούμενως, ωστόσο η απάντηση σε αυτό είναι καθοριστική για την κατανόηση της έννοιας της ομοιότητας ως μηχανισμού λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας. Ταυτόχρονα, η διευκρίνιση αυτού του

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett

ζητήματος είναι ικανή να συμβάλλει στην αποφυγή παρανοήσεων που συχνά οδηγούν σε ελλιπή κατανόηση και υποτίμηση της τεχνικής των μοντέλων κλίμακας, ως όχι τόσο αξιόπιστων επιστημονικών τεχνικών.

Το ζήτημα αυτό απασχόλησε τη Sterrett, η οποία στο άρθρο της *Models of machines and models of phenomena* (Sterrett, 2006: 69-80) έδωσε μια ικανοποιητική απάντηση μέσω της αξιοποίησης πολλών παραδειγμάτων προερχόμενων από τους τομείς της μηχανικής και της φυσικής. Αρχικά, η Sterrett αναφέρει ότι μπορεί να υπάρχουν διάφορα είδη ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων. Μπορεί τα δύο συστήματα να είναι όμοια όσον αφορά στην κατασκευή τους. Μπορεί το ένα σύστημα να αποτελεί απόλυτη αντιγραφή του άλλου. Στην περίπτωση αυτή έχουμε πλήρη ομοιότητα, ταύτιση αναφορικά με την κατασκευή. Δύο συστήματα μπορεί να είναι όμοια όσον αφορά συγκεκριμένες λειτουργίες, συμπεριφορές ή χαρακτηριστικά τους (Sterrett, 2006: 69-75). Σε αυτή την περίπτωση τα δύο συστήματα χαρακτηρίζονται από μερική ομοιότητα. Ομοιότητα μπορεί να εντοπιστεί και σχετικά με άλλους παράγοντες, όπως την ιστορική σημασία της κατασκευής και της πρώτης χρήσης δύο μηχανών ή ακόμα την κοινωνική τους σημασία (Sterrett, 2006: 69-75). Ποια είναι, όμως, η έννοια της ομοιότητας που αποτελεί τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας και πώς επιλέγονται τα κριτήρια με τα οποία ορίζεται η ομοιότητα μεταξύ δυο συστημάτων;

Η Sterrett παραθέτει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα από το πεδίο της μηχανικής. Τον Δεκέμβριο του 2003 στο πλαίσιο της επετειακής εορτής των 100 χρόνια από την κατασκευή και λειτουργία της πρώτης ιπτάμενης μηχανής των αδερφών Orville και Wilbur Wright, επιδιώχθηκε η πραγματοποίηση πτήσης μίας ρέπλικας της ιπτάμενης αυτής μηχανής, η οποία είχε κατασκευαστεί με απόλυτη ακρίβεια, με τα ίδια υλικά κατασκευής ακόμα και με τα ίδια εργαλεία. Η πτήση θα πραγματοποιούνταν στο ίδιο σημείο στον λόφο Kill Devil Hills στη Νότια Καρολίνα. Παρόλο που η μηχανή ήταν ίδια με την πρωτότυπη και το σημείο εκκίνησης ήταν το ίδιο απ' όπου είχαν πετάξει οι Wright 100 χρόνια πριν, η ιπτάμενη μηχανή δεν κατάφερε να πετάξει καθώς άλλοι παράγοντες, όπως η απουσία ανέμου και ένα μηχανικό πρόβλημα που προέκυψε δεν το επέτρεψαν (Sterrett, 2006: 69-75). Στην περίπτωση, λοιπόν, αυτή παρόλο που η ρέπλικα αποτελούσε απόλυτο αντίγραφο της πρώτης ιπτάμενης μηχανής, δεν λειτούργησε με όμοιο τρόπο. Δεν κατάφερε, δηλαδή, να αναπαραστήσει την πτήση των αδερφών Wright. Σύμφωνα με τη διάκριση της Sterrett, σε αυτή την περίπτωση τα δύο συστήματα χαρακτηρίζονταν από πλήρη ομοιότητα αναφορικά με την κατασκευή τους,

αλλά όχι αναφορικά με τις συνθήκες και τη λειτουργία της ιπτάμενης μηχανής. Σε αυτό το σημείο γίνεται φανερό ότι ακόμη όταν και δύο συστήματα είναι απόλυτα όμοια ως προς τα δομικά τους χαρακτηριστικά αυτό δε συνεπάγεται ότι θα είναι όμοια και ως προς τη συμπεριφορά τους. Επομένως, μπορούμε να μιλήσουμε για αντιγραφή αλλά όχι για αναπαράσταση, ενώ δεν μπορούμε με ασφάλεια να μιλάμε για απόλυτη ομοιότητα (Sterrett, 2006: 72-76). Ακόμα και αν για παράδειγμα, είχε προγραμματιστεί να εκτελεστεί αναπαράσταση της πτήσης μια ημέρα που ο άνεμος θα ήταν πιο ευνοϊκός, η μηχανική βλάβη δεν είναι σίγουρο ότι θα μπορούσε να προβλεφθεί. Στην περίπτωση της αξιοποίησης των μοντέλων κλίμακας, αυτό που μας ενδιαφέρει περισσότερο δεν είναι η ύπαρξη απόλυτης ταύτισης με το σύστημα στόχο αλλά η όμοια συμπεριφορά τους με αυτό σε συγκεκριμένες συνθήκες που προσδιορίζονται από την κατεύθυνση και τον σκοπό της έρευνας και δηλώνονται μέσω της ερευνητικής υπόθεσης.

Η Sterrett επισημαίνει ότι η έννοια της ομοιότητας που εμπλέκεται και καθορίζει τη λειτουργία των μοντέλων αναλογίας μηχανών ή φαινομένων είναι η ομοιότητα συγκεκριμένων σχέσεων συγκεκριμένων ποσοτήτων υπό το πρίσμα συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης (Sterrett, 2002: 60-61, 2017 (a): 860-862). Η κεντρική ιδέα του μηχανισμού της ομοιότητας βασίζεται στην ιδέα της διατήρησης της δομής μιας κατάστασης που σχετίζεται με το φαινόμενο του ενδιαφέροντος (Sterrett, 2002: 60-61, 2006: 69-80, 2017 (a): 860-862). Όταν δύο συστήματα είναι φυσικά όμοια, μπορεί να πραγματοποιηθεί μια αντιστοίχιση ορισμένων σχέσεων ορισμένων ποσοτήτων από το ένα σύστημα στο άλλο. Όταν δύο συστήματα έχουν ίδιες ανάλογες σχέσεις μεταξύ συγκεκριμένων ποσοτήτων χαρακτηρίζονται από ομοιότητα αναφορικά με συγκεκριμένα δομικά χαρακτηριστικά. Το κάθε σύστημα, φαινόμενο ή κατάσταση έχει πολλά διαφορετικά είδη δομών (Sterrett, 2006: 69-80). Ο ερευνητής, λοιπόν, που επιλέγει ή κατασκευάζει ένα μοντέλο αναλογίας ορίζει την ομοιότητά του με το σύστημα στόχο, εστιάζοντας στη δομή που τον ενδιαφέρει. Επομένως, η ομοιότητα ορίζεται με όρους που εμπíπτουν στο ενδιαφέρον του ερευνητή και εκφράζονται μέσω της ερευνητικής υπόθεσης. Στο πλαίσιο αυτό, η Sterrett υποστηρίζει ότι η ομοιότητα που εμπλέκεται στη λειτουργία των μοντέλων αναλογίας σχετίζεται με ένα φαινόμενο και ορίζεται πάντα σε σχέση με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (Sterrett, 2006: 69-80). Κατ' επέκταση δεν απαιτείται η ύπαρξη απόλυτης ομοιότητας στην συγκεκριμένη πρακτική.

Για παράδειγμα, εάν κάποιος ερευνητής που δραστηριοποιείται στο πεδίο της αρχιτεκτονικής επιδιώκει να ελέγξει τη σταθερότητα ενός κτηρίου σε περίπτωση σεισμού, δεν θα κατασκευάσει ένα ακριβές αντίγραφο του κτηρίου αλλά ένα μοντέλο κλίμακας όμοιο, για παράδειγμα, αναφορικά με τα υλικά κατασκευής, τη δομή του κτηρίου, τα θεμέλιά του και θα το θέσει σε συνθήκες σεισμού, προκειμένου να προβλέψει με τους κατάλληλους υπολογισμούς την ανθεκτικότητα του πραγματικού κτηρίου σε αντίστοιχες συνθήκες. Στην περίπτωση αυτή η ερευνητική υπόθεση που θα κατευθύνει τον σχεδιασμό, την κατασκευή του μοντέλου θα μπορούσε να είναι, για παράδειγμα, η αντοχή διώροφων κτηρίων συγκεκριμένου ύψους, κατασκευασμένων από συγκεκριμένα υλικά σε σεισμικές δονήσεις της τάξεως των 5 ρίχτερ. Ένα κριτήριο ομοιότητας θα μπορούσε να είναι η διατήρηση σχέσεων φυσικών ποσοτήτων που καθορίζουν τη δομή του κτηρίου και επικυρώνουν τη γεωμετρική ομοιότητα ή σχέσεων φυσικών ποσοτήτων που συμβάλλουν στον προσδιορισμό της έντασης της δόνησης που θα δοκιμαστεί στο μοντέλο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αντιστοιχεί με τη σεισμική 5 ρίχτερ στον φυσικό κόσμο. Η ομοιότητα καθορίζεται από την υπό έλεγχο υπόθεση και από το κριτήριο βάσει του οποίου ορίζουμε την ομοιότητα των δύο συστημάτων, γεγονός που καθιστά τη διατύπωση της υπόθεσης και την επιλογή του κριτηρίου, διαδικασίες καθοριστικής σημασίας για την εφαρμογή και τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας.

Πώς, όμως, ο επιστήμονας επιλέγει τα κριτήρια προσδιορισμού συγκεκριμένης ομοιότητας μεταξύ των δύο συστημάτων; Η Sterrett υποστηρίζει ότι ο ερευνητής πρέπει να έχει επαρκή γνώση της θεωρίας που σχετίζεται με το προς εξέταση φαινόμενο, να είναι σε θέση να χαρακτηρίσει το είδος των καταστάσεων που θα ερευνηθεί ώστε να μπορεί διακρίνει όμοιες σχέσεις ποσοτήτων μεταξύ των φαινομένων του ενδιαφέροντος και να επιλέξει ποιες από αυτές θα εξετάσει (Sterrett, 2006: 75-80). Να ορίσει, δηλαδή, το κριτήριο της ομοιότητας, τη βάση για τον προσδιορισμό των φυσικών ποσοτήτων που θα εξετάσει, οι οποίες θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες της έρευνάς του. Η επιλογή των κριτηρίων ομοιότητας είναι καθοριστική για τα αποτελέσματα της έρευνας καθώς η επιλογή λανθασμένων κριτηρίων δε θα οδηγήσει στα επιθυμητά αποτελέσματα. Πολλές φορές οι επιστήμονες προκειμένου να επιλέξουν κριτήρια ή αρχές προσδιορισμού της ομοιότητας ανάμεσα σε δύο συστήματα στηρίζονται σε κάποια εξίσωση (Sterrett, 2006: 69-80) ή σε κάποιο σύστημα εξισώσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η αρχή της ομοιότητας θεωρείται επακόλουθο μίας

συγκεκριμένης εξίσωσης ή ορισμένων συγκεκριμένων εξισώσεων. Όταν η εξίσωση που περιγράφει ένα συγκεκριμένο φαινόμενο είναι διαθέσιμη παρέχει πολλές πληροφορίες που συμβάλλουν στον καθορισμό κριτηρίων ομοιότητας. Ωστόσο, η Sterrett επισημαίνει ότι η ύπαρξη μιας εξίσωσης μπορεί να διευκολύνει μεν κατά την διατύπωση κάποιας αρχής ομοιότητας, αλλά δεν είναι απαραίτητη, καθώς τα κατάλληλα κριτήρια ομοιότητας μπορούν να επιλεγούν ακόμα και όταν η εξίσωση που περιγράφει το φαινόμενο δεν είναι γνωστή (Sterrett, 2006: 75-80). Η αρχή της ομοιότητας μπορεί να προκύψει απλά από τη γνώση των βασικών ποσοτήτων από τις οποίες εξαρτάται το φαινόμενο και να επιβεβαιωθεί μέσω της διαδικασίας ανάλυσης διαστάσεων (Sterrett, 2006: 75-80). Άλλωστε, κατά τη Sterrett, «το βασικό ζητούμενο κατά την επιλογή κριτηρίων ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων είναι η κατανόηση των συνθήκων ομοιότητας που θα επιτρέψουν την κατασκευή και τη λειτουργία του, η διορατική χρήση των γνώσεων του ερευνητή για να καθορίσει ποιες αρχές ομοιότητας είναι οι πλέον κατάλληλες για να του επιτρέψουν να συμπεράνει αυτό που δε γνωρίζει από αυτό που μπορεί να παρατηρήσουμε και όχι τόσο η κατασκευή των πιο λεπτομερών μοντέλων και η αξιοποίηση των πιο λεπτομερών εξισώσεων» (Sterrett, 2006: 78-79).

Η Sterrett, λοιπόν, κατά τη γενικότερη προσπάθειά της να περιγράψει τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας αναφέρθηκε σε διαφορετικές μορφές ομοιότητας που μπορεί να χαρακτηρίζουν δύο συστήματα και κατέληξε στο ότι η αντιγραφή ενός συστήματος δεν συνιστά ομοιότητα αναφορικά με τη συμπεριφορά του. Με αυτόν τον τρόπο προσδιόρισε ποια μορφή ομοιότητας εμπλέκεται και καθορίζει τη λειτουργία των μοντέλων αναλογίας, συμβάλλοντας στον επαρκέστερο προσδιορισμό αυτής και στην ανάδειξη ορισμένων παρανοήσεων που συχνά οδηγούν σε μη αποδοχή της τεχνικής αυτή ή στην υποτίμηση της αξιοπιστίας και της εγκυρότητάς της. Έτσι, ανέδειξε τις παραμέτρους που έχουν σημασία κατά την επιλογή του κατάλληλου κάθε φορά κριτηρίου ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων, που σύμφωνα με την προσέγγισή της στηρίζεται περισσότερο στις γνώσεις του ερευνητή αναφορικά με τις βασικές ποσότητες του προς εξέταση συστήματος ή φαινομένου που εμπίπτουν στο ερευνητικό ενδιαφέρον παρά σε κάποια συγκεκριμένη προϋπάρχουσα εξίσωση. Η αποδοχή αυτής της θέσης της Sterrett θα συνεπαγόταν και την απόρριψη του δεύτερου σκέλους της ερευνητικής υπόθεσης, που ελέγχεται στο πλαίσιο αυτής της διατριβής, κατά το οποίο «η ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση



συστήματος, θα πρέπει να ορίζεται βάσει αυστηρών επιστημονικών κριτηρίων προκειμένου αφενός να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική αξιοποίηση του μοντέλου και αφετέρου να επικυρώνεται η επιστημονική του φύση». Ωστόσο, όσον αφορά το συγκεκριμένο ζήτημα, δηλαδή την επιλογή κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και συστήματος στόχου, διατυπώνεται ως έναν βαθμό διαφορετική άποψη από αυτή της Sterrett, η οποία αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο ( 3.3, 3.4) και αποτελεί και ένα από τα πιο σημαντικά σημεία κριτικής στην προσέγγιση της φιλοσόφου της επιστήμης.

## **Κεφάλαιο τρίτο: Κριτική στη θεώρηση της Sterrett αναφορικά με την εννοιοδότηση της ομοιότητας και την επιλογή κριτηρίων προσδιορισμού αυτής κατά τον πειραματισμό**

### **3.1 Εισαγωγή**

Η εξέταση της ιστορικής εξέλιξης των εννοιών της ομοιότητας, των όμοιων συστημάτων και του επιστημονικού μοντέλου αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει μία και μόνο θεωρητική προσέγγιση, η οποία να περιγράφει, να εξηγεί επαρκώς και να ορίζει αυτές τις ευρέως διαδεδομένες επιστημονικές τεχνικές. Σε κάθε διατυπωμένη θεωρία εντοπίζονται κενά, τα οποία καλείται να καλύψει ή να συμπληρώσει η επόμενη θεωρία. Αυτό ισχύει σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό κατά την προσπάθεια κατανόησης και ορισμού τεχνικών όπως της ομοιότητας και του μοντέλου που χαρακτηρίζονται από διαρκή εξέλιξη και ραγδαία επέκταση της αξιοποίησής τους σε έναν αυξανόμενο αριθμό επιστημονικών πεδίων. Σε αυτό το πλαίσιο, η αναθεώρηση, η συμπλήρωση ή ορισμένες φορές ο επαναπροσδιορισμός των προηγούμενων θεωρητικών προσεγγίσεων αποτελεί τον μόνο δρόμο που θα οδηγήσει στην σαφέστερη οριοθέτηση των εννοιών, την αποτελεσματικότερη πειραματική αξιοποίηση των τεχνικών αυτών και μακροπρόθεσμα στην πρόοδο της επιστήμης.

Παρατηρώντας, για παράδειγμα, την εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας από τη θεωρία του Νεύτωνα, στη θεωρία του Buckingham, στην προσέγγιση της Sterrett γίνεται αντιληπτός ο ρόλος των αναθεωρήσεων ή των προσθηκών αναφορικά με την επιστημονική γνώση. Παρατηρώντας, επίσης, την εξέλιξη της έννοιας του μοντέλου στη φιλοσοφία της επιστήμης από την αντίληψη του μοντέλου ως θεωρητικής δομής, στην κατανόησή του ως ενδιάμεσου σταδίου μεταξύ θεωρίας και πραγματικότητας και τέλος με την προσθήκη της Sterrett στην αποδοχή της επιστημονικής φύσης και των μοντέλων φυσικών διατάξεων, επιβεβαιώνεται η σημασία του επαναπροσδιορισμού της προηγούμενης γνώσης για την κάλυψη γνωστικών κενών ή ακόμα και την επαρκέστερη κατανόηση της ίδιας της υπάρχουσας γνώσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα στην επιχειρηματολογία της Sterrett υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας, η προτεινόμενη ιδέα θα μπορούσε να θεωρηθεί αρκετά ριζοσπαστική για το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, κάτι που καθιστά δυσκολότερη την αποδοχή της. Ωστόσο, όπως επισήμανε και ο Karl Popper τα μεγαλύτερα άλματα στην επιστήμη προέκυψαν από την απόρριψη υποθέσεων, των οποίων η εγκυρότητα θεωρούνταν δεδομένη, αλλά και από την επικύρωση των πιο ριζοσπαστικών υποθέσεων (Chalmers, 2004: 69-75).

---

Το ζήτημα της ομοιότητας μεταξύ επιστημονικών μοντέλων και φυσικής πραγματικότητας στον επιστημολογικό στοχασμό της Susan G. Sterrett

Στο πλαίσιο αυτό και με βασικό στόχο αυτής της διατριβής όχι μόνο την κριτική προσέγγιση της θεώρησης της Sterrett αναφορικά με τις έννοιες της ομοιότητας και του μοντέλου, αλλά και τη συμμετοχή στον διάλογο που η φιλόσοφος ξεκίνησε στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, στο παρόν κεφάλαιο επιδιώκεται η απάντηση σε ορισμένα ερωτήματα που δε διερευνώνται μέσω της προσέγγισής της, η εξέταση τους, όμως, είναι ικανή να συμβάλλει σε μια επαρκέστερη προσέγγιση και κατανόηση των υπό εξέταση εννοιών. Η Sterrett εισήγαγε στη φιλοσοφία της επιστήμης την έννοια της ομοιότητας, αναγνωρίζοντάς την ως βασικό μηχανισμό λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων αναλογίας. Επίσης, ανέδειξε τη σημασία προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων βάσει κριτηρίων που επιλέγονται κάθε φορά από την ερευνητική ομάδα, καθορίζονται από την υπό έλεγχο ερευνητική υπόθεση και προσδιορίζουν την κατεύθυνση και το σκοπό της έρευνας. Η συμβολή της Sterrett στην ανάδειξη και την εκτενή εξέταση αυτών των τεχνικών, ιδιαίτερα σε ένα πεδίο που μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα αμφισβητούνταν ή αγνοούνταν η επιστημονική τους φύση, είναι αδιαμφισβήτητη. Ωστόσο, εντοπίζονται κάποια σημεία στην προσέγγιση της φιλοσόφου της επιστήμης που επιδέχονται περαιτέρω διερεύνησης. Σημαντικά ζητήματα που θα αναπτυχθούν στις επόμενες ενότητες, συγκριτικά με τις βασικές θέσεις της φιλοσόφου, είναι:

- Η διάκριση της έννοιας της ομοιότητας σε δύο επιμέρους μορφές της με κριτήριο, το εάν ο μηχανισμός της ομοιότητας αξιοποιείται για την περιγραφή, εξέταση και πρόβλεψη από μια συγκεκριμένη κλίμακα ενός φαινομένου σε μια άλλη κλίμακα του ίδιου φαινομένου (εσωτερική ομοιότητα) ή από ένα φαινόμενο σε ένα άλλο όμοιο φαινόμενο της ίδιας κλίμακας (εξωτερική ομοιότητα).
- Το ζήτημα της ανάγκης αυστηροποίησης των κριτηρίων και περιορισμού του ανθρώπινου παράγοντα, σε περιπτώσεις που είναι εφικτό, κατά την επιλογή των κριτηρίων εντοπισμού και επιβεβαίωσης της ομοιότητας, ως μηχανισμού που συμβάλλει στη συστηματική διαχείριση της επιστημονικής γνώσης των φυσικών φαινομένων και συστημάτων. Στο πλαίσιο διερεύνησης του συγκεκριμένου ζητήματος θα εξεταστεί η περίπτωση ενός συγκεκριμένου εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης των φυσικών φαινομένων, που δομείται και λειτουργεί βάσει της εσωτερικής ομοιότητας.

- Αντιστοίχως, κατά την προσπάθεια αυστηροποίησης των κριτηρίων προσδιορισμού ή επιλογής της εξωτερικής ομοιότητας, προέκυψε η πρόταση νέου εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης των φυσικών φαινομένων ως επέκταση του προαναφερθέντος εργαλείου. Το προτεινόμενο αυτό εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης συστημάτων φυσικών φαινομένων δομείται και λειτουργεί βάσει της εξωτερικής ομοιότητας, της ομοιότητας, δηλαδή, που εξέτασε η Sterrett.

### **3.2 Οι δύο μορφές της ομοιότητας: Εσωτερική-εξωτερική ομοιότητα των φυσικών φαινομένων**

Η Sterrett αντιλαμβάνεται την έννοια της φυσικής ομοιότητας ως εξέλιξη της έννοιας της γεωμετρικής ομοιότητας και την ορίζει ως αναλογία σχέσεων μεταξύ συγκεκριμένων φυσικών ποσοτήτων μεταξύ δύο φυσικών συστημάτων, εκ των οποίων το ένα αποτελεί το υπό εξέταση σύστημα ενώ το άλλο το μοντέλο αναλογίας που έχει επιλεγεί ή κατασκευαστεί προκειμένου να οδηγήσει σε συμπεράσματα για το πρώτο. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική και καινοτόμος για τα πεδία της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης, καθώς μέσω αυτής η φιλόσοφος εξετάζει σε βάθος έννοιες και μηχανισμούς που μέχρι τότε δεν είχαν προσεγγισθεί επαρκώς από τα προαναφερθέντα πεδία.

Ωστόσο, παρατηρούμε ότι η Sterrett προσεγγίζει τον μηχανισμό της ομοιότητας ως μηχανισμό κλίμακας μεταξύ δυο διαφορετικών συστημάτων, φαινομένων ή φυσικών διατάξεων, ίδιας ή διαφορετικής κλίμακας, υπό το πρίσμα της ίδιας υπόθεσης. Για παράδειγμα, η Sterrett εξέτασε εκτενώς τα μοντέλα κλίμακας που αξιοποιούνται στη μηχανική, όπως τα μοντέλα κλίμακας πλοίων που αξιοποιήθηκαν από τον Froude, που κατασκευάζονται και τίθενται σε πειραματική εφαρμογή προκειμένου να οδηγήσουν σε συμπεράσματα αναφορικά με τη λειτουργία πλοίων πλήρους μεγέθους. Επίσης, στην περίπτωση εξέτασης της ιπτάμενης μηχανής των αδελφών Wright, η φιλόσοφος εξέτασε το ίδιο επί της ουσίας σύστημα υπό το πρίσμα διαφορετικών υποθέσεων και μίλησε αντιστοίχως για την απόλυτη δομική ομοιότητα, δηλαδή την αντιγραφή, αλλά και για άλλες μορφές ομοιότητας όπως για την ομοιότητα ως προς την λειτουργία, ως προς την ιστορική σημασία της πτήσης κ.α. Στις δύο αυτές περιπτώσεις η ομοιότητα ορίστηκε με κριτήρια που τοποθετούνται έξω από τα προς εξέταση φαινόμενα ή συστήματα, η οποία αποτελεί την εξωτερική ομοιότητα που αντιστοιχεί στην

ομοιότητα διαφορετικών φαινομένων της ίδιας κλίμακας (Καναβούρας και συν, 2021: 212). Η προσέγγιση της Sterrett επικεντρώνεται σε αυτή τη μορφή ομοιότητας. Σε αυτό το σημείο προκύπτει το ερώτημα: τι είδους ομοιότητα υφίσταται, εντοπίζεται και οδηγεί σε συμπεράσματα για διαφορετικές κλίμακες του ίδιου φαινομένου ή του ίδιου συστήματος; Διαφορετικά, τι ομοιότητα υφίσταται μεταξύ ενός υποσυστήματος, δηλαδή του μέρους, και όλου του συστήματος, δηλαδή του όλου;

Για να γίνει πιο σαφές το συγκεκριμένο ερώτημα θα αξιοποιήσουμε ως παράδειγμα μια έρευνα που υλοποιήθηκε από το 2003-2008 στο τμήμα Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής της χημικού Κουφοπούλου Σοφίας (Κουφοπούλου, 2008). Βασικός στόχος της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η εξέταση της επίδρασης ενός μακράς διάρκειας επιβραδυντή που χρησιμοποιείται ευρέως στην καταστολή και πρόληψη πυρκαγιών σε στραγγίσματα από τυπικό μεσογειακό δασικό έδαφος, με και χωρίς βλάστηση και στην περίπτωση δασικού εδάφους με βλάστηση και φωτιά (Κουφοπούλου, 2008). Το πειραματικό μέρος της συγκεκριμένης έρευνας περιλάμβανε την προσομοίωση πυρκαγιάς και βροχοπτώσεων σε δείγματα δένδρων και εδάφους, με και χωρίς βλάστηση, που είχε ληφθεί από τη δασική έκταση της Πεντέλης, άλλοτε με την εφαρμογή του επιβραδυντή και άλλοτε χωρίς την εφαρμογή του. Η τεχνική αυτή επέτρεψε την προσομοίωση των χαρακτηριστικών του πεδίου σε εργαστηριακή κλίμακα και συγκεκριμένα της τεχνικής βροχοπτώσης, καύσης δασικής ύλης, εφαρμογής επιβραδυντή, λήψης στραγγισμάτων από συγκεκριμένο βάθος εδάφους. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων προέκυψε ότι η εφαρμογή του επιβραδυντή σε δασικό έδαφος επηρεάζει την ποιότητα των υπογείων νερών, είτε μέσω απορροής των συστατικών του επιβραδυντή, είτε λόγω ιοντοανταλλαγής αυτών με ιόντα του εδάφους (Κουφοπούλου, 2008). Επί της ουσίας, η Κουφοπούλου προκειμένου να οδηγηθεί σε συμπεράσματα για τις επιπτώσεις στο περιβάλλον από τη χρήση των επιβραδυντών που χρησιμοποιούνται για την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών σε δασικές εκτάσεις της ευρύτερης περιοχής της μεσογείου αλλά και αναφορικά με την ποιότητα των υπογείων νερών μετά την εφαρμογή των εν λόγω επιβραδυντών, διεξήγαγε τα πειράματά της σε μέρος της δασικής έκτασης για το σύνολο της οποίας ήθελε να οδηγηθεί σε συμπεράσματα. Εξέτασε, δηλαδή,

πειραματικά ένα μέρος των φαινομένων (την επίπτωση από τη χρήση επιβραδυντών με προσομοιώσεις βροχόπτωσης και καύσης των δενδρυλλίων) αλλά και του συστήματος του ενδιαφέροντός της. Πιο συγκεκριμένα αξιοποίησε την ομοιότητα προκειμένου να μεταφέρει τη γνώση που απέκτησε για μια συγκεκριμένη κλίμακα μελέτης φαινομένων ενός συστήματος, δηλαδή των συγκεκριμένων φαινομένων στο συγκεκριμένο υπό εξέταση τμήμα δασικής έκτασης που αξιοποιήθηκε πειραματικά, σε μια άλλη κλίμακα μελέτης των ίδιων φαινομένων και του ίδιου συστήματος, δηλαδή σε ολόκληρη τη δασική έκταση. Η μορφή ομοιότητας που αξιοποιήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα δεν είναι η ίδια με τη μορφή ομοιότητας που εξέτασε η Sterrett, δηλαδή με την ομοιότητα σχέσεων φυσικών ποσοτήτων δύο διαφορετικών φυσικών φαινομένων ή δύο διαφορετικών φυσικά όμοιων συστημάτων αλλά η ομοιότητα μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων του ίδιου συστήματος ή φαινομένου.

Οι Κουτελιέρης, Θεολόγου και Καναβούρας ονόμασαν αυτή τη μορφή ομοιότητας «εσωτερική ομοιότητα» και την όρισαν ως το χαρακτηριστικό που μεταφέρει τη γνώση μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων του ίδιου φαινομένου, διακρίνοντάς την από την εξωτερική ομοιότητα που παραπέμπει στην προσέγγιση της έννοιας της ομοιότητας από τη Sterrett και αντιστοιχεί στην ομοιότητα διαφορετικών φαινομένων της ίδιας κλίμακας (Καναβούρας και συν, 2021: 210-213). Σύμφωνα με το άρθρο τους Περιγραφή της εσωτερικής ομοιότητας των φυσικών φαινομένων, «Η εσωτερική ομοιότητα επιτρέπει στους επιστήμονες να αναγάγουν προς το όλον τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το δείγμα αλλά και να επιλέξουν το δείγμα έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό του όλου» (Καναβούρας και συν, 2021: 212-213).

Η παρατήρηση αυτή είναι ιδιαίτερος σημαντική καθώς αναδεικνύει και μια δεύτερη μορφή ομοιότητας που αξιοποιείται εκτενώς στη σύγχρονη επιστήμη, συμπληρώνοντας την τόσο καλά τεκμηριωμένη θεώρηση της Sterrett και ενισχύοντας την προσπάθεια θεωρητικής τεκμηρίωσης της έννοιας της ομοιότητας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Από το παράδειγμα της έρευνας της Κουφοπούλου που εξετάσαμε προκύπτει ότι η εσωτερική ομοιότητα δεν αποτελεί χαρακτηριστικό μόνο των φαινομένων, αλλά και των φυσικών συστημάτων. Επομένως, είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι η έννοια της εσωτερικής ομοιότητας μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες κατηγορίες φαινομένων

αλλά και στα φυσικά συστήματα. Η εσωτερική ομοιότητα μπορεί κατά τη διάρκεια ενός πειράματος να αναφέρεται ταυτόχρονα και στο προς εξέταση φαινόμενο, όπως λόγω χάρη στην επίδραση του συγκεκριμένου επιβραδυντή κατά την καύση σε διαφορετικές κλίμακες, αλλά και σε συγκεκριμένο φυσικό σύστημα, όπως για παράδειγμα η ομοιότητα μεταξύ μέρους και όλου της δασικής περιοχής. Επίσης, η «εξωτερική ομοιότητα» στην προσέγγιση των Κουτελιέρη, Θεολόγου και Καναβούρα εξετάζεται σε επίπεδο φαινομένων και ορίζεται βάσει αυτών ως ο μηχανισμός μεταφοράς γνώσης από ένα φαινόμενο σε άλλο φαινόμενο της ίδιας κλίμακας. Εδώ θα πρέπει να επιστημονοποιήσουμε ότι αυτό πιθανόν να ισχύει αναφορικά με τα φυσικά φαινόμενα, στη μηχανική, όμως, η εξωτερική ομοιότητα μπορεί να γίνει αντιληπτή ως μηχανισμός κλίμακας από μια φυσική διάταξη σε μια άλλη διαφορετικής κλίμακας διαστάσεων, κατά τη θεώρηση της Sterrett, όπως προκύπτει και από τα πειράματα στα μοντέλα πλοίων του Froude.

Στο πλαίσιο αυτό οι έννοιες της εσωτερικής και της εξωτερικής ομοιότητας μπορεί να ορίστηκαν αρχικά από τους Κουτελιέρη, Θεολόγου και Καναβούρα αναφορικά με την εξέταση των φυσικών φαινομένων, ο ορισμός τους, όμως, μπορεί και πρέπει να γενικευθεί κατά τέτοιον τρόπο ώστε να περιγράφεται και η αξιοποίησή τους κατά τη μελέτη άλλων κατηγοριών φαινομένων αλλά και κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας φυσικών συστημάτων, μηχανικών συστημάτων κ.ο.κ. Η γενίκευση του ορισμού της εσωτερικής και εξωτερικής ομοιότητας κρίνεται σημαντική καθώς θα συμβάλλει στην επαρκέστερη κατανόηση των δύο αυτών εννοιών, στην περιγραφή των δυνατοτήτων των εν λόγω μηχανισμών κατά την πειραματική τους αξιοποίηση αλλά θα οδηγήσει και σε μια σφαιρικότερη κατανόηση της έννοιας της ομοιότητας. Σε μια προσπάθεια επέκτασης του ορισμού των εννοιών υποστηρίζεται ότι:

**η εξωτερική ομοιότητα θα μπορούσε να οριστεί ως η σχέση αναλογίας μεταξύ συγκεκριμένων ποσοτήτων από το ένα φαινόμενο ή σύστημα στο άλλο ενώ η εσωτερική ομοιότητα ως ο μηχανισμός κλίμακας από ένα μέρος ενός φαινομένου ή ένα δείγμα ενός συστήματος (μοντέλο) στο όλον του φαινομένου ή του συστήματος που αποτελεί το σύστημα στόχο στην παρούσα περίπτωση.**

Αποσκοπώντας στη διατύπωση ενός ορισμού της έννοιας της ομοιότητας που να ανταποκρίνεται και στις δύο αυτές μορφές ομοιότητας υποστηρίζεται ότι:

η ομοιότητα είναι η σχέση αναλογίας συγκεκριμένων (φυσικών) ποσοτήτων μεταξύ δύο ή περισσότερων φυσικών συστημάτων ή φαινομένων που λειτουργεί ως βασικός μηχανισμός κλίμακας είτε μεταξύ διαφορετικών (φυσικών) φαινομένων ή συστημάτων υπό το πρίσμα της ίδιας υπόθεσης, είτε του ίδιου φαινομένου ή συστήματος υπό το πρίσμα διαφορετικών υποθέσεων (εξωτερική) είτε μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων του ίδιου του φαινομένου ή συστήματος υπό το πρίσμα της ίδιας υπόθεσης (εσωτερική), με βασικό σκοπό εφαρμογής του την εξαγωγή συμπερασμάτων από το ένα σύστημα που λειτουργεί ως μοντέλο στο άλλο σύστημα που αποτελεί το σύστημα στόχο.

Η διάκριση της ομοιότητας σε εξωτερική και εσωτερική αποτελεί σημαντική συμβολή στη φιλοσοφική προσέγγιση της έννοιας, ικανή να συμβάλλει στην επαρκέστερη κατανόηση και τον σαφέστερο ορισμό του σημαντικού αυτού πειραματικού μηχανισμού που αξιοποιείται ευρέως στη σύγχρονη πειραματική πρακτική.

### **3.3 Το ζήτημα της επιλογής των κριτηρίων εντοπισμού και επιβεβαίωσης της εσωτερικής ομοιότητας: Το εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης των φυσικών φαινομένων βάσει της εσωτερικής ομοιότητας, matrix**

Ένα από τα ζητήματα που εξέτασε η Sterrett, όπως αναφέρθηκε και στις ενότητες 2.3 και 2.4, ήταν ο τρόπος επιλογής των κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ των δύο συστημάτων. Ενώ η ίδια αναφέρθηκε στους τρεις τρόπους που συνήθως αξιοποιούνται κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας μεταξύ του μοντέλου και του συστήματος στόχου, δηλαδή στην αξιοποίηση μίας κοινής εξίσωσης, στον εντοπισμό κοινών χαρακτηριστικών βάσει των γνώσεων και των επιλογών του ερευνητή ή στην εφαρμογή της μεθόδου των φυσικά όμοιων συστημάτων μέσω της ανάλυσης διαστάσεων (Sterrett, 2017 (a): 869-872), φαίνεται να δίνει περισσότερη έμφαση στην κατανόηση των συνθήκων ομοιότητας που θα επιτρέψουν την κατασκευή και τη λειτουργία του μοντέλου. Εστιάζει, δηλαδή, περισσότερο «στη διορατική χρήση των γνώσεων του ερευνητή» κατά τον καθορισμό των αρχών ομοιότητας, κρίνοντας ότι επαρκούν για την κατασκευή και την εφαρμογή του και όχι τόσο στην κατασκευή των πιο λεπτομερών μοντέλων και στην αξιοποίηση των πιο λεπτομερών εξισώσεων (Sterrett, 2006: 78-79). Επομένως, η φιλόσοφος κρίνει σημαντικότερες τις γνώσεις



και τις μεθοδολογικές επιλογές του επιστήμονα αναφορικά με τις βασικές ποσότητες του προς εξέταση συστήματος ή φαινομένου, που εμπίπτουν στο ερευνητικό ενδιαφέρον, παρά κάποια συγκεκριμένη εξίσωση.

Σε αυτό το σημείο, όμως, προκύπτει ένα βασικό ερώτημα: αποτελεί ασφαλή τρόπο προσδιορισμού της ομοιότητας η επιλογή κριτηρίων βάσει των γνώσεων ή των μεθοδολογικών επιλογών του εκάστοτε ερευνητή; Τι γίνεται στην περίπτωση που τα εμπειρικά κριτήρια δεν είναι κατάλληλα; Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα της πειραματικής εφαρμογής του μοντέλου, όπως γίνεται αντιληπτό είτε δε θα είναι τα επιθυμητά είτε θα είναι εσφαλμένα και κατ' επέκταση δε θα εξυπηρετούν την ερευνητική υπόθεση. Σε αυτό το πλαίσιο, υποστηρίζεται η άποψη κατά την οποία τα κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας, όταν αυτό εφικτό, δε θα πρέπει να καθορίζονται από τον ανθρώπινο παράγοντα, δηλαδή από τον ερευνητή που σχεδιάζει και εκτελεί το πείραμα, αλλά θα πρέπει να είναι πιο αυστηρά. Τα κριτήρια αυτά θα πρέπει να προσδιορίζονται βάσει κάποιας μαθηματικής μεθόδου, η οποία να περιορίζει την πιθανότητα σφάλματος που μπορεί να οφείλεται στη μερική γνώση ή τις όχι τόσο κατάλληλες επιλογές του ερευνητή. Τα αυστηρά κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας είναι ικανά να εξασφαλίσουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην περιγραφή, εξήγηση, πρόβλεψη αναφορικά με ένα υπό εξέταση σύστημα και κατ' επέκταση την αποτελεσματική πειραματική εφαρμογή του επιστημονικού μοντέλου.

Επίσης, στην περίπτωση των μοντέλων κλίμακας των οποίων η επιστημονικότητα έχει αμφισβητηθεί, η εφαρμογή αυστηρών μαθηματικών κριτηρίων κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας ενός μοντέλου κλίμακας με το υπό διερεύνηση σύστημα προσδίδει επιπλέον επιστημονική αξία στην συγκεκριμένη τεχνική και ενισχύει στην επιχειρηματολογία υπέρ της επιστημονικότητας της. Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει, βέβαια, να επισημανθεί ότι σε περιπτώσεις που ένα μοντέλο πρέπει να αξιοποιηθεί άμεσα και δεν υπάρχει χρόνος ή τρόπος αυστηρού προσδιορισμού κριτηρίων, κρίνεται προτιμότερη έστω και η εμπειρική κατασκευή ή η επιλογή και χρήση του μοντέλου από την απουσία αυτής της τεχνικής από την πειραματική διαδικασία. Σε αυτές τις περιπτώσεις, δηλαδή, μπορεί να επιλεγεί ή να κατασκευαστεί ένα μοντέλο βάσει εμπειρικών κριτηρίων και να αξιοποιηθεί επιστημονικά, αλλά τα αποτελέσματά του θα είναι περισσότερο επισφαλή. Επομένως, τα αυστηρά κριτήρια προσδιορισμού της

ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και υπό εξέταση συστήματος αποτελούν την ενδεδειγμένη οδό προκειμένου η αξιοποίηση του μοντέλου να είναι αποτελεσματική, να χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ακρίβεια και μικρότερο ρίσκο, όταν όμως δεν υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού αυστηρών κριτηρίων η εμπειρική επιλογή μοντέλων κρίνεται προτιμότερη από την απουσία τους κατά τον πειραματισμό.

Ένα εύλογο ερώτημα που προκύπτει είναι πώς μπορεί να προσδιοριστεί η ομοιότητα με αυστηρό μαθηματικό τρόπο; Υπάρχουν παραδείγματα μεθοδολογιών ή εργαλείων που επιτυγχάνουν τον αυστηρό προσδιορισμό της ομοιότητας μεταξύ διαφορετικών φυσικών συστημάτων ή μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων του ίδιου συστήματος; Ένα παράδειγμα μαθηματικής μεθόδου που συμβάλλει στον προσδιορισμό της εσωτερικής ομοιότητας των φαινομένων με αυστηρά κριτήρια είναι το εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης “Matrix” που εισήχθη στη βιβλιογραφία από τους Κουτελιέρη και Καναβούρα (Coutelieris, F. A. et al., 2016(a): Vol.36(4), 2241-2245, 2018: 81-95· Καναβούρας και συν, 2021: 210-223). Στην προσπάθεια διαχείρισης της γνώσης περί τα φυσικά φαινόμενα μέσω του προσδιορισμού και της αξιοποίησης της εσωτερικής ομοιότητας των φυσικών φαινομένων, οι Κουτελιέρης και Καναβούρας επινόησαν και πρότειναν μια αυστηρή μαθηματική μεθοδολογία, η οποία καταλήγει σε ένα εργαλείο, το matrix (Coutelieris, F. A. et al., 2016: Vol.36(4), 2241-2245, 2018: 81-95· Καναβούρας και συν, 2021: 210-223). Σύμφωνα με τους Κουτελιέρη και Καναβούρα, προκειμένου να εντοπιστεί η εσωτερική ομοιότητα θα πρέπει να έχει κατηγοριοποιηθεί η υφιστάμενη γνώση αναφορικά με το φαινόμενο του ενδιαφέροντος, πάντα υπό το πρίσμα της υπό έλεγχο ερευνητικής υπόθεσης. Οι Καναβούρας, Θεολόγου και Κουτελιέρης επισημαίνουν:

«Κατά τη γνώμη μας, το πρόβλημα του εντοπισμού της ομοιότητας θα πρέπει να ανάγεται στο αντίστοιχο πρόβλημα του προσδιορισμού κριτηρίων, ισχυρών και αυστηρών, που να εξασφαλίζουν πως η ομοιότητα που αναζητείται, υπάρχει πράγματι. Λανθασμένα ή όχι επαρκώς αυστηρά κριτήρια, συνήθως οδηγούν την έρευνα σε λανθασμένα συμπεράσματα, καθώς επιτρέπουν σχετικά αυθαίρετες αναγωγές κλιμάκων, παραμέτρων αλλά και συμπερασμάτων. Μέχρι σήμερα, ο καθορισμός αυτών των κριτηρίων ομοιότητας γίνεται συνήθως με εμπειρικό

τρόπο και ακολουθώντας τη χρονική εξέλιξη της γνώσης περί το υπό μελέτη φαινόμενο» (Καναβούρας και συν, 2021: 212).

Η συγκεκριμένη τοποθέτηση έρχεται σε αντίθεση με την άποψη της Sterrett κατά την οποία ορισμένες φορές η μερική γνώση του υπό εξέταση φαινομένου είναι αρκετή για τη μοντελοποίησή του. Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη και τους τρεις τρόπους επιλογής κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας στους οποίους αναφέρθηκε η Sterrett, θα πρέπει να διαχωριστεί η θέση που υιοθετείται αναφορικά με το ζήτημα στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας. Συγκεκριμένα, το ότι η Sterrett και ενδεχομένως αρκετοί φιλόσοφοι της επιστήμης θεωρούν ότι η εμπειρία και οι γνώσεις του ερευνητή επαρκούν για τον προσδιορισμό της ομοιότητας κατά την πειραματική αξιοποίησή της, αυτό δε συνεπάγεται ότι ο καθορισμός των κριτηρίων ομοιότητας γίνεται συνήθως με εμπειρικό τρόπο. Αντιθέτως, σε πολλές περιπτώσεις μοντελοποίησης η ομοιότητα ορίζεται με αυστηρά μαθηματικά κριτήρια. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα μοντέλα προσομοίωσης, τα μοντέλα δεδομένων, πολλές υποκατηγορίες μοντέλων αναλογίας κ.α. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις και σε πολλές ακόμα, η μαθηματική τεκμηρίωση της ομοιότητας αποτελεί καθοριστικό στάδιο κατά την αξιοποίηση του μοντέλου. Στο πλαίσιο της εξέτασης του συγκεκριμένου ζητήματος, λοιπόν, δεν υιοθετείται ούτε η θέση της Sterrett ούτε η θέση των Κουτελιέρη, Θεολόγου και Καναβούρα. Για να τεθεί διαφορετικά το συγκεκριμένο ζήτημα, στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, η γνώση αναφορικά με τα μοντέλα αναλογίας και την αξιοποίηση του βασικού μηχανισμού λειτουργίας αυτών βρίσκεται σε ένα αρκετά πρώιμο στάδιο διερεύνησης. Επομένως, ορισμένοι φιλόσοφοι της επιστήμης πιθανόν να αποδέχονται περισσότερο τον εμπειρικό προσδιορισμό της ομοιότητας κατά την αξιοποίηση των μοντέλων και να μην εστιάζουν ή να μην έχουν διερευνήσει επαρκώς μέχρι σήμερα πιο αυστηρούς τρόπους προσδιορισμού της ομοιότητας. Να μην έχουν, δηλαδή, μελετήσει εκτενώς το ζήτημα της αξιοποίησης αυστηρών, μαθηματικών κριτηρίων προσδιορισμού της εσωτερικής ή εξωτερικής ομοιότητας των φυσικών φαινομένων ή συστημάτων. Αυτό, όμως, δε συνεπάγεται ότι τα μαθηματικά κριτήρια δε χρησιμοποιούνται κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας στην πειραματική πρακτική αλλά ότι αυτά δεν έχουν διερευνηθεί και τεκμηριωθεί θεωρητικά από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Σε αυτό το πλαίσιο, η φιλοσοφική προσέγγιση των μαθηματικών κριτηρίων προσδιορισμού

της εσωτερικής ομοιότητας των Κουτελιέρη, Θεολόγου και Καναβούρα αποτελεί ένα σημαντικό καινοτόμο στοιχείο της έρευνάς τους για το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης καθώς επίσης και ένα από τα καινοτόμα στοιχεία της παρούσας διατριβής που μέσω του συγκεκριμένου και του επόμενου υποκεφαλαίου επιδιώκει την επαρκέστερη περιγραφή της εφαρμογής αυστηρών μαθηματικών κριτηρίων αλλά και τεχνικών προσδιορισμού της εσωτερικής και εξωτερικής ομοιότητας των φυσικών φαινομένων και συστημάτων.

Οι Κουτελιέρης και Καναβούρας παρουσιάζουν μια μαθηματική θεώρηση που αποσκοπεί στην υιοθέτηση αυστηρών κριτηρίων, τα οποία να οδηγούν στον ασφαλή προσδιορισμό της εσωτερικής ομοιότητας. Η θεώρηση αυτή βασίζεται σε θεμελιώδεις έννοιες της Γραμμικής Άλγεβρας και κυρίως στους διανυσματικούς χώρους και τις απεικονίσεις και καταλήγει στο εργαλείο matrix (Καναβούρας και συν, 2021: 212-213). Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής θα περιοριστούμε στη θεωρητική περιγραφή της μεθοδολογίας αυτής ως συνέχειας στη θεώρησης της Sterrett, χωρίς να αναφερθούμε στο μαθηματικό τμήμα που τεκμηριώνει τη λειτουργία του εργαλείου matrix.

Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται η λειτουργία του matrix είναι ότι τα ορατά φαινόμενα μπορούν να μελετηθούν μέσω της παρατήρησης ή μέσω μαθηματικών προσομοιώσεων, εστιάζοντας στις συνοχές μεταξύ των συστημικών ποσοτήτων (μεταβλητών, παραμέτρων κ.λπ.) και όχι στις ποσότητες (Coutelieris et al., 2016(b): 2241-2244). Σύμφωνα με την προσέγγιση των Κουτελιέρη και Καναβούρα, το matrix αναπαριστά τον κύκλο της κατανόησης ενός φαινομένου (Coutelieris et al., 2016(b): 2241-2244). Βασική επιδίωξη της εφαρμογής του matrix είναι η μείωση της επίδρασης του ανθρώπινου παράγοντα στον κύκλο της κατανόησης του υπό εξέταση φαινομένου, που επιτυγχάνεται μέσω της ταξινόμησης των υφιστάμενων γνώσεων σχετικά με το συγκεκριμένο φαινόμενο, υπό το πρίσμα μιας εν δυνάμει διαψεύσιμης υπόθεσης (Coutelieris et al, 2016(b): 2241-2244). Η υπό έλεγχο υπόθεση οφείλει να είναι εν δυνάμει διαψεύσιμη ώστε να μπορεί να θεωρηθεί επιστημονική.

Σύμφωνα με τους Κουτελιέρη και Καναβούρα, ο κύκλος κατανόησης ενός φαινομένου απεικονίζεται στον πίνακα 1. Η αντίληψη ενός φυσικού φαινομένου από τους επιστήμονες αντιστοιχεί στις πρώτες δύο γραμμές του πίνακα 1 ("Ο κόσμος των φαινομένων" και "Επιστημονική γνώση"), στις οποίες

συμπεριλαμβάνονται τα απαραίτητα δεδομένα που θα επιτρέψουν την περιγραφή των φαινομένων που πρόκειται να αναπαραχθούν στο πλαίσιο της έρευνας (Coutelieris et al., 2016(b): 2243-2244). Στο πρώτο στάδιο, δηλαδή, του κύκλου κατανόησης ενός φαινομένου συγκεντρώνεται και μελετάται η υπάρχουσα γνώση αναφορικά με το φαινόμενο του ενδιαφέροντος. Οι ακόλουθες δύο γραμμές (η "ομοιότητα της γνώσης" και η "κατηγοριοποίηση της γνώσης") αντιστοιχούν στις προϋποθέσεις για την αναγνώριση των κενών γνώσης μέσω της κατηγοριοποίησης των υφιστάμενων γνώσεων, που πρέπει να πληρούνται για να οδηγήσουν στον σχεδιασμό και τη διεξαγωγή του πειράματος που αντιστοιχεί στις δύο τελευταίες γραμμές ("Πειραματικός σχεδιασμός" και "Πειραματική Μηχανική") (Coutelieris et al., 2016(b): 2243-2244). Κατά το δεύτερο στάδιο, σύμφωνα με τον πίνακα κατηγοριοποιούνται οι υπάρχουσες γνώσεις και εντοπίζονται τα υπάρχοντα κενά, δηλαδή ζητήματα που δεν έχουν εξεταστεί αναφορικά με το υπό εξέταση φαινόμενο και για τα οποία δεν υπάρχουν οι αντίστοιχες πληροφορίες. Τα κενά αυτά οδηγούν σε διατύπωση σχετικών ερευνητικών υποθέσεων και αναδεικνύουν τις νέες κατευθύνσεις της ερευνητικής διαδικασίας, υποδεικνύοντας και τους κατάλληλους τρόπους προσέγγισης της νέας γνώσης ανάλογα πάντα με τη φύση του ερωτήματος ή τη μορφή της γνώσης που απαιτείται για να καλύψει το υπάρχον κενό. Επομένως, η συγκέντρωση και κατηγοριοποίηση της υπάρχουσας γνώσης που προκύπτει από της προηγούμενες έρευνες και θεωρίες αναφορικά με το φαινόμενο του ενδιαφέροντος αποτελούν σημαντικά στάδια της έρευνας των φαινομένων, τα οποία καθορίζουν τον σχεδιασμό και τη διεξαγωγή του πειραματισμού.

	Είσοδος	Διαδικασία	Έξοδος
Ο κόσμος των φαινομένων	Κατηγορίες	Υπόθεση	Συστήματα
Επιστημονική γνώση	Μετρήσεις	Γνώση	Φαινόμενα
Ομοιότητα της γνώσης	Κριτήρια	Ομοιότητα	Κανόνες/Νόμοι
Κατηγοριοποίηση Της γνώσης	Τιμές και γνώση	Κατηγοριοποίηση	A-priori συνδυασμοί
Πειραματικός σχεδιασμός	Συνθήκες	Τάξεις/Κατηγορίες	Ανομοιότητες
Πειραματική Μηχανική	Μαθηματικά	Πειραματισμός	Τιμές και παράμετροι

**Πίνακας 1:** Συνοπτική παρουσίαση της διαδικασίας κατανόησης των φυσικών φαινομένων (Coutelieris et al, 2016(b): 2243).

Επίσης, στον πίνακα 1 περιγράφονται δύο μεταβάσεις που συμβαίνουν κατά τη διαδικασία του πειραματισμού, η μετάβαση από την εμπειρία στην τεχνολογία, μέσω της ταξινόμησης των υφιστάμενων γνώσεων και η μετάβαση από την τεχνολογία στην τεχνική, μέσω του πειραματικού σχεδίου. Η πρώτη μετάβαση είναι το σημείο εκκίνησης του σχεδιασμού της πειραματικής διαδικασίας, ενώ η δεύτερη υποστηρίζει την πρακτική εκτέλεση του πειράματος (Coutelieris et al., 2016(b): 2243-2244). Ο κοινός παράγοντας στις δύο αυτές διαδικασίες είναι ο άνθρωπος που αντιλαμβάνεται το φαινόμενο, κατηγοριοποιεί την υπάρχουσα γνώση, εντοπίζει τις ελλείψεις, ανιχνεύει την εσωτερική και εξωτερική ομοιότητα του φαινομένου και ενσωματώνει όλα τα παραπάνω στοιχεία στον κατάλληλο πειραματικό σχεδιασμό πριν από την επιλογή των δεδομένων και των τεχνολογικών μέσων για την ενδεχόμενη κάλυψη των προαναφερθεισών ελλείψεων (Coutelieris et al., 2016(b): 2243-2244).

Το matrix θα μπορούσε να γίνει αντιληπτό ως ένα θεωρητικό εργαλείο, ως μια βάση δεδομένων που κατηγοριοποιεί την υπάρχουσα γνώση αναφορικά με ένα υπό εξέταση φυσικό φαινόμενο βάσει της εσωτερικής ομοιότητας διαφορετικών κλιμάκων του φαινομένου, πάντα υπό το πρίσμα μιας διαψεύσιμης υπόθεσης. Το κάθε πλήρως ή μερικώς συμπληρωμένο matrix αντιστοιχεί σε ένα state, δηλαδή σε μια κατάσταση που περιγράφει ένα υπό εξέταση φαινόμενο του φυσικού, επιστητού, Νευτώνειου κόσμου και την ερευνητική υπόθεση υπό το πρίσμα της

οποίας εξετάζουμε το φαινόμενο. Το σχήμα κατηγοριοποίησης θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει το σύνολο των δυνατοτήτων της υπόθεσης για το υπό διερεύνηση σύστημα και να αναδεικνύει τα όρια του συστήματος (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 87). Η αξιοποίηση του matrix δεν αποσκοπεί μόνο στην απλή περιγραφή του προς εξέταση φαινομένου, αλλά και στην εξαγωγή συμπερασμάτων, στον εντοπισμό χαρακτηριστικών και σχέσεων που θα επιτρέπουν την πρόβλεψη, στον έλεγχο του συστήματος καθώς και στην ανάδειξη των αναγκών για νέα γνώση, βάσει της αυστηρής δομής του εργαλείου. Το matrix, λοιπόν, δεν είναι ένα εργαλείο μόνο περιγραφής αλλά και πρόβλεψης (Coutelieris et al, 2016(b): 2242-2244).

Το matrix έχει αυστηρούς κανόνες συμπλήρωσης, συγκεκριμένα στάδια λειτουργίας, η μεθοδολογία του διέπεται από τις αρχές του ντετερμινισμού και ο βασικός σκοπός λειτουργίας του είναι η ταξινόμηση της υπάρχουσας γνώσης περί το υπό εξέταση φαινόμενο μέσω συγκεκριμένων περιγραφών (categorical descriptors) αλλά και η ανάδειξη των υπαρχόντων κενών γνώσης αναφορικά με το φαινόμενο (Coutelieris et al, 2016(b): 2241-2244). Το matrix αποδίδεται με μορφή πίνακα απαρτιζόμενου από 12 κελιά. Δομείται βάσει τεσσάρων περιγραφών (γραμμές του πίνακα) που τοποθετούνται στο αριστερό μέρος του πίνακα και τριών επιπέδων που τοποθετούνται στον πάνω οριζόντιο άξονα (στήλες πίνακα), όπως φαίνεται και στον πίνακα 2 (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 88). Οι κατηγορίες αποτελούν τα κύρια συστημικά περιγραφικά στοιχεία και οι περιγραφείς είναι οι τιμές που παίρνει η κάθε κατηγορία για το συγκεκριμένο matrix. Οι τέσσερις βασικές κατηγορίες περιγραφής που έχουν προταθεί από τους Κουτελιέρη και Καναβούρα για εξέταση φαινομένων στον Νευτώνειο κόσμο είναι matter, energy, relationship και outcome, στηριζόμενοι στην άποψη κατά την οποία όλες οι πιθανές προσλήψεις ενός φαινομένου περιγράφονται διά της σχέσεως: matter + energy  $\xrightarrow{\text{relationships}}$  outcome (Kanavouras and Coutelieris, 2017(a): 822, 2017(b): 61, fig.3). Τα επίπεδα που έχουν οριστεί εμπειρικά είναι one, many, all και αναπαριστούν καταστάσεις συγκεκριμένης πολυπλοκότητας, η οποία αυξάνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά. Τα τρία επίπεδα κάθε κατηγορίας αντιστοιχούν σε ένα σύνολο συνθηκών μαζί με ενσωματωμένους τους βαθμούς ελευθερίας (Coutelieris et al, 2016(a): 2246-2257).

Το matrix κατά την εξέταση ενός φαινομένου διαμορφώνεται σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο, δεδομένου ότι η γνώση δεν μπορεί να προηγηθεί της εμπειρίας, ορίζονται οι αρχές και τα εμπειρικά δεδομένα που θα αξιοποιηθούν. Στο δεύτερο στάδιο και αφού έχει επιλεγεί το προς εξέταση φαινόμενο και έχει διατυπωθεί η υπό έλεγχο υπόθεση, ο ερευνητής ορίζει τους περιγραφείς των κατηγοριών, οι οποίοι θα πρέπει να συμπεριλαμβάνουν τις δυνατότητες της υπόθεσης και να προσδιορίζουν τα όρια του συστήματος, καθώς και τα επίπεδα (levels). Το παραδοτέο, δηλαδή, σε αυτό το στάδιο είναι οι κατηγορίες που αποτελούν το σχήμα κατηγοριοποίησης της υπόθεσης, καθώς και τα επίπεδα. Τέλος, το τρίτο στάδιο αποτελεί την αξιοποίηση των δύο προηγούμενων σταδίων για την εξέταση συγκεκριμένου φαινομένου, σε επίπεδο μελέτης περίπτωσης.

Ένα εύλογο ερώτημα που προκύπτει είναι: πώς συμπληρώνεται το matrix; Η συμπλήρωση των κελιών γίνεται με προκαθορισμένη πορεία από πάνω προς τα κάτω και από αριστερά προς τα δεξιά. Όσο κινούμαστε από αριστερά προς τα δεξιά αυξάνεται η πολυπλοκότητα των πληροφοριών που συμπληρώνουν τα αντίστοιχα κελιά, αυξάνεται, δηλαδή, η πολυπλοκότητα της περιγραφής. Κάθε επιμέρους κελί που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη κατηγορία-επίπεδο περιέχει τις ιδιαίτερες συνθήκες για μια συγκεκριμένη συστημική δραστηριότητα (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 88). Υπό αυτή την έννοια, κάθε κελί αποτελεί έναν δυναμικό συντελεστή απόρριψης της υπόθεσης. Επίσης, μεταξύ των 12 κελιών υπάρχουν σχέσεις συνοχής (interfaces) που πρέπει να εντοπιστούν και να εκφραστούν με μαθηματικούς όρους.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙΣ	ΈΝΑ	ΠΟΛΛΑ	ΟΛΑ
ΎΛΗ	Υ <sub>1</sub>	Υ <i>πολλά</i>	Υ <i>όλα</i>
ΕΝΕΡΓΕΙΑ	ΕΝ <sub>1</sub>	ΕΝ <i>πολλά</i>	ΕΝ <i>όλα</i>
ΣΧΕΣΗ	ΣΧ <sub>1</sub>	ΣΧ <i>πολλά</i>	ΣΧ <i>όλα</i>
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΑΠ <sub>1</sub>	ΑΠ <i>πολλά</i>	ΑΠ <i>όλα</i>

**Πίνακας 2:** Το Matrix.



Άλλο ερώτημα είναι: πώς πραγματοποιούνται οι μεταβάσεις από τα κελιά της πρώτης στήλης σε εκείνα της δεύτερης και από τα κελιά της δεύτερης στα κελιά της τρίτης; Κάθε στήλη αναπαριστά μία συγκεκριμένη κατάσταση μέσα στο σύστημα (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 88). Η πρώτη στήλη αναφέρεται σε ένα αντικείμενο, σε μία μεταβλητή, ως το δείγμα που αναπαριστά το σύνολο του συστήματος και λόγω της ομοιότητάς του με το σύνολο του συστήματος επιτρέπει την περιγραφή του ως έναν βαθμό. Αξιοποιώντας έναν νόμο διατήρησης ή και μια συσχέτιση μάζας/ενέργειας, μία μόνο μαθηματική εξίσωση φαίνεται ότι επαρκεί για να περιγράψει τι συμβαίνει στο σύστημα βάσει των πληροφοριών της πρώτης στήλης του Matrix (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 88-89). Η πρώτη στήλη, δηλαδή, αναφέρεται σε μία μεταβλητή που εμπλέκεται σε μία εξίσωση, η οποία παράγεται μέσω της εφαρμογής μιας θεμελιώδους αρχής στο σύστημα, ενώ επιλέγεται μία ποσότητα για να περιγράψει μακροσκοπικά το σύστημα. Επί της ουσίας, η πρώτη στήλη παρέχει ένα πρώιμο ιδανικό αποτέλεσμα που μπορεί να αναπαραστήσει ως έναν βαθμό το σύστημα και η εξίσωση αντιστοιχεί στη μέθοδο επικύρωσης της εσωτερικής ομοιότητας της πρώτης ελάχιστης ποσότητας με την πεπερασμένη μεγαλύτερη ποσότητα της δεύτερης στήλης (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 88-89).

Η μετάβαση από την πρώτη στη δεύτερη στήλη αντιστοιχεί στη μετάβαση από το ένα γεγονός σε ένα πεπερασμένο σύνολο γεγονότων, από τα μονοδιάστατα στα πολυδιάστατα γεγονότα (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 89). Αυτή η διάσταση διανύσματος-χώρου μπορεί να αντιπροσωπεύει τον αριθμό των μεταβλητών που επιλέχθηκαν για να περιγράψουν το σύστημα (ύλη) ή τις λεπτομερείς σχετικά με τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα (ενέργεια/σχέσεις) ή και τα δύο. Σε κάθε περίπτωση, ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων ή αλγεβρικών εξισώσεων παράγεται εφαρμόζοντας τις αντίστοιχες θεμελιώδεις αρχές στο σύστημα, ενώ επιλέγεται μία μόνο παράμετρος για να περιγράψει μακροσκοπικά το σύστημα. Παρόλο που και σε αυτή την περίπτωση ορίζεται ένα μακροσκοπικό αποτέλεσμα, η διαφορά με την πρώτη στήλη εντοπίζεται στο ότι στη δεύτερη ποσότητα συμπεριλαμβάνονται αλληλεπιδράσεις περισσότερων μεταβλητών και παραμέτρων, που διαμορφώνουν ένα σύστημα εξισώσεων, επομένως η ακρίβεια του αποτελέσματος είναι μεγαλύτερη (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 89).

Τέλος, το τρίτο στάδιο αποτελεί την αξιοποίηση των δύο προηγούμενων σταδίων για την περιγραφή του συστήματος σε απεριόριστες διαστάσεις που συνεπάγεται και άπειρο αριθμό μεταβλητών. Σε αυτή την περίπτωση επειδή δεν μπορεί να οριστεί ένα σύστημα εξισώσεων για ποσότητες άπειρων διαστάσεων, σε αυτό το στάδιο πρέπει να εφαρμοστούν άλλου είδους μαθηματικές τεχνικές (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 89).

Για να γίνει περισσότερο κατανοητός ο τρόπος συμπλήρωσης του matrix, θα παραθέσουμε περιγραφικά ένα παράδειγμα, χωρίς να αναφερθούμε στο μαθηματικό κομμάτι, που όπως έχει επισημανθεί τοποθετείται εκτός των ορίων και των στόχων της διατριβής. Ας υποθέσουμε, λοιπόν, ότι εξετάζουμε το φαινόμενο της μετατροπής του μούστου σε συγκεκριμένη ποικιλία κρασιού και μας ενδιαφέρει να ελέγξουμε την ποιότητα του κρασιού. Η υπό έλεγχο υπόθεση, λοιπόν, είναι *Η διαδικασία παραγωγής καλής ποιότητας χ ποικιλίας κρασιού από τον μούστο*. Διατηρώντας τις βασικές κατηγορίες (categorical descriptors) που έχουν προταθεί από τους Κουτελιέρη και Καναβούρα (πίνακας 2) στο πρώτο κελί  $Y_1$  θα μπορούσε να τοποθετηθεί μία τιμή συγκεκριμένης ποσότητας αιθυλικής αλκοόλης, στο κελί  $EN_1$  μία τιμή θερμοκρασίας και στο κελί  $SX_1$  η εξίσωση που περιγράφει την αλκοολική ζύμωση. Στο κελί  $ΑΠ_1$  ορίζεται ένας εμπειρικός δείκτης ποιότητας που θα μπορούσε για παράδειγμα να σχετίζεται με το χρώμα του κρασιού (φασματοσκοπία). Οπότε βάσει του δείκτη ποιότητας στο κελί αυτό προκύπτει ένα πρώιμο αποτέλεσμα αντιπροσωπευτικό του συστήματος αναφορικά με την ποιότητα του κρασιού. Προχωρώντας στη συμπλήρωση της δεύτερης στήλης, το κελί  $Y_{πολλά}$  συμπληρώνεται με περισσότερες αλλά συγκεκριμένες ποσότητες, για παράδειγμα εκτός από την αιθυλική αλκοόλη μπορούν να συμπεριληφθούν και τιμές αναφορικά με το νερό, τα αρωματικά κ.α.. Στο κελί  $EN_{πολλά}$  συμπληρώνονται οι τιμές αναφορικά με τη θερμοκρασία όλων των ποσοτήτων του κελιού  $Y_{πολλά}$  και στο κελί  $SX_{πολλά}$ , συμπληρώνεται το σύστημα εξισώσεων που περιγράφει την αλκοολική ζύμωση. Στο κελί  $ΑΠ_{πολλά}$  ορίζονται και αξιοποιούνται περισσότεροι αλλά πεπερασμένοι δείκτες ποιότητας, όπως για παράδειγμα ένας εμπειρικός δείκτης ποιότητας που θα μπορούσε να σχετίζεται με το χρώμα του κρασιού, ένας δεύτερος δείκτης που να σχετίζεται με το άρωμα (συγκέντρωση αρωματικών) και ένας τρίτος με τη γεύση (συγκέντρωση τανινών, αλκοόλη). Η τρίτη στήλη συμπληρώνεται με όλα τα συστατικά που εμπλέκονται στη διαδικασία της

ζύμωσης του μούστου ( $Υ_{όλα}$ ), για όλες τις πιθανές μορφές ενέργειας ( $ΕΝ_{όλα}$ ) που μπορούν να παραστούν στη διαδικασία παραγωγής κρασιού από τον μούστο και τις σχέσεις ( $ΣΧ_{όλα}$ ) που μπορούν να προκύψουν και στο τέλος ελέγχονται όλα τα πιθανά ποιοτικά χαρακτηριστικά ( $ΑΠ_{όλα}$ ). Η τρίτη στήλη επι της ουσίας απεικονίζει το υπό εξέταση σύστημα σε άπειρες διαστάσεις.

ΣΥΣΤΗΜΙΚΟΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΑΣ	ΕΠΙΠΕΔΟ 1	ΕΠΙΠΕΔΟ 2	ΕΠΙΠΕΔΟ 3
Διάσταση	Ένα	Πεπερασμένο	Άπειρο
Μαθηματική επεξεργασία	Εξίσωση	Σύστημα εξισώσεων	Ασυμπτωτικές ή άλλες οριακές τεχνικές
Μακροσκοπική ποσότητα	Ένα (προκύπτει από τη λύση της εξίσωσης)	Ένα (προκύπτει από τη λύση του συστήματος εξισώσεων)	Ένα (κατάλληλα επιλεγμένο)

**Πίνακας 3:** Μεταγραφή του πίνακα 2 στη γλώσσα των μαθηματικών.

Επίσης, οι Κουτελιέρης και Καναβούρας επισήμαναν ότι η απεικόνιση στο matrix είναι μη γραμμική (non-linear mapping). Οι πληροφορίες, δηλαδή που συμπεριλαμβάνονται στα κελιά και οι σχέσεις μεταξύ τους μπορούν να εξεταστούν από διαφορετικές κατευθύνσεις. Επίσης, το matrix ενός φαινομένου υπό το πρίσμα συγκεκριμένης υπόθεσης δε συμπληρώνεται με μοναδικό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι για ίδιο state, δηλαδή το ίδιο φαινόμενο υπό το πρίσμα της ίδιας υπόθεσης μπορούν να προκύψουν διαφορετικά συμπληρωμένα matrices, τα οποία όμως θα είναι ισοδύναμα όσον αφορά στη γνώση του υπό διερεύνηση φαινομένου, η οποία καθορίζεται από το state. Πιο συγκεκριμένα, σε ένα κελί του πίνακα 2 η επιλεγμένη ποσότητα μπορεί να είναι διαφορετική αναφορικά με συγκεκριμένες παραμέτρους. Αν όλες οι πιθανές διαφορετικές ποσότητες σε ένα κελί είναι απόλυτα ισοδύναμες μεταξύ τους, είναι πιθανό να οδηγήσουν σε εναλλακτικά αλλά ισοδύναμα αποτελέσματα όσον αφορά τη γνώση για το συγκεκριμένο φαινόμενο υπό τη συγκεκριμένη προς διερεύνηση υπόθεση (Coutelieris and Kanavouras, 2018: 89-90).

Δεδομένου ότι ο κύκλος κατανόησης αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο φαινόμενο, οι Καναβούρας και Κουτελιέρης έδειξαν ότι η μεθοδολογία του matrix μπορεί να συμβάλει στην υποστήριξη του υπόβαθρου μιας θεωρίας σχετικής με το

εν λόγω φαινόμενο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της επικύρωσης και της αξιοποίησης της εσωτερικής ομοιότητας από μέρος του φαινομένου για εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με το όλο του φαινομένου. Σημαντική επισήμανση είναι ότι κατά τη συμπλήρωση του matrix, τα ενδιάμεσα στάδια της μετάβασης από το ένα κελί στο άλλο (οι τομές, οι κάθετες γραμμές, τα interfaces) αντιστοιχούν στη νέα γνώση που ανακαλύπτεται στα πλαίσια του ελέγχου συγκεκριμένης επιστημονικής υπόθεσης. Δεν αποτελούν θεωρίες σχετικές με το φαινόμενο αλλά είτε συμπληρώνουν μια υπάρχουσα θεωρία είτε υποστηρίζουν την εγκυρότητα της. Τα τυχόντα κενά κελιά αντιστοιχούν στα κενά γνώσης (Coutelieris et al., 2016(b): 2244). Ένα πλήρως και κατά αποδεκτό τρόπο συμπληρωμένο matrix, που θα έχει συμπληρωθεί σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα 1 και τους κανόνες συμπλήρωσής του, μπορεί να περιγράψει επαρκώς την υλοποίηση ενός υπό εξέταση φυσικού φαινομένου, να συμβάλλει στον εντοπισμό των τομεων στους οποίους θα πρέπει να κατευθυνθεί η έρευνα και να καθοδηγήσει τους ερευνητές προς την ικανοποίηση των ερευνητικών τους ερωτημάτων (Coutelieris et al., 2016(b): 2244).

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η διάκριση της εσωτερικής και εξωτερικής ομοιότητας των φυσικών φαινομένων από τους Καναβούρα και Κουτελιέρη διασαφηνίζει περαιτέρω την έννοια της ομοιότητας, συμπληρώνοντας και επεκτείνοντας την προσεγγιση της Sterrett. Βασικό χαρακτηριστικό του matrix είναι ότι παρέχει τη δυνατότητα αυστηροποίησης των κριτηρίων προσδιορισμού της εσωτερικής ομοιότητας μεταξύ διαφορετικών κλιμάκων του ίδιου φυσικού φαινομένου μέσω των τεσσάρων κατηγοριών περιγραφής, των επιπέδων και των μαθηματικών εξισώσεων που καθορίζουν τις μεταβάσεις από τη μια στηλη στην άλλη, περιορίζοντας τοιούτοτρόπως την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη διαδικασία αυτή. Η εσωτερική ομοιότητα στο πλαίσιο αυτής της μεθοδολογίας προσδιορίζεται βάσει των τεσσάρων κατηγοριών που περιγράφουν μια συγκεκριμένη πτυχή ενός φυσικού φαινομένου, των τριων επιπέδων πολυπλοκότητας ενώ παράλληλα η περιγραφή του φαινομένου σε κάθε επίπεδο εκφράζεται με μια εξίσωση, ένα σύνολο εξισώσεων ή άλλες μαθηματικές τεχνικές και υπό αυτή την έννοια τα κριτήρια προσδιορισμού της είναι συγκεκριμένα, αυστηρά, μαθηματικά κριτήρια (Coutelieris et al., 2016: 2241-2244). Υπό αυτούς τους όρους, ο ρόλος του ερευνητή στη διαδικασία προσδιορισμού της εσωτερικής

ομοιότητας είναι περιορισμένος καθώς το ίδιο το εργαλείο βασει των αυστηρών κανόνων λειτουργίας του επικυρώνει αυτή τη μορφή της ομοιότητας.

Επανερχόμενοι στη διάκριση της ομοιότητας σε εσωτερική και εξωτερική και δεδομένου του ότι το εργαλείο αυτό είναι διαμορφωμένο κατά τρόπο που να συμβάλλει στον εντοπισμό και την αξιοποίηση της εσωτερικής ομοιότητας βάσει αυστηρών κριτηρίων, προκύπτει το ερώτημα: θα μπορούσε το matrix να επεκταθεί, να τροποποιηθεί κατάλληλα ή να αποτελέσει δομικό συστατικό καποιου άλλου εργαλείου που θα μπορούσε να συμβάλλει στον προσδιορισμό της εξωτερικής ομοιότητας με αυστηρά, αντιστοίχως, κριτήρια;

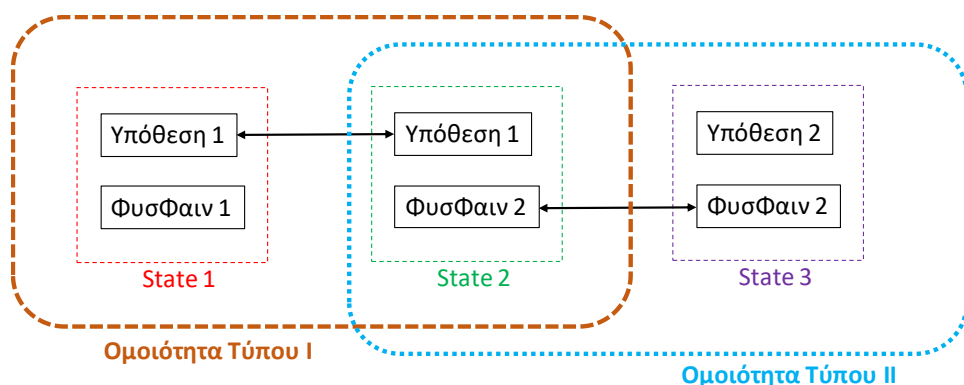
### **3.4 Προτεινόμενο εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης συστημάτων όμοιων φυσικών φαινομένων (ΣυσΟΦΦ) βάσει της εξωτερικής ομοιότητας: Matrix Cube**

Βάσει της θεωρίας της Sterrett αναφορικά με την έννοια της εξωτερικής ομοιότητας των φυσικών συστημάτων και βάσει της προτεινόμενης μεθοδολογίας του εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης των φυσικών φαινομένων που στηρίζεται στην εσωτερική ομοιότητα, matrix, στο πλαίσιο αυτής της διατριβής προτείνεται η επέκταση του εργαλείου matrix και η τροποποίησή του κατά τρόπο που να επιτρέπει τον εντοπισμό και την εξέταση της εξωτερικής ομοιότητας συστημάτων όμοιων φαινομένων με αυστηρά κριτήρια. Στην περίπτωση του προτεινόμενου εργαλείου, όπως και στην περίπτωση του matrix, θα περιοριστούμε στη θεωρητική περιγραφή, θεωρώντας ότι η μαθηματική του τεκμηρίωση θα μπορούσε να αποτελέσει μία από τις προοπτικές μελλοντικής έρευνας που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη διατριβή.

Σύμφωνα με τη θεωρία της Sterrett, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου, η εξωτερική ομοιότητα είναι η αναλογία συγκεκριμένων σχέσεων συγκεκριμένων φυσικών ποσοτήτων από ένα φυσικό φαινόμενο ή σύστημα σε ένα άλλο υπό το πρίσμα μιας υπόθεσης. Γιατί, όμως, να περιορίζεται η αξιοποίηση της εξωτερικής ομοιότητας στην εξέταση μόνο ή αποκλειστικά δύο φυσικών φαινομένων; Στο πλαίσιο της παρούσας πρότασης υποστηρίζεται ότι ο μηχανισμός της εξωτερικής ομοιότητας θα μπορούσε να αξιοποιηθεί ταυτόχρονα για την εξέταση περισσότερων από δύο φυσικών φαινομένων, δηλαδή κατά την περιγραφή και εξέταση ενός συστήματος  $n$  όμοιων φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσαν να εντοπιστούν και να επιλεγούν συγκεκριμένα

φυσικά φαινόμενα που χαρακτηρίζονται από μια συγκεκριμένη μορφή εξωτερικής ομοιότητας, η οποία να τα εντάσσει σε ένα σύστημα όμοιων φαινομένων και ο μηχανισμός της ομοιότητας να επιτρέπει την κατηγοριοποίηση της γνώσης αλλά και την περιγραφή συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ή συμπεριφορών είτε ενός υπό εξέταση φαινομένου εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα που εντάσσονται στο συγκεκριμένο σύστημα είτε όλων των φαινομένων που απαρτίζουν το σύστημα. Ο προσδιορισμός του τύπου ομοιότητας των προς εξέταση φαινομένων θα μας κατευθύνει κατά την επιλογή τους και κατ' επέκταση κατά τη διαμόρφωση του συστήματος. Στο πλαίσιο της παρούσας προσέγγισης, η εξωτερική ομοιότητα διακρίνεται σε δύο τύπους:

- Τύπος I: Ομοιότητα μεταξύ φυσικών συστημάτων ή φαινομένων λόγω κοινής υπόθεσης αλλά διαφορετικού Φυσικού Φαινομένου.
- Τύπος II: Ομοιότητα μεταξύ φυσικών συστημάτων ή φαινομένων λόγω ίδιου Φυσικού Φαινομένου αλλά διαφορετικής υπόθεσης.



Σχήμα 3: Τύποι ομοιότητας Φυσικών Φαινομένων.

Βάσει της διάκρισης των τύπων της εξωτερικής ομοιότητας, το Σύστημα Όμοιων Φυσικών Φαινομένων γίνεται αντιληπτό είτε ως ένα σύνολο φυσικών φαινομένων που επιλέγονται προκειμένου να εξεταστούν λόγω του ότι ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της υπόθεσης που έχει οριστεί εξ αρχής, είτε ως μια ομάδα ίδιων φαινομένων (το ίδιο φαινόμενο θα εξετάζεται βάσει διαφορετικών υποθέσεων) που θα εξεταστούν υπό το πρίσμα διαφορετικής υπόθεσης. Με ποιόν τρόπο, όμως, με ποια μεθοδολογία και ποιο εργαλείο θα μπορούσε να περιγραφεί η ομοιότητα του Συστήματος Όμοιων Φυσικών Φαινομένων; Σε αυτό το σημείο προκύπτει η ιδέα του Matrix Cube που έχει τις ρίζες της στη θεωρία του matrix και αποτελεί μια προσπάθεια επέκτασης αυτής. Το Matrix Cube αποσκοπεί στην

εξέταση σύνθετων συστημάτων, των συστημάτων όμοιων φυσικών φαινομένων. Το matrix, αποτελεί δομικό συστατικό του Matrix Cube, μεταφέροντας σε αυτό τα βασικά του χαρακτηριστικά και τις βασικές του λειτουργίες. Από το matrix στο Matrix Cube έχουμε τη μετάβαση από ένα εργαλείο εξέτασης ενός φαινομένου σε ένα πολυπλοκότερο εργαλείο εξέτασης ενός συστήματος όμοιων φαινομένων και από την εξέταση της εσωτερικής ομοιότητας ενός φαινομένου στην εξέταση ενός εκ των δύο προαναφερθέντων τύπων εξωτερικής ομοιότητας ενός συστήματος όμοιων φαινομένων. Οι τύποι της εξωτερικής ομοιότητας των φαινομένων που μπορούν να εξεταστούν μέσω της εφαρμογής του Matrix Cube είναι σαφώς προσδιορισμένοι και υπό αυτή την έννοια η εξωτερική ομοιότητα στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μεθοδολογίας μπορεί να εντοπιστεί, να επιλεγεί και να επικυρωθεί βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων καθώς εμπίπτει υποχρεωτικά είτε στον τύπο I είτε στον τύπο II. Επομένως, τα προς εξέταση φαινόμενα είναι όμοια είτε επειδή εξετάζονται υπό το πρίσμα της ίδιας υπόθεσης είτε το ίδιο φαινόμενο υπό το πρίσμα διαφορετικών υποθέσεων. Υπό αυτούς τους όρους, η εξωτερική ομοιότητα των υπό εξέταση φαινομένων προσδιορίζεται από το ίδιο το εργαλείο και από τους βασικούς κανόνες λειτουργίας του και όχι από τις επιλογές ή τις γνώσεις του ερευνητή. Σημαντικά ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν είναι: ποιες οι βασικές προσδοκίες της εφαρμογής ενός τέτοιου εργαλείου; Πώς δομείται; Πως θα μπορούσε να λειτουργεί το Matrix cube; Πως εμπλέκεται η έννοια της αναλογίας στην ιδέα του Matrix Cube; Ποια τα πλεονεκτήματα και τα καινοτόμα στοιχεία ενός τέτοιου εργαλείου;

Αρχικά, το Matrix Cube θα μπορούσε να οριστεί ως ένα εργαλείο εξέτασης, περιγραφής, ερμηνείας και ελέγχου ενός συστήματος όμοιων φυσικών φαινομένων. Βασικές προσδοκίες της εφαρμογής του συγκεκριμένου εργαλείου είναι η ολιστική προσέγγιση του ΣυσΟΦΦ, η παρουσίαση, περιγραφή και ερμηνεία των σχέσεων εξωτερικής ομοιότητας μεταξύ των επιμέρους δομικών συστατικών (των επιμέρους φαινομένων), αλλά και η επικύρωση του Matrix Cube ως εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης του ΣυσΟΦΦ. Επίσης, το Matrix Cube εκτός από τη συνολική περιγραφή ενός ΣυσΟΦΦ μπορεί να συμβάλλει και στην εξέταση ενός φαινομένου (ομοιότητα τύπου I) ή μίας πτυχής φαινομένου (ομοιότητα τύπου II) του συστήματος που εμπίπτει στο ερευνητικό ενδιαφέρον, αποτελεί, δηλαδή, το σύστημα στόχο, και χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένα κενά

γνώσης, τα οποία μπορούν να καλυφθούν μέσω της αξιοποίησης του μηχανισμού της εξωτερικής ομοιότητας που το συνδέει με τα υπόλοιπα φαινόμενα που εντάσσονται στο ίδιο σύστημα και τα υπόλοιπα matrices που εντάσσονται στο ίδιο Matrix Cube. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε το ένα φαινόμενο ή την πτυχή ενός φαινομένου που αποτελεί το σύστημα στόχο και έναν αριθμό εξωτερικά όμοιων φαινομένων ή πτυχών του φαινομένου που μπορούν να αξιοποιηθούν ως μοντέλα αυτού.

Το Matrix cube αποτελεί μια σύνθετη δομή, ένα σχήμα κατηγοριοποίησης της γνώσης ενός συστήματος όμοιων φυσικών φαινομένων και απεικονίζεται σχηματικά με τη μορφή κύβου (σχήμα 4). Το Matrix cube αποτελείται από πολλά όμοια matrices. Το κάθε matrix πλήρως ή μερικώς συμπληρωμένο αποσκοπεί στην περιγραφή ενός φυσικού φαινομένου που αποτελεί μέρος του ΣυσΟΦΦ, στον εντοπισμό και την ερμηνεία των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών και των προς εξέταση παραγόντων, που έχουν οριστεί από τον ερευνητή, με γνώμονα πάντα την προκαθορισμένη υπόθεση. Κατ' αντιστοιχία το Matrix Cube, πλήρως ή μερικώς συμπληρωμένο αποσκοπεί στην περιγραφή του ΣυσΟΦΦ, στον εντοπισμό και προσδιορισμό της εξωτερικής ομοιότητας και των σχέσεων μεταξύ των επιμέρους φαινομένων, βάσει συγκεκριμένων και εξαρχής προκαθορισμένων μεταβλητών. Το Matrix cube, σε θεωρητικό τουλάχιστον επίπεδο, θα μπορούσε να αποτελείται από άπειρα matrices. Στα πλαίσια εξέτασης συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης, θα πρέπει ασφαλώς να οριστεί ο ακριβής αριθμός των φαινομένων που θα απαρτίζουν το ΣυσΟΦΦ και κατ' επέκταση των matrices που θα δομήσουν τον κύβο.

Το προτεινόμενο σχήμα κύβου δίνει τη δυνατότητα πολύπλευρης και ολιστικής προσέγγισης του ΣυσΟΦΦ, λόγω των τριών του διαστάσεων:

**1η διάσταση:** περιγραφείς (categorical descriptors)

**2η διάσταση:** επίπεδα (levels)

**3η διάσταση:** σχέσεις μεταξύ των επιμέρους παραγόντων των επιμέρους matrices (σχέσεις μεταξύ κελιών από το ένα matrix στο άλλο) και κατ' επέκταση των σχέσεων μεταξύ των φαινομένων που απαρτίζουν το σύστημα.

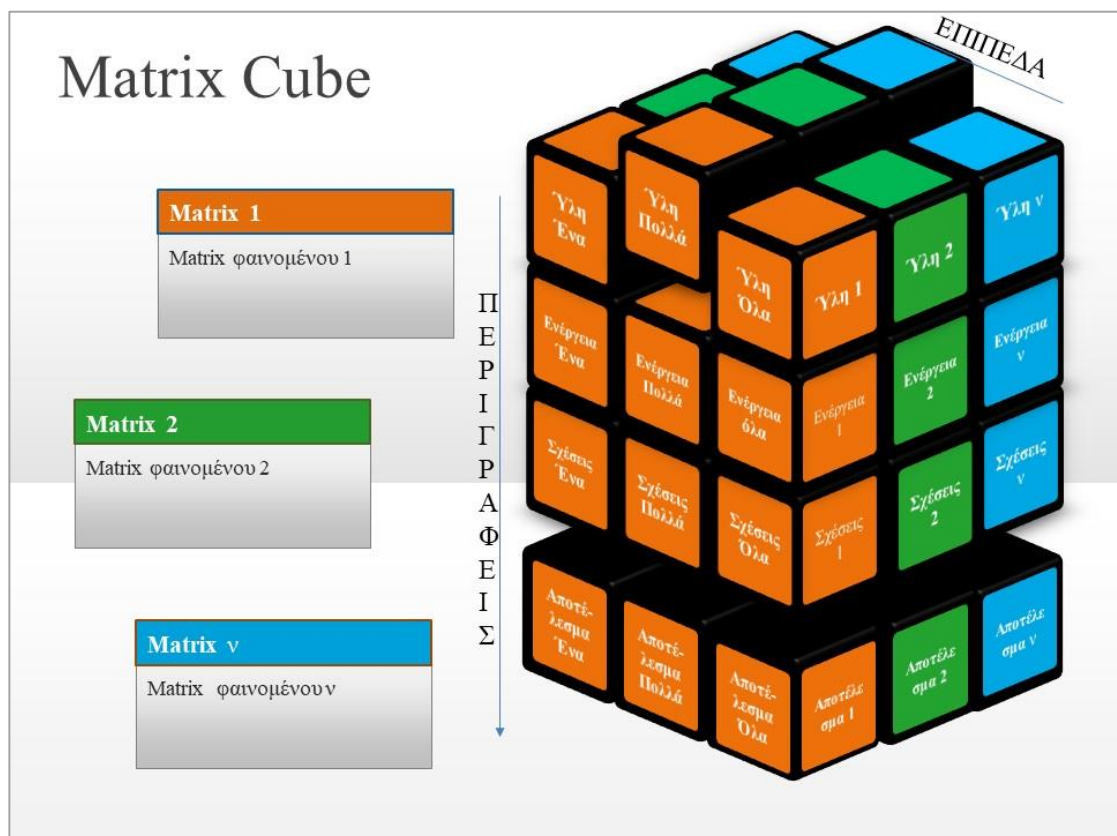
Επομένως, το σχήμα του κύβου δίνει τη δυνατότητα:

1. απεικόνισης της μεμονωμένης εξέτασης και της εσωτερικής ομοιότητας κάθε φαινομένου, μέσω κάθε επιμέρους matrix που δομείται από τα



προκαθορισμένα και κοινά για όλο το matrix cube, levels και categorical descriptors.

2. συνοπτικής παρουσίασης του αποτελέσματος
3. Η τρίτη διάσταση του κύβου δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των αντίστοιχων παραγόντων των διαφορετικών προς εξέταση φαινομένων και διευκολύνει την αναζήτηση πιθανής ομοιότητας ή γενικότερα πιθανής σχέσης μεταξύ τους. Δίνει, δηλαδή, τη δυνατότητα εξέτασης των σχέσεων των επιμέρους παραγόντων μεταξύ των επιμέρους matrices (σχέσεις μεταξύ κελιών από το ένα matrix στο άλλο) και των σχέσεων μεταξύ των φαινομένων (3η διάσταση, σχήμα 2) που απαρτίζουν το σύστημα. Κατ' επέκταση, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τρίτη διάσταση δίνει τη δυνατότητα κάλυψης κενών κελιών από το ένα matrix στο άλλο, βάσει του εντοπισμού πιθανών σχέσεων μεταξύ των προς εξέταση παραγόντων των διαφορετικών matrices.



Σχήμα 4: Σχηματική απεικόνιση Matrix Cube (Ίδια επεξεργασία).

Η σχηματική απεικόνιση βοηθά στην καλύτερη κατανόηση της δομής, των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων του εργαλείου. Βάσει του σχήματος, λοιπόν,

διακρίνουμε ότι κάθε χρώμα απεικονίζει ένα matrix που αναφέρεται σε ένα state (κάθε state περιγράφει ένα πλήρως ή μερικώς συμπληρωμένο matrix), δηλαδή στην παρουσίαση κατηγοριοποίησης της υπάρχουσας γνώσης ενός φυσικού φαινομένου-μέρους του προς εξέταση ΣυσΟΦΦ, με γνώμονα την ορισμένη υπόθεση. Πολλά όμοια matrices δημιουργούν το Matrix Cube (MC), το οποίο περιγράφει ένα σύστημα όμοιων φυσικών φαινομένων (ΣυσΟΦΦ). Μπορούμε να φανταστούμε το MC ως βιβλίο: κάθε σελίδα είναι ένα matrix και όλο το βιβλίο είναι ένα Matrix Cube που κατηγοριοποιεί τη γνώση ενός ΣυσΟΦΦ. Τα matrices όλων των μελών ενός ΣυσΟΦΦ δεν είναι υποχρεωτικά συμπληρωμένα πλήρως. Όταν δημιουργηθεί το MC, τότε η διεπιφάνεια συμπληρωμένων-ασυμπληρωτών κελιών δημιουργεί μια τρισδιάστατη επιφάνεια με «όρη & κοιλάδες». Αυτά καθορίζουν τις ανάγκες για καινούρια γνώση, δηλαδή ορίζουν την επόμενη κατάσταση του ΣυσΟΦΦ. Αυτή η διεργασία είναι η απόφαση του συστήματος να μετακινηθεί προς μια νέα κατάσταση, η οποία θα περιέχει περισσότερη γνώση για το σύστημα.

Πως θα μπορούσε, όμως, να λειτουργήσει το Matrix cube; Ποιοι οι κανόνες λειτουργίας του; Η ομοιότητα των matrices οφείλει να ισοδυναμεί με την ομοιότητα των states, δηλαδή την ομοιότητα των φαινομένων, όταν εξετάζονται υπό το πρίσμα συγκεκριμένων υποθέσεων. Βασικό στάδιο λειτουργίας του Matrix Cube είναι η επιλογή φυσικών φαινομένων που χαρακτηρίζονται από μια συγκεκριμένη μορφή εξωτερικής ομοιότητας (τύπος I ή τύπος II), η οποία τους επιτρέπει να ενταχθούν σε ένα σύστημα φαινομένων, καθώς επίσης και η εξέταση και η περιγραφή της ομοιότητας αυτής. Προκειμένου να προχωρήσουμε στην εξέταση της ομοιότητας μέσω του προτεινόμενου εργαλείου θα χρειαστεί να διαμορφωθεί ένα state για κάθε φαινόμενο, δηλαδή μια κατάσταση που θα περιγράφει ένα συμπληρωμένο matrix (σχήμα 4: κάθε χρώμα είναι ένα matrix που αντιστοιχεί σε ένα state). Η ομοιότητα δεν θα πρέπει να περιορίζεται στο επίπεδο των προς εξέταση φαινομένων, αλλά θα πρέπει αντιστοίχως να χαρακτηρίζει τα states και τα matrices. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ομοιότητα των states μπορεί να υπάρξει μέσω είτε της ομοιότητας των φυσικών φαινομένων (ίδιο φαινόμενο-διαφορετική υπόθεση), είτε μέσω της ομοιότητας των υποθέσεων (ίδια υπόθεση-διαφορετικό φαινόμενο), βάσει των δύο τύπων ομοιότητας που έχουν οριστεί (σχήμα 3, πίνακας 4). Αν εξετάσουμε την ομοιότητα σε επίπεδο matrices, η οποία

όπως προαναφέρθηκε θα πρέπει να είναι ανάλογη και με τα αντίστοιχα states, έχουμε 2 περιπτώσεις:

- α) Ίδια υπόθεση-διαφορετικό φαινόμενο: κοινή υπόθεση, κοινοί categorical descriptors, κοινά levels
- β) Διαφορετική υπόθεση-ίδιο φαινόμενο: κοινό προς εξέταση φαινόμενο, κοινοί categorical descriptors, κοινά levels

MATRIX	STATE
κοινή υπόθεση, κοινά categorical descriptors, κοινά levels	Ίδια υπόθεση-διαφορετικό φαινόμενο
κοινό προς εξέταση φαινόμενο, κοινά categorical descriptors, κοινά levels	Διαφορετική υπόθεση-ίδιο φαινόμενο

**Πίνακας 4:** Ομοιότητα στα matrices και τα states.

Σημαντικό ζήτημα που θα πρέπει να εξεταστεί προκειμένου να διασαφηνιστεί ο ρόλος της ομοιότητας στη μεθοδολογία του Matrix Cube, είναι το πως εμπλέκεται η έννοια της αναλογίας στην ιδέα του Cube. Θα μπορούσαμε να αναφερθούμε σε τρεις μορφές αναλογίας: στην αναλογία των προς εξέταση φαινομένων, την αναλογία των states και στην αναλογία των ποσοτήτων (δομικά συστατικά) και των σχέσεων των matrices που θα αποτελέσουν το Matix Cube (σχήμα 5). Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να προσδιοριστεί η έννοια της αναλογίας των φυσικών φαινομένων που θα απαρτίσουν το σύστημα. Η αναλογία των φυσικών φαινομένων, θα μπορούσαμε να πούμε ότι αποτελεί σημαντικό παράγοντα σε δύο χρονικά στάδια της μεθοδολογίας του προτεινόμενου εργαλείου: Κατά το στάδιο επιλογής των φαινομένων και κατά το στάδιο ερμηνείας των δεδομένων που προκύπτουν από τη συμπλήρωση του Matix Cube.

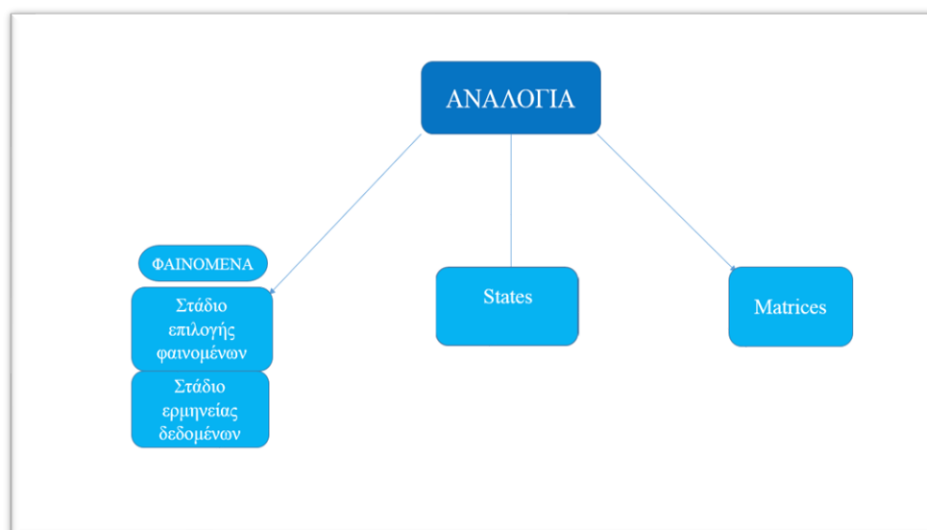
Κατά το στάδιο επιλογής των φαινομένων, στην περίπτωση που εξετάζουμε την ομοιότητα τύπου I (Ομοιότητα λόγω κοινής υπόθεσης αλλά διαφορετικού Φυσικού Φαινομένου) θα πρέπει μετά τη διατύπωση της υπόθεσης να οριστούν τα χαρακτηριστικά των φαινομένων, τα οποία θα πρέπει να παρουσιάζουν κάποια αναλογία μεταξύ τους, η οποία θα τα καθιστά καταλληλά για την εξέταση της δεδομένης υπόθεσης και θα τα τοποθετεί στο ίδιο σύστημα. Σε αυτό το στάδιο ο εντοπισμός της αναλογίας θα προέρχεται κυρίως από την εμπειρία και τις γνώσεις του ερευνητή, μέχρι να επιτευχθεί ο προσδιορισμός ενός κατάλληλου συντελεστή βαθμού ομοιότητας, που θα αυστηροποιεί περισσότερο τη διαδικασία. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα μπορούσαν να είναι ποσότητες, συνθήκες, σχέσεις

(relations), παρόμοιες συμπεριφορές κ.α. Λαμβάνοντας ως παράδειγμα το σύστημα “κακοκαιρία” θα μπορούσαμε να εντάξουμε σε αυτό φαινόμενα όπως η βροχή, η καταιγίδα, το χαλάζι και το χιόνι.

Στην περίπτωση εξέτασης ομοιότητας τύπου II (Ομοιότητα λόγω κοινού Φυσικού Φαινομένου αλλά διαφορετικής υπόθεσης) δε θα μπορούσαμε να μιλήσουμε για αναλογία καθώς το φαινόμενο προς εξέταση είναι το ίδιο. Οπότε σε αυτή την περίπτωση η έννοια της αναλογίας εντοπίζεται στα states και τα matrices και όχι στο φαινόμενο, που είναι κοινό.

Κατά το στάδιο ερμηνείας των δεδομένων που προκύπτουν από τη συμπλήρωση του Matrix Cube, ο ερευνητής θα πρέπει να εντοπίσει τις αναλογίες που παρουσιάζονται μεταξύ συγκεκριμένων ποσοτήτων, ενεργειών ή σχέσεων, εξετάζοντας τα αντίστοιχα κελιά των επιμέρους matrices, έτσι ώστε να οδηγηθεί στην επιβεβαίωση της ομοιότητάς τους και κατ’ επέκταση της ομοιότητας των φαινομένων.

Οι επόμενες δύο μορφές αναλογίας που θα μπορούσαν να διακριθούν στα πλαίσια της συγκεκριμένης προσέγγισης, αναφέρονται στα states και τα matrices. Δεδομένου του ότι η ομοιότητα δε θα πρέπει να περιορίζεται στο επίπεδο των προς εξέταση φαινομένων, αλλά θα πρέπει να χαρακτηρίζει τα states και τα matrices, αντιστοίχως και η αναλογία δε θα πρέπει να περιορίζεται στα φαινόμενα, αλλά να χαρακτηρίζει και τα εργαλεία ή τις τεχνικές εξέτασής τους. Η αναλογία των states και των matrices θα μπορούσε και σε αυτή την περίπτωση να οριστεί ως αναλογία ποσοτήτων και σχέσεων. Τα επιμέρους matrices θα αποτελούνται από ανάλογη δομή, μορφή, ποσότητα κελιών, χαρακτηριστικά (πχ αύξηση πολυπλοκότητας κινούμενοι από αριστερά προς τα δεξιά κι από πάνω προς τα κάτω) και λειτουργία. Με τη ίδια λογική και τα states θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από αντίστοιχη αναλογία με τα matrices δεδομένου του ότι το state αποτελεί μια κατάσταση που περιγράφει ένα πλήρως ή μερικώς συμπληρωμένο matrix (σχήμα 2: κάθε χρώμα είναι ένα matrix που αντιστοιχεί σε ένα state) και η ομοιότητα του οφείλει να αντιστοιχεί σε αυτή του αντίστοιχου matrix.



**Σχήμα 5:** Η έννοια της αναλογίας στη θεωρία του Matrix Cube (Ίδια επεξεργασία).

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν πιο πάνω, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η αναλογία στη θεωρία του Matrix Cube αποτελεί παράγοντα που μπορεί να συμβάλλει στην επιλογή των φαινομένων που θα απαρτίσουν το ΣυσΟΦΦ, στην ερμηνεία των σχέσεων ομοιότητας μεταξύ τους, αλλά και στην πρόβλεψη και τον έλεγχο του συστήματος. Αποτελεί, δηλαδή, καθοριστικό παράγοντα κατά τη λειτουργία του Matrix Cube ως εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης του ΣυσΟΦΦ, ερμηνείας, πρόβλεψης της συμπεριφοράς του αλλά και ελέγχου της.

Βασικός σκοπός είναι να οριστεί ο μηχανισμός που περιγράφει την ομοιότητα βάσει των matrices. Τι θα πρέπει να προσδιορίζει αυτόν τον μηχανισμό ώστε εξασφαλίζεται η ορθολογική οργάνωση και η αποτελεσματική λειτουργία του εργαλείου που θα εξασφαλίζει τον αυστηρό προσδιορισμό της εξωτερικής ομοιότητας του συστήματος όμοιων φυσικών φαινομένων; Ο μηχανισμός αυτός θα πρέπει να ισοδυναμεί με μια διαδικασία επιλογής κάποιων matrices, τα οποία επιλέγονται από τον ερευνητή μεταξύ των άπειρων matrices που υπάρχουν. Σε αυτό το σημείο προκύπτει η ανάγκη ορισμού ενός συγκεκριμένου συντελεστή ή δείκτη που να ποσοτικοποιεί την εξωτερική ομοιότητα των φαινομένων που εκφράζεται μέσω των states και περιγράφεται μέσω των matrices, που εντάσσονται στο ΣυσΟΦΦ και αντίστοιχα στο Cube. Ο μηχανισμός της εξωτερικής ομοιότητας των φαινομένων, λοιπόν, θα πρέπει να προσδιορίζεται από έναν συντελεστή, ο οποίος θα ορίζει το ελάχιστο επίπεδο ομοιότητας ή τα όρια του βαθμού ομοιότητας εντός των οποίων τα φαινόμενα και τα matrices θα μπορούν να ενταχθούν στο συγκεκριμένο σύστημα φαινομένων και στο συγκεκριμένο Cube. Με αυτόν τον

τρόπο, επι της ουσίας, ο ίδιος ο συντελεστής θα υποδεικνύει στον ερευνητή ποια matrices να επιλέξει και να εντάξει στον κύβο. Υπό αυτούς τους όρους θα αυστηροποιείται το κριτήριο επιλογής των όμοιων φαινομένων και ταυτόχρονα θα περιορίζεται η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη διαδικασία αυτή, ενισχύοντας την υπάρχουσα αυστηρότητα του συστήματος που προκύπτει ήδη ως έναν βαθμό από τον προσδιορισμό των τύπων εξωτερικής ομοιότητας.

Σε μια πρώτη προσπάθεια θεωρητικής προσέγγισης του τρόπου που θα μπορούσε να λειτουργεί ένας τέτοιος συντελεστής στο πλαίσιο της μεθοδολογίας του Cube, θα αξιοποιήσουμε ένα υποθετικό παράδειγμα που αναδεικνύει την κατεύθυνση, στην οποία θα μπορούσαμε να κινηθούμε προκειμένου να ορίσουμε τον συγκεκριμένο συντελεστή. Εάν η απόλυτη ομοιότητα, δηλαδή η αντιγραφή ή αναπαραγωγή ενός φαινομένου συνεπάγεται το 100% της ομοιότητας μεταξύ ενός φαινομένου και της αναπαραγωγής αυτού, τότε θα μπορούσε να οριστεί ως συντελεστής απόλυτης ομοιότητας το 1 που αντιστοιχεί στο 100%. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι σε πρώτο στάδιο ο ερευνητής θα πρέπει να επιλέξει ένα φαινόμενο (ομοιότητα τύπου I) ή μία πτυχή φαινομένου (ομοιότητα τύπου II), το οποίο να κρίνεται κατάλληλο για τον έλεγχο της συγκεκριμένης υπόθεσης. Στη συνέχεια, ο συντελεστής θα χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει την επιλογή των όμοιων φαινομένων και των όμοιων matrices αρχικά σε σχέση με το πρώτο επιλεγμένο φαινόμενο και matrix αντίστοιχα και στη συνέχεια σε σχέση με όλα τα matrices που έχουν ενταχθεί ήδη στον κύβο. Συγκεκριμένα, όσο πιο κοντά στο 100% (δηλαδή στην υποτιθέμενη απόλυτη ομοιότητα) βρίσκονται τα φαινόμενα και κατ' επέκταση τα states και τα matrices, τόσο καταλληλότερα είναι για την ένταξή τους στο σύστημα και στο Cube. Ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας και της υπό έλεγχο υπόθεσης, ο ερευνητής θα ορίζει, δηλαδή, μια ελάχιστη αποδεκτή τιμή του συντελεστή ομοιότητας, η οποία θα προσδιορίζει εάν ένα φαινόμενο θα μπορεί να ενταχθεί σε ένα συγκεκριμένο ΣυσΟΦΦ και αντιστοίχως ένα matrix στο συγκεκριμένο Cube. Δεδομένου του ότι η ιδέα του Matrix Cube βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο, δεχόμαστε προς το παρόν ότι ο ορισμός της ελάχιστης αυτής αποδεκτής τιμής γίνεται εμπειρικά ανάλογα με το υπό διερεύνηση σύστημα και τον σκοπό της έρευνας, ανάλογα δηλαδή με το πόσο όμοια πρέπει να είναι τα συστήματα όσον αφορά συγκεκριμένες πτυχές τους σύμφωνα με την ανάγκη ελέγχου της συγκεκριμένης υπόθεσης που εξετάζουμε.

Για παράδειγμα ο ερευνητής μπορεί να ορίσει ότι σε συγκεκριμένο Matrix Cube θα συμπεριληφθούν matrices που θα εξετάζουν φαινόμενα, τα οποία θα χαρακτηρίζονται από ομοιότητα >70% σε σχέση με τα matrix που έχουν ήδη ενταχθεί στον κύβο. Αυτό σημαίνει ότι κάθε νέο matrix που θα προστίθεται στον κύβο θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από βαθμό ομοιότητας τουλάχιστον 70% με το κάθε ένα matrix του κύβου ή ότι η συνολική ομοιότητα του κύβου θα πρέπει να διατηρείται σταθερή πάνω από 70% μετά από κάθε προσθήκη κάθε νέου matrix.

Ο ορισμός και η αξιοποίηση συγκεκριμένου συντελεστή ομοιότητας, θα αποτελέσει αυστηρό κριτήριο προσδιορισμού της εξωτερικής ομοιότητας του ΣυσΟΦΦ και ικανό να διασφαλίσει ότι τα matrices που θα ενταχθούν στο Cube θα χαρακτηρίζονται από ικανό βαθμό ομοιότητας ανταποκρινόμενο στις ανάγκες της συγκεκριμένης υπόθεσης. Ο συντελεστής ομοιότητας θα μπορούσε να ονομαστεί  $S_m$  (similarity of matrices) και το ελάχιστο αποδεκτό όριο ομοιότητας που επιτρέπει την ένταξη ενός matrix στο cube, για παράδειγμα, >70%. Σε αυτή την περίπτωση ισχύει  $S_m=(m_1, m_2, \dots, m_n)=0,70$  (=70%). Υπό αυτούς τους όρους ο συντελεστής  $S_m$  ορίζει το όριο, δηλαδή το ποσοστό ομοιότητας πάνω από το οποίο το κάθε matrix μπορεί να ενταχθεί στον κύβο. Σε αυτό το σημείο προκύπτουν ορισμένα ερωτήματα, όπως για παράδειγμα: πώς θα υπολογίζεται ο συγκεκριμένος συντελεστής  $S_m$ , τι τιμές θα παίρνει (όρια τιμών από-έως), πώς θα σχετίζεται με το ΣυσΟΦΦ και πώς με το matrix; Δεδομένου του ότι η μαθητική τεκμηρίωση του Cube τοποθετείται εκτός των ορίων και των στόχων αυτής της διατριβής, τα ζητήματα αυτά αποτελούν προοπτικές για μελλοντική ερευνά.

Η διαδικασία του ορισμού του πρώτου αυτού συντελεστή εξυπηρετεί στην περίπτωση κατά την οποία ο στόχος αξιοποίησης του Cube είναι ο προσδιορισμός της εξωτερικής ομοιότητας μεταξύ των φαινομένων που εντάσσονται σε ένα ΣυσΟΦΦ και των matrices που απαρτίζουν ένα Matrix Cube, με απώτερο σκοπό την κατηγοριοποίηση της γνώσης και την περιγραφή του ΣυσΟΦΦ. Τι γίνεται, όμως, στην περίπτωση που η έρευνα επικεντρώνεται κυρίως σε ένα από τα φαινόμενα που απαρτίζουν το ΣυσΟΦΦ; Τι γίνεται, δηλαδή, εάν απώτερος σκοπός μίας έρευνας είναι η κάλυψη γνωστικών κενών αναφορικά με ένα μόνο φαινόμενο (το σύστημα στόχο), μέσω της αξιοποίησης περισσότερων του ενός φαινομένων-μοντέλων, στο πλαίσιο της χρήσης του Cube; Ή ακόμα εάν ο ερευνητής επιθυμεί μέσω της αξιοποίησης του κύβου να εντοπίσει ποιο φαινόμενο μπορεί να

αποτελέσει το καταλληλότερο μοντέλο μεταξύ πολλών πιθανών φαινομένων-μοντέλων για ένα συγκεκριμένο υπό διερεύνηση φαινόμενο; Σε αυτές τις περιπτώσεις θα μπορούσε να οριστεί ένας, επιπλέον συντελεστής που να προσδιορίζει κάθε φορά τον βαθμό ομοιότητας μεταξύ δύο συγκεκριμένων φαινομένων, του φαινομένου-στόχου και ενός κάθε φορά επιλεγμένου φαινομένου-μοντέλου από το σύνολο των υπόλοιπων φαινομένων του ΣυσΟΦΦ ( $Sm(m_1, m_2)$ ). Βάσει αυτού του δεύτερου συντελεστή θα μπορούσε να καθορίζεται και η διάταξη των matrices μέσα στο Matrix Cube, βάσει του βαθμού ομοιότητας των φαινομένων, με πρώτο το matrix που περιγράφει το σύστημα-στόχο. Ένας τέτοιος ειδικός συντελεστής θα επιτρέπει να ακολουθείται το matrix του φαινομένου στόχου από το αμέσως ομοιότερο του, στο επόμενο ομοιότερό κ.ο.κ. Επομένως, τα ομοιότερα φαινόμενα, states και matrices, ως προς το πρώτο, θα γειτνιάζουν μέσα στον κύβο και όλα θα είναι τοποθετημένα σε μια σειρά φθίνουσας ομοιότητας σε σχέση με το αρχικό matrix που θα περιγράφει το φαινόμενο-στόχο. Τοιουτοτρόπως, εκτός από την επικύρωση της εξωτερικής ομοιότητας του ΣυσΟΦΦ που θα προκύπτει από τον πρώτο συντελεστή, μέσω της αξιοποίησης του δεύτερου συντελεστή θα προκύπτει και η κατάταξη των επιμέρους matrices στον κύβο. Έτσι η αξιοποίηση του δεύτερου συντελεστή και θα δίνει επιπλέον πληροφορίες αναφορικά την κλιμάκωση της ομοιότητας μέσα στον κύβο από το ένα matrix στο άλλο, υποδεικνύοντας ταυτόχρονα στον ερευνητή ποιο από τα φαινόμενα-μοντέλα παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας (ομοιότερο φαινόμενο/matrix) με το φαινόμενο στόχο και κατ' επέκταση ποιο φαινόμενο μπορεί να αξιοποιηθεί πιο αποτελεσματικά ως μοντέλο του υπό εξέταση φαινομένου-στόχου.

Επομένως, βάσει των ανωτέρω τα στάδια κατασκευής ενός Matrix Cube είναι τα εξής:

- 1) Διατύπωση της ερευνητικής υπόθεσης και επιλογή τύπου ομοιότητας (τύπος I ή II)
- 2) Επιλογή και συμπλήρωση του 1<sup>ου</sup> matrix και ορισμός των ορίων του συστήματος βάσει συγκεκριμένου συντελεστή (π.χ. του  $Sm=(m_1, m_2, \dots, m_n)=\dots$ )
- 3) Επιλογή των υπόλοιπων  $n$  matrices και έλεγχος σχετικά με το εάν παρουσιάζουν αποδεκτό βαθμό ομοιότητας σε σχέση με τα προκαθορισμένα όρια που έχουν



προσδιοριστεί από τον συντελεστή αλλά και έλεγχος αναφορικά με τη διατήρηση της συνολικής ομοιότητας του κύβου εντός των προκαθορισμένων ορίων.

4) Οριστικοποίηση του αριθμού και επιλογή των συγκεκριμένων matrices που θα δομήσουν τον κύβο.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε την κατηγοριοποίηση της γνώσης του ΣυσΟΦΦ, η διαδικασία επιλογής των matrices έχει ολοκληρωθεί στο 4<sup>ο</sup> βήμα καθώς η σειρά τοποθέτησης τους στον κύβο σε αυτή την περίπτωση δεν επηρεάζει τη διαδικασία. Στη δεύτερη περίπτωση, όμως, που η έρευνα επικεντρώνεται σε ένα φαινόμενο-στόχο ακολουθούν επιπλέον στάδια. Συγκεκριμένα:

5) Αφού έχουν συγκεντρωθεί τα κατάλληλα matrices που εξυπηρετούν την εξέταση του φαινομένου-matrix-στόχου υπό το πρίσμα συγκεκριμένης υπόθεσης, τοποθετείται το matrix αυτό πρώτο στον κύβο και βάσει του δεύτερου συντελεστή εξετάζεται ο βαθμός ομοιότητάς του με κάθε ένα από τα υπόλοιπα matrices.

6) Έπειτα, διατάσσονται τα υπόλοιπα matrices σε μια σειρά φθίνουσας ομοιότητας σε σχέση με το αρχικό matrix που περιγράφει το φαινόμενο-στόχο.

Ο σαφής προσδιορισμός των δύο συντελεστών ομοιότητας είναι εκτός των στόχων της συγκεκριμένης διατριβής. Θα μπορούσε, όμως, να αποτελέσει μια ενδιαφέρουσα προοπτική μελλοντικής έρευνας. Μέχρι να οριστούν οι συγκεκριμένοι συντελεστές που θα επιτύχουν μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την επιλογή των επιμέρους matrices και κατά την ιεράρχησή τους μέσα στο matrix cube, θα μπορούσαμε να στραφούμε προσωρινά την άποψη της Sterrett και να αποδεχτούμε ότι οι γνώσεις και η εμπειρία του ερευνητή καθορίζουν σε μια πρώιμη αξιοποίηση του εργαλείου την ιεράρχηση των matrices μέσα στο cube. Σε αυτό το πλαίσιο, λοιπόν, εάν πάρουμε ως παράδειγμα το σύστημα φαινομένων *κακοκαιρία* και εάν υποθέσουμε ότι το ερευνητικό μας ενδιαφέρον επικεντρώνεται στη βροχή, υπό την προαναφερθείσα λογική θα τοποθετηθεί πρώτα το matrix του φαινομένου της βροχής, μετά της καταιγίδας, έπειτα του χιονιού και τέλος του χαλαζιού καθώς εμπειρικά μπορούμε να διακρίνουμε την εξωτερική ομοιότητα αυτών των φαινομένων και πιο συγκεκριμένα τον μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας, για παράδειγμα, ανάμεσα στη βροχή και την καταιγίδα απ' ότι στη βροχή και το χαλάζι. Στην περίπτωση που δεν μας απασχολεί κάποιο συγκεκριμένο φαινόμενο αλλά επιδιώκουμε την συνολική κατηγοριοποίηση της γνώσης, την περιγραφή και των

εντοπισμό των γνωστικών κενών συνολικά για το σύστημα τότε δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός αναφορικά με τη σειρά των matrices μέσα στο Cube.

Ποια θα μπορούσαν, όμως, να είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα καινοτόμα στοιχεία του προτεινόμενου εργαλείου; Πρώτα απ' όλα βασική επιδίωξη από τη λειτουργία του Matrix Cube είναι ο αυστηρός προσδιορισμός της εξωτερικής ομοιότητας συστημάτων φυσικών φαινομένων, η οποία ομοιότητα έχει οριστεί και έχει διακριθεί σε δύο συγκεκριμένους τύπους, και η κατηγοριοποίηση της γνώσης του υπό διερεύνηση συστήματος όμοιων φαινομένων υπό το πρίσμα συγκεκριμένης ή συγκεκριμένων ερευνητικών υποθέσεων. Στο πλαίσιο αυτό, τα κριτήρια επιλογής, εξέτασης και επικύρωσης της ομοιότητας των φαινομένων που εντάσσονται στο εκάστοτε υπό εξέταση σύστημα είναι συγκεκριμένα και σαφώς προσδιορισμένα. Επίσης, η θεωρία του Matrix Cube έχει τις ρίζες της στη θεωρία του matrix, εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης ενός φαινομένου, η οποία έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένα παραδείγματα. Αυτό το γεγονός αυξάνει τις πιθανότητες λειτουργίας του εργαλείου αποτελώντας, ταυτόχρονα, τη βάση της θεωρίας του κύβου, δεδομένου του ότι το matrix αποτελεί το βασικό δομικό συστατικό του μεταφέροντας σε αυτό τις ιδιότητες, τους περιορισμούς και τα χαρακτηριστικά του. Επίσης, το προτεινόμενο σχήμα κύβου παρέχει τη δυνατότητα ολιστικής περιγραφής του συστήματος όμοιων φαινομένων και ταυτόχρονα του κάθε φαινομένου ξεχωριστά, λόγω των τριών του διαστάσεων. Η τρίτη διάσταση του κύβου δίνει τη δυνατότητα ελέγχου των αντίστοιχων παραγόντων των διαφορετικών προς εξέταση φαινομένων και διευκολύνει τον εντοπισμό και την επικύρωση της εξωτερικής ομοιότητας των φαινομένων του συστήματος. Βασικό πλεονέκτημα και ταυτόχρονα καινοτόμο στοιχείο του Matrix Cube είναι η δυνατότητα εντοπισμού αναγκών για καινούρια γνώση μέσω της διεπιφάνειας συμπληρωμένων-ασυμπλήρωτων κελιών, που δημιουργεί μια τρισδιάστατη επιφάνεια με «όρη & κοιλάδες». Δίνει, δηλαδή, τη δυνατότητα εντοπισμού κενών γνώσης και ορίζει την επόμενη κατάσταση του ΣυσΟΦΦ, η οποία θα περιέχει περισσότερη γνώση για το σύστημα. Επίσης, δεν έχει οριστεί περιορισμός ως προς την κατηγορία των προς εξέταση φαινομένων. Επομένως, θα μπορούσε να αποτελέσει υποσχόμενο εργαλείο για μελλοντική ευρύτερη αξιοποίησή του και σε άλλες κατηγορίες φαινομένων με την ίδια μορφή ή προσαρμοσμένο, ενδεχομένως, κάθε φορά στις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε κατηγορίας προς εξέταση φαινομένων. Σημαντική προοπτική αποτελεί ο σαφής

ορισμός ενός συντελεστή που θα ορίζει τα όρια του βαθμού ομοιότητας εντός των οποίων τα matrices θα μπορούν να ενταχθούν σε συγκεκριμένο Cube. Επίσης, θα μπορούσε να οριστεί και ένας δεύτερος συντελεστής που θα προσδιορίζει τον βαθμό ομοιότητας μεταξύ δύο φαινομένων, του φαινομένου-στόχου και ενός κάθε φορά επιλεγμένου φαινομένου-μοντέλου από το σύνολο των υπόλοιπων φαινομένων του ΣυσΟΦΦ, ο οποίος θα υποδεικνύει την ιεράρχηση των matrices μέσα στο Matrix Cube βάσει του βαθμού ομοιότητας των φαινομένων με πρώτο το matrix που θα περιγράφει το σύστημα-στόχο.

## **Συμπεράσματα**

Από τη διεξαγωγή της παρούσας διατριβής προέκυψε μια ιστορική και φιλοσοφική προσέγγιση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου με επίκεντρο την καινοτόμο θεωρία της φιλοσόφου της επιστήμης Susan G. Sterrett. Επίσης, διατυπώθηκαν συγκεκριμένες προτάσεις με σκοπό την κατανόηση της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων αλλά και τη θεωρητική τεκμηρίωση των δύο αυτών εννοιών, στο πλαίσιο του ευρύτερου στόχου κριτικής της προσέγγισης της θεωρίας Sterrett. Μέσω συστηματικής και εκτενούς βιβλιογραφικής έρευνας εντοπίστηκαν, κατηγοριοποιήθηκαν και παρουσιάστηκαν κριτικά οι σημαντικότερες θεωρητικές προσεγγίσεις των δύο αυτών εννοιών αλλά και αντιπροσωπευτικά παραδείγματα της πειραματικής αξιοποίησής τους. Η υπάρχουσα γνώση περί την ομοιότητα και τα μοντέλα παρουσιάστηκε συνοπτικά μέσω της ιστορικής ανασκόπησης της κατανόησης και της πειραματικής εφαρμογής τους αλλά και της εξέτασης των σημαντικότερων φιλοσοφικών προσεγγίσεων των δύο αυτών εννοιών. Επίκεντρο της έρευνας υπήρξε η καινοτόμος θεώρηση της Sterrett, που μέχρι σήμερα αποτελεί έναν από τους σημαντικούς σταθμούς στην ιστορική εξέλιξη, στη φιλοσοφική διερεύνηση, στην προσπάθεια κατανόησης και θεωρητικής τεκμηρίωσης των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου και στην επίτευξη μιας επαρκέστερης περιγραφής της λειτουργίας του μηχανισμού της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού κλίμακας από το μοντέλο στην πραγματικότητα. Η αποδοχή του μεγαλύτερου τμήματος της θεωρίας της Sterrett και η αναγνώριση της σημαντικής συμβολής των αρκετά ριζοσπαστικών απόψεών της αναφορικά, κυρίως, με τα μοντέλα κλίμακας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, δεν απέτρεψαν την κριτική τοποθέτηση επί ορισμένων σημείων της προσέγγισής της, την επανεξέταση ορισμένων πτυχών της θεωρίας της και τη διατύπωση νέων προτάσεων που κρίθηκε ότι είτε λειτουργούν επεξηγηματικά, είτε διασαφηνίζουν ή και συμπληρώνουν την προσέγγιση της φιλοσόφου, ενώ μπορεί ακόμη και να προτείνουν κάτι νέο ή σε ορισμένες περιπτώσεις και κάτι διαφορετικό από εκείνη.

Ξεκινώντας από το πρώτο κεφάλαιο που προέκυψε από την εκτενή βιβλιογραφική αναζήτηση και μελέτη συγγραμμάτων, άρθρων και ερευνών προερχόμενων κυρίως από το πεδίο της ιστορίας της επιστήμης, απαντήθηκαν πολλά και σημαντικά ερωτήματα αναφορικά με τον ορισμό, την κατανόηση και την

αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας και της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου σε διαφορετικές ιστορικές περιόδους και από διαφορετικά επιστημονικά πεδία. Αρχικά, παρουσιάστηκαν ορισμοί της έννοιας της ομοιότητας προερχόμενοι από διαφορετικά πεδία και εντοπίστηκε η σχέση της με την έννοια της αναλογίας και η σύνδεσή της με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου. Παρατηρήθηκε ότι οι δύο αυτές τεχνικές συνδέονται με τα πεδία των φυσικών επιστημών στα περισσότερα αν όχι σε όλα τα εξελικτικά τους στάδια εν αντιθέσει με άλλους κλάδους που καθυστέρησαν αρκετά να τις εντάξουν στη μεθοδολογία τους. Υποστηρίχθηκε ότι το γεγονός αυτό αιτιολογείται σε σημαντικό βαθμό από τον ντετερμινισμό που διέπει τα φυσικά φαινόμενα κρίνοντας την ομοιότητα και τα μοντέλα ως εργαλεία καταλληλότερα, αποτελεσματικότερα και με μικρότερη πιθανότητα σφάλματος για την εξέταση της κατηγορίας αυτών των φαινομένων.

Επίσης, στο πρώτο κεφάλαιο προσεγγίστηκε και η έννοια του επιστημονικού μοντέλου με επίκεντρο ορισμένα σημαντικά ερωτήματα. Ένα βασικό ερώτημα που μας απασχόλησε είναι πώς μπορεί να οριστεί η έννοια του επιστημονικού μοντέλου κατά τρόπο που να ανταποκρίνεται σε όλες τις επιμέρους μορφές των μοντέλων. Άλλα ερωτήματα που εξετάστηκαν είναι: γιατί το επιστημονικό μοντέλο αποτελεί μια τόσο σημαντική τεχνική, πώς αιτιολογείται ο σταθερός ρόλος του, η εκτεταμένη χρήση και η διαρκής εξέλιξή του στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία; Τι είναι, δηλαδή, αυτό που καθιστά τα μοντέλα απαραίτητες τεχνικές για τη σύγχρονη επιστήμη, αναπόσπαστα τμήματα της σύγχρονης επιστημονικής μεθοδολογίας; Και, εν τέλει, τι προσφέρει η αξιοποίηση των μοντέλων που άλλες αποδεκτές επιστημονικές τεχνικές δε μπορούν να προσφέρουν στην επιστημονική έρευνα;

Στο πλαίσιο αυτό, υποστηρίχθηκε ότι προκειμένου να κατανοηθεί η έννοια του μοντέλου και να διατυπωθεί ένας επαρκής ορισμός ικανός να περιγράψει και να ορίζει όλα τα είδη των μοντέλων, θα πρέπει να απαντηθούν τρία βασικά ερωτήματα: τι είναι μοντέλο, τι δεν είναι μοντέλο και ποιες είναι οι βασικές κατηγορίες επιστημονικών μοντέλων που αξιοποιούνται στη σύγχρονη επιστήμη; Όπως αναφέρθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο, ενώ παρατηρείται η διατύπωση αρκετά ικανοποιητικών ορισμών για επιμέρους κατηγορίες μοντέλων όπως των μοντέλων αναλογίας, των θεωρητικών, των μαθηματικών και πολλών άλλων συγκεκριμένων κατηγοριών μοντέλων, οι περισσότερες προσπάθειες ορισμού της έννοιας του μοντέλου εστιάζουν στην αναπαραστατική του λειτουργία, η οποία σαφώς είναι

σημαντική, αλλά δεν αρκεί για τον επαρκή ορισμό της τεχνικής αυτής. Ένας επαρκής ορισμός πρέπει να αναδεικνύει τον ρόλο, τη σημασία, τη δύναμη αλλά και τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας της τεχνικής αυτής. Στο πλαίσιο αυτό διατυπώθηκε ο κάτωθι ορισμός:

Το επιστημονικό μοντέλο αποτελεί μια σταθερά εξελισσόμενη επιστημονική τεχνική, η οποία συνδέει την ανθρώπινη σκέψη με τον πραγματικό κόσμο, λαμβάνοντας διαφορετικές μορφές ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής της και τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας. Αξιοποιείται προκειμένου να συμβάλει στον έλεγχο μιας συγκεκριμένης κάθε φορά ερευνητικής υπόθεσης αναφορικά με ένα μη προσβάσιμο ή δυσπρόσιτο τμήμα του φυσικού κόσμου ή την ερμηνεία μιας θεωρίας, πράγμα που επιτυγχάνεται μέσω του βασικού μηχανισμού του μοντέλου που καθορίζει την αναπαραστατική του λειτουργία, δηλαδή της ομοιότητας, η οποία, όταν είναι εφικτό, ορίζεται με αυστηρά κριτήρια κατά το στάδιο της επινόησης, επιλογής ή κατασκευής του μοντέλου αλλά και κατά το στάδιο της επέκτασης των συμπερασμάτων από το μοντέλο στο υπό εξέταση σύστημα.

Επιπλέον, σημαντική προσθήκη της παρούσας προσέγγισης υπήρξε και ο εντοπισμός και η διερεύνηση συχνών παρανοήσεων αναφορικά με την έννοια του μοντέλου, στην προσπάθεια απάντησης στην ερώτηση: τι δεν είναι μοντέλο. Ο εντοπισμός των παρανοήσεων αυτών και της για αρκετά χρόνια γενικευμένης αποδοχής τους αποδεικνύει και τη σημασία της απάντησης στην συγκεκριμένη ερώτηση προκειμένου να κατανοηθεί με σαφήνεια η έννοια του μοντέλου. Σε αυτό το σημείο διαπιστώθηκε ότι το επιστημονικό μοντέλο δεν αποτελεί βοηθητικό μέσο, όπως για παράδειγμα ένα μικροσκόπιο, καθώς η βασική λειτουργία του μοντέλου είναι η αναπαράσταση συστημάτων που δεν μπορούν να ερευνηθούν απευθείας και όχι η αξιοποίηση του για την παρατήρηση του υπό εξέταση συστήματος. Επίσης, η έννοια του επιστημονικού μοντέλου δεν θα πρέπει να ταυτίζεται με την έννοια του θεωρητικού μοντέλου ή του μοντέλου ενδιάμεσου σταδίου μεταξύ θεωρίας και πραγματικού κόσμου καθώς, όπως υποστήριξε και η Sterrett, υπάρχουν πολλές κατηγορίες μοντέλων που αποτελούν τμήματα του πραγματικού κόσμου. Σημαντικό συμπέρασμα που προέκυψε από την εξέταση των δύο τελευταίων παρανοήσεων αναφορικά με την κατανόηση της έννοιας του μοντέλου είναι ότι η ο ρόλος της τεχνικής αυτής στην επιστημονική μεθοδολογία δεν επηρεάζεται από τη φύση της. Το μοντέλο, δηλαδή, λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος της ανθρώπινης σκέψης με

τον πραγματικό κόσμο και πιο συγκεκριμένα των βασικών ερευνητικών ερωτημάτων με τα υπό εξέταση τμήματα του πραγματικού κόσμου, χωρίς να τοποθετείται απαραίτητα σε κάποιο ενδιάμεσο στάδιο ή να γίνεται αντιληπτό ως κάτι διαφορετικό από τη θεωρία ή τον πραγματικό κόσμο. Η φύση του εκάστοτε μοντέλου, το εάν, δηλαδή, αποτελεί θεωρητική δομή, νοητική κατασκευή ή φυσική διάταξη κ.α. δεν επηρεάζει τον βασικό ρόλο του ως συνδετικού κρίκου σκέψης και πραγματικότητας, ο οποίος παραμένει σταθερός ανεξάρτητα από αυτήν.

Τέλος, προτείνεται ως κριτήριο κατηγοριοποίησης των μοντέλων η ίδια η φύση του μοντέλου, ως το κριτήριο εκείνο που μπορεί να εξασφαλίσει μια διάκριση βασικών κατηγοριών, στις οποίες να συμπεριλαμβάνονται όλα τα είδη μοντέλων αλλά και κάθε είδος σε μία και μόνο κατηγορία. Η πρόταση αυτή απέκτησε συγκεκριμένη μορφή στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής.

Στο ερώτημα τι προσφέρει η αξιοποίηση των μοντέλων που άλλες επίσημες επιστημονικές τεχνικές δεν μπορούν να προσφέρουν στην επιστημονική έρευνα και κατ' επέκταση γιατί η αξιοποίηση της τεχνικής αυτής αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης επιστημονικής μεθοδολογίας, η απάντηση που δόθηκε διασαφηνίζει τον σκοπό επιλογής ή κατασκευής και συστηματικής αξιοποίησης των επιστημονικών μοντέλων. Ξεκινώντας από μια σημαντική παρατήρηση της Sterrett, κατά την οποία τα επιστημονικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να βοηθήσουν στην εξέταση συστημάτων που δεν μπορούν να εξεταστούν απευθείας από τον ερευνητή, συμπληρώθηκε ότι αξιοποιούνται και για εξέταση, περιγραφή και πρόβλεψη αναφορικά με συστήματα δυσπρόσιτα, δηλαδή συστήματα που είναι δύσκολο να εξεταστούν απευθείας για διάφορους λόγους. Συνοπτικά, έγινε αναφορά στις αιτίες που οδηγούν στην αξιοποίηση των μοντέλων σύμφωνα με τη Sterrett, όπως στην χρήση μοντέλων για μελέτη συστημάτων που απέχουν χρονικά ή χωρικά από τον ερευνητή και συστημάτων των οποίων το μέγεθος δεν επιτρέπει την άμεση διερεύνησή τους. Τα ζητήματα αυτά αναπτύχθηκαν με την αξιοποίηση συγκεκριμένων παραδειγμάτων, όπως του μοντέλου που εισήγαγε ο Bohr για να εξηγήσει τη δομή του ατόμου, των μοντέλων αναπαράστασης του μηχανισμού των Αντικυθήρων, των μοντέλων αναπαράστασης σκηνών εγκλήματος στην επιστήμη της εγκληματολογίας, των φυσικομαθηματικών μοντέλων που αξιοποιούνται προκειμένου να προβλέψουν σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστειών ή ακόμα και ακραία καιρικά φαινόμενα και των οικονομικό-προβλεπτικών μοντέλων.

Επίσης, έγινε αναφορά σε δύο ακόμα αιτίες αξιοποίησης των επιστημονικών μοντέλων, τις οποίες δεν είχε επισημάνει η Sterrett. Συγκεκριμένα έγινε αναφορά στην αξιοποίηση μοντέλων στο πεδίο της μηχανικής με σκοπό την πιλοτική δοκιμή μοντέλων μηχανοκίνητων οχημάτων ή κτηρίων και τον κατάλληλο σχεδιασμό τους πριν την κατασκευή τους σε πλήρες μέγεθος και στην αξιοποίηση μοντέλων σε συγκεκριμένες περιπτώσεις που ηθικοί λόγοι καθιστούν προτιμότερη την πειραματική χρήση των μοντέλων παρά του συστήματος στόχου, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση της αξιοποίησης μοντέλων οργανισμών στα πεδία της ιατρικής, της φαρμακευτικής και της βιολογίας.

Άλλη προσθήκη της συγκεκριμένης διατριβής υπήρξε η ιστορική ανασκόπηση των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Η εξέταση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας και της πειραματικής εφαρμογής του μηχανισμού της ομοιότητας οδήγησε στη διάκριση πέντε συγκεκριμένων εξελικτικών σταδίων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα παράλληλα με την εξέλιξη της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας. Η διάκριση των σταδίων αυτών κρίνουμε ότι αποτελεί σημαντική προσθήκη στις μέχρι σήμερα προσεγγίσεις της έννοιας της ομοιότητας για συγκεκριμένους λόγους. Αρχικά καλύπτει ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, από το 3.200 π.Χ. έως σήμερα, εστιάζοντας ασφαλώς σε συγκεκριμένες θεωρίες και εφαρμογές της ομοιότητας που κρίθηκαν ως σημαντικές και επελέγησαν ως αντιπροσωπευτικές για το αντίστοιχο εξελικτικό στάδιο, για την αντίστοιχη ιστορική περίοδο. Επιδιώχθηκε, επίσης, η εξέταση της πειραματικής αξιοποίησης ή της θεωρητικής προσέγγισης της ομοιότητας από εκπροσώπους διαφορετικών επιστημονικών πεδίων (της φυσικής, της αστροφυσικής, της ιατρικής, της κοσμολογίας, της γεωμετρίας, της μηχανικής, της φυσικής φιλοσοφίας, της σύγχρονης φιλοσοφίας της επιστήμης) ώστε να κατανοηθεί και να παρουσιαστεί η εφαρμογή της στο γενικότερο πλαίσιο της μεθοδολογίας της κάθε περιόδου. Η διάκριση των εξελικτικών αυτών σταδίων δεν συμβάλλει απλά στην καταγραφή θεωριών ή αποκλειστικά στην παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης των υπό εξέταση εννοιών και τεχνικών, αλλά τοποθετεί τις θεωρίες που αναπτύχθηκαν αναφορικά με τις έννοιες αυτές σε συγκεκριμένα ιστορικά πλαίσια που διαμορφώνονται από συγκεκριμένες κάθε φορά συνθήκες. Επομένως, συμβάλλει στην κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου μέσα σε αυτά τα συγκεκριμένα πλαίσια, αναδεικνύοντας και τους λόγους



που οδήγησαν στον συγκεκριμένο τρόπο εννοιοδότησης και πειραματικής αξιοποίησής τους από τους φυσικούς φιλοσόφους, του επιστήμονες ή φιλοσόφους της επιστήμης της κάθε περιόδου. Για όλους αυτούς τους λόγους υποστηρίζεται ότι η ιστορική ανασκόπηση της ομοιότητας συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση της έννοιας και του τρόπου λειτουργίας του μηχανισμού της ομοιότητας κατά έναν σφαιρικότερο και επαρκέστερο τρόπο αναδεικνύοντας τη δύναμη και τον ρόλο του σε ένα εύρος επιστημονικών πεδίων και κατ' επέκταση τη σημασία του για την πρόοδο της επιστημονικής γνώσης των πεδίων αυτών αλλά και της επιστημονικής γνώσης στο σύνολό της.

Επίσης, η ίδια η διάκριση των εξελικτικών σταδίων της ομοιότητας οδήγησε σε ένα σημαντικό συμπέρασμα αναφορικά με τη σχέση της εξέλιξης της ομοιότητας και της εξέλιξης της επιστημονικής δραστηριότητας. Αρχικά, μέσω της διάκρισης των σταδίων σκιαγραφείται η εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας από την τεχνοκρατική αξιοποίησή της στην μεθοδολογία των αρχαίων Αιγυπτίων, στη συνειδητή αξιοποίησή της στην αρχαία ελληνική φυσική φιλοσοφία που απέκτησε σημαντική μεθοδολογική σημασία και έπειτα στην περίοδο απουσίας της κατά τη διάρκεια των σκοτεινών χρόνων του Μεσαίωνα. Επιπλέον, αναδείχθηκε η μετάβαση από την απουσία της ομοιότητας κατά την περίοδο του Μεσαίωνα στο στάδιο της κατανόησης και συστηματικής αξιοποίησής της στις φυσικές επιστήμες (16<sup>ος</sup>-19<sup>ος</sup> αιώνας) που συμπίπτει με την εμφάνιση της νέας επιστήμης και αποκτά νέα σημασία, αυτή τη φορά ως μεθοδολογική ιδέα των όμοιων συστημάτων που εκφράστηκε πειραματικά κυρίως από τον Γαλιλαίο ενώ ορίστηκε για πρώτη φορά από τον Νεύτωνα. Τέλος, το πέμπτο στάδιο που τοποθετείται στην περίοδο από τον 19<sup>ο</sup> αι. έως σήμερα, αντιστοιχεί στην αποδοχή της ομοιότητας ως επιστημονικής τεχνικής, στην επέκταση της εφαρμογής της σε πολλούς επιστημονικούς τομείς αλλά και στην προσπάθεια θεωρητικής τεκμηρίωσης της έννοιας από σημαντικό αριθμό σύγχρονων επιστημόνων και φιλοσόφων.

Από την παρουσίαση της ιστορίας και των συγκεκριμένων σταδίων της εννοιοδότησης και της πειραματικής εφαρμογής του μηχανισμού της ομοιότητας προέκυψε το συμπέρασμα κατά το οποίο η ομοιότητα εμφανίστηκε κατά την περίοδο που τοποθετούνται οι ρίζες της επιστήμης στην Αρχαία Αίγυπτο, κατανοήθηκε και αξιοποιήθηκε συνειδητά κατά την περίοδο της γένεσης της επιστήμης στην κλασσική αρχαιότητα και αξιοποιήθηκε εκτεταμένα και

συστηματικά μετά την επιστημονική επανάσταση. Επομένως, η ομοιότητα ως μηχανισμός κατάκτησης, κατηγοριοποίησης, περιγραφής της γνώσης του φυσικού κόσμου και εξήγησης και πρόβλεψης των φυσικών φαινομένων εμφανίστηκε και εξελίχθηκε παράλληλα και με όμοιο τρόπο με την εξέλιξη της επιστημονικής δραστηριότητας. Το γεγονός αυτό δεν είναι τυχαίο. Αντιθέτως αποδεικνύει ότι η ομοιότητα αποτελεί έναν μηχανισμό άρρηκτα συνδεδεμένο με την ανθρώπινη διανοητική δραστηριότητα, είτε την ονομάζουμε “episteme” κατά τον Πλάτωνα, είτε φυσική φιλοσοφία κατά τον Αριστοτέλη, είτε science κατά τους, μετά το 1830, επιστήμονες.

Άλλος λόγος που καθιστά σημαντική τη διάκριση των εξελικτικών σταδίων της έννοιας της ομοιότητας είναι η συμβολή της στην ανάδειξη σημαντικών μεταβατικών περιόδων που καθόρισαν την ταχύτερη, εκτενέστερη ή συστηματικότερη αξιοποίηση του μηχανισμού της. Εάν κληθούμε να διακρίνουμε τις σημαντικότερες από αυτές τις μεταβάσεις, θα πρέπει σίγουρα να αναφερθούμε σε δύο: στη μετάβαση από την καθαρά τεχνοκρατική αξιοποίηση της ομοιότητας με σκοπό την κάλυψη πρακτικών αναγκών από τους Αιγύπτιους στην κλασική εποχή, κατά την οποία οι αρχαίοι Έλληνες φυσικοί φιλόσοφοι και μαθηματικοί φαίνεται ότι την αξιοποίησαν συνειδητά αποσκοπώντας όχι μόνο στην εύρεση πρακτικών λύσεων αλλά και στην κατάκτηση της γνώσης του φυσικού κόσμου. Η συγκεκριμένη μετάβαση υπήρξε καθοριστική για τη συνειδητή τοποθέτηση του μηχανισμού της ομοιότητας μέσα στην επιστημονική μεθοδολογία, για τη σύνδεσή της με τη διαδικασία που οδηγεί στην κατάκτηση της γνώσης καθ’εαυτήν, γεγονός που καθόρισε τη μετέπειτα πορεία της μέχρι σήμερα. Δεύτερη καθοριστική μετάβαση υπήρξε εκείνη από την απουσία της κατά την περίοδο του Μεσαίωνα στην αναγνώριση του ρόλου και της σημασίας του μηχανισμού της ομοιότητας στην πειραματική μεθοδολογία του 17<sup>ου</sup> αιώνα. Η μετάβαση αυτή αντιστοιχεί στο πέρασμα από μια περίοδο απουσίας του μηχανισμού της ομοιότητας από την επιστημονική μεθοδολογία της συγκεκριμένης εποχής, στη συστηματική του χρήση και υπό αυτή την έννοια η μετάβαση αυτή προδιαγράφει την μετέπειτα επέκταση της χρήσης του και την ανάγκη της θεωρητικής του τεκμηρίωσης.

Τελευταίος λόγος για τον οποίον η ιστορική ανασκόπηση της έννοιας της ομοιότητας και η διάκριση των πέντε σταδίων κρίνουμε ότι αποτελεί σημαντική προσθήκη είναι ότι μέσω αυτής αναδεικνύεται ο ρόλος και η σημασία των

αναθεωρήσεων, των προσθηκών, των επαναπροσδιορισμών προηγούμενων θεωριών στην εξέλιξη της επιστημονικής γνώσης περί την ομοιότητα. Αυτό ισχύει και στην περίπτωση της εξέτασης της ιστορικής εξέλιξης του επιστημονικού μοντέλου. Η εξέλιξη της κατανόησης και της εφαρμογής του μηχανισμού της ομοιότητας και της τεχνικής του μοντέλου αναδεικνύεται μέσω ενός διαλόγου που ξεκίνησε αιώνες πριν και συνεχίζεται μέχρι σήμερα· ενός διαλόγου με μορφή θεωριών, κατά τον οποίον οι ανεπάρκειες ή τα κενά της προηγούμενης τροφοδοτούσαν την επόμενη θεωρία ή οποία με τη σειρά της την επόμενη κ.ο.κ. Ο διάλογος αυτός είναι ατελείωτος αν σκεφτούμε ότι συνήθως μια θεωρία δεν μπορεί να απαντήσει σε όλα τα ερωτήματα αναφορικά με ένα υπό εξέταση ζήτημα ή να καλύψει όλα τα κενά. Ακόμα και στην περίπτωση εκείνη που το υπό εξέταση ζήτημα είναι πολύ συγκεκριμένο και περιορισμένο, και υπάρχει πιθανότητα να καλυφθεί πλήρως μέσω μιας θεωρίας, δεν είναι απαραίτητο ότι θα γίνει αποδεκτή από όλους ή ότι δε θα συμπεριλαμβάνει προοπτικές μελλοντικής έρευνας. Τιοιουτοτρόπως, και σε αυτήν την περίπτωση ο διάλογος θα συνεχίζεται και νέες θεωρίες θα διατυπώνονται, διαιωνίζοντας τον ατέλειωτο αυτόν κύκλο αναζήτησης και κατάκτησης της επιστημονικής γνώσης.

Συνοψίζοντας, η διάκριση των σταδίων και ο εντοπισμός σημαντικών μεταβάσεων στην εξέλιξη του μηχανισμού της ομοιότητας συμβάλλουν σημαντικά στην κατανόηση των διαφορετικών τρόπων αντίληψης και αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας σε διαφορετικά χρονικά στάδια εξέλιξης της επιστημονικής σκέψης και μεθοδολογίας. Τιοιουτοτρόπως, μέσω της παρουσίασης της μακράς ιστορίας της ομοιότητας αναδεικνύεται και αιτιολογείται η σημαντική θέση που κατέχει ο μηχανισμός αυτός στη σύγχρονη επιστήμη. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, εστίασαμε στην παρουσίαση των σταδίων, των μεταβάσεων και των θεωριών που κρίθηκαν σημαντικότερες για την εξυπηρέτηση βασικού στόχου της, δηλαδή της ενίσχυσης της κατανόησης της έννοιας και του ρόλου της ομοιότητας ως σημαντικού επιστημονικού μηχανισμού.

Κατ' αντιστοιχία με την εξέταση της ιστορικής εξέλιξης της ομοιότητας μελετήθηκε και η εξέλιξη της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου, η οποία οδήγησε σε συλλογή πολλών πληροφοριών, σε σημαντικές παρατηρήσεις και ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Ερώτημα που επιδιώχθηκε να απαντηθεί ήταν: ποιο είναι το πρώτο μοντέλο που φαίνεται ότι χρησιμοποιήθηκε

σύμφωνα με τις υπάρχουσες πηγές; Τα αποτελέσματα της εκτενούς αναζήτησης οδήγησαν στην προϊστορική κατασκευή που ανακαλύφθηκε στην έρημο Νουβία, που βρίσκεται δυτικά του Νείλου, σε απόσταση 800 περίπου χιλιομέτρων από το Κάιρο, η οποία είναι γνωστή με την ονομασία κύκλος των πετρών της Nabta Playa και τα γλυπτά cowstone και bedrock που εντοπίστηκαν θαμμένα σε ένα από τα δώδεκα αναχώματα που υπήρχαν κάτω από το μνημείο, εκ των οποίων έχουν διερευνηθεί μόνο τα δύο μέχρι σήμερα. Δεδομένου ότι, όπως πιστεύεται σήμερα, ο κύκλος των πετρών αναπαριστούσε συγκεκριμένους αστερισμούς και έδινε τη δυνατότητα παρατήρησης του ουρανού και πρόβλεψης των θερινών μουσώνων και των ηλιοστασίων και τοιουτοτρόπως κατήθυνε τους προϊστορικούς Αιγύπτιους σχετικά με τις καλλιέργειες ή τις μετακινήσεις τους σε άλλες περιοχές, στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας υποστηρίζεται ότι το μνημείο αυτό αποτελεί το αρχαιότερο μοντέλο κλίμακας που έχει εντοπιστεί μέχρι σήμερα καθώς τοποθετείται χρονικά στο 4.800 π.Χ. Ως μοντέλο κλίμακας είχε χαρακτηριστεί από τον αρχαιολογικό Brophy το γλυπτό bedrock που βρισκόταν κάτω από το cowstone, το οποίο σύμφωνα με τον ερευνητή αναπαριστούσε το κέντρο του γαλαξία μας. Ωστόσο, ο κύκλος των πετρών δεν είχε χαρακτηριστεί ως μοντέλο μέχρι σήμερα. Η αναπαραστατική του λειτουργία, η δυνατότητα αξιοποίησής του για την κατανόηση ενός μη προσιτού συστήματος και η δυνατότητα πρόβλεψης για αυτό συνηγορούν υπέρ της άποψης που υποστηρίζεται εδώ, κατά την οποία και ο κύκλος των πετρών αποτελεί μοντέλο κλίμακας και μάλιστα μαζί με το cowstone και το bedrock sculpture αποτελούν τα αρχαιότερα μοντέλα που έχουν εντοπιστεί μέχρι σήμερα.

Όπως στην περίπτωση μελέτης της ιστορικής εξέλιξης της ομοιότητας έτσι και στην περίπτωση της μελέτης της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας και της αξιοποίησης των επιστημονικών μοντέλων, τα συμπεράσματα που προέκυψαν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στην περίπτωση αυτή μάλιστα, δεδομένου ότι η λειτουργία του μοντέλου είναι αρκετά συγκεκριμένη, ο εντοπισμός βασικών θεωριών και παραδειγμάτων αξιοποίησής τους υπήρξε πιο εύκολος απ' ό,τι στην περίπτωση του μηχανισμού της ομοιότητας. Συγκεκριμένα, επιλέγοντας και πάλι θεωρίες - σταθμούς αναφορικά με την έννοια αλλά και χαρακτηριστικά παραδείγματα αξιοποίησης μοντέλων, σκιαγραφήθηκε η ιστορία της σημαντικής αυτής τεχνικής από την περίπτωση του κύκλου των πετρών της Nabta Playa έως τις σύγχρονες

θεωρίες που προέρχονται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και επιδιώκουν να τεκμηριώσουν θεωρητικά την τεχνική του μοντέλου. Έγινε περιγραφή των βασικών μοντέλων που χρησιμοποιούνταν στην αρχαία Αίγυπτο και Μεσοποταμία, όπως τα μοντέλα οργανισμών (animal models) στην αιγυπτιακή ιατρική και τα μαθηματικά μοντέλα των αρχαίων Βαβυλώνιων. Περιεγράφηκαν τρία αντιπροσωπευτικά παραδείγματα μοντέλων της κλασικής εποχής, το γεωκεντρικό σύστημα του Πτολεμαίου ως θεωρητικό μοντέλο, η ατομική θεωρία του Δημόκριτου ως φανταστικό ή διανοητικό μοντέλο και η αξιοποίηση μοντέλων ζώων από τους Ιπποκρατικούς και τον Γαληνό, ως μοντέλα αναλογίας βιολογικών οργανισμών. Όπως στην περίπτωση της ομοιότητας έτσι και στην περίπτωση των μοντέλων, παρατηρείται η απουσία τους από την επιστημονική μέθοδο της περιόδου του Μεσαίωνα αλλά και η αποδοχή και η ένταξή τους στην επιστημονική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών και της μηχανικής μετά την επιστημονική επανάσταση και τον Διαφωτισμό.

Στην περίπτωση εξέτασης της ιστορικής εξέλιξης των μοντέλων, διακρίθηκε ως μια πολύ σημαντική μεταβατική περίοδος εκείνη των τελών του 19<sup>ου</sup> αιώνα και των αρχών του 20<sup>ου</sup>, που εντοπίζεται η μετάβαση από την αξιοποίηση των μοντέλων για την κατάκτηση της γνώσης του κόσμου στην αναζήτηση της γνώσης για τα ίδια τα μοντέλα. Στην αρχή αυτής της περιόδου διατυπώνονται οι πρώτες θεωρίες αναφορικά με την έννοια του μοντέλου. Μια σημαντική παρατήρηση που προέκυψε από την μελέτη της εξέλιξης των φιλοσοφικών προσεγγίσεων της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου είναι ότι, από το 1920 που ξεκίνησε η συζήτηση περί τα μοντέλα στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης μέχρι σήμερα, διακρίνονται τρία βασικά στάδια στην κατανόηση της έννοιας του μοντέλου στο πεδίο αυτό. Από το 1920 μέχρι περίπου το 1960 η πλειοψηφία των φιλοσόφων της επιστήμης αντιλαμβάνεται και ορίζει τα μοντέλα ως θεωρητικές δομές. Από το 1960 μέχρι το 2000 οι περισσότερες θεωρίες αποδέχονται και παρουσιάζουν τα μοντέλα ως ενδιάμεσα στάδια μεταξύ θεωρίας και πραγματικότητας. Από τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα αναγνωρίζονται τα μοντέλα φυσικές διατάξεις ως αποδεκτές επιστημονικές τεχνικές, άποψη που εισήχθη και υποστηρίχθηκε ένθερμα στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης από την θεώρηση της Sterrett.

Όπως γίνεται αντιληπτό οι έννοιες του μοντέλου και της ομοιότητας μέχρι σήμερα έχουν αξιοποιηθεί εκτενώς από το πεδίο των φυσικών επιστημών και έχουν

διερευνηθεί ως έναν βαθμό από εκπροσώπους του πεδίου της φιλοσοφίας της επιστήμης. Σε αυτό το πλαίσιο, προέκυψε το βασικό ερώτημα: ποιος εν τέλει είναι ο ρόλος των φυσικών επιστημών και ποιος ο ρόλος της φιλοσοφίας της επιστήμης στην κατανόηση και την αποτελεσματική αξιοποίηση των δύο αυτών εννοιών; Μέσω της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας και της αξιοποίησης της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου από τον 17<sup>ο</sup> έως τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα αλλά και μέσω της εξέτασης των παραδειγμάτων του μοντέλου του Darcy και της διάκρισης σταδίων λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας της Sterrett οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι ο ρόλος των φυσικών επιστημών είναι η διαμόρφωση του πεδίου εφαρμογής, η ίδια η εφαρμογή και η συνεχής ανάπτυξη της τεχνικής του μοντέλου ενώ ο ρόλος της φιλοσοφίας της επιστήμης είναι η θεωρητική τεκμηρίωση του σημαντικού αυτού εργαλείου που θα επιτρέψει την κατανόηση της έννοιας, των δυνατοτήτων που παρέχει κατά την ερευνητική αξιοποίησή του και κατ' επέκταση θα συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη και αποδοτικότερη αξιοποίησή του. Επομένως, κάθε ένα από αυτά τα πεδία συμβάλλει συμπληρωματικά κατά διαφορετικό αλλά καθοριστικό τρόπο στην κατανόηση και αξιοποίηση του μοντέλου ως επιστημονικού εργαλείου. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη σημασία ανάπτυξης ενός διεπιστημονικού διαλόγου αναφορικά με τα μοντέλα και την ομοιότητα μεταξύ των δύο αυτών πεδίων, ώστε να επιτευχθεί μια επαρκής θεωρητική τεκμηρίωση των εννοιών αυτών που θα συμβάλλει στην αποδοτικότερη αξιοποίηση του μοντέλου και της ομοιότητας στην επιστημονική πρακτική. Πιο συγκεκριμένα, η φιλοσοφία παρέχει τη θεωρία και τους ορισμούς που θα διευκολύνουν την κατανόηση της γνώσης των ίδιων των τεχνικών, η οποία θα συνεπάγεται την αποδοτικότερη πειραματική εφαρμογή τους από τους φυσικούς επιστήμονες, η οποία με τη σειρά της θα ανατροφοδοτεί τη γνώση για τις ίδιες αυτές τις τεχνικές στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Οι δύο, λοιπόν, αυτοί τομείς μέσω ενός διεπιστημονικού διαλόγου μπορούν να οδηγήσουν σε έναν κύκλο ανατροφοδοτήσεων γνώσης περί την ομοιότητα και τα μοντέλα, καθοριστικό για την κατανόηση αυτών των εννοιών και την διαρκή εξέλιξη των αντίστοιχων τεχνικών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο προσεγγίστηκε κριτικά η θεωρία της Sterrett αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας, των όμοιων συστημάτων και των επιστημονικών μοντέλων στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Από τη μελέτη των άρθρων της

φιλοσόφου εντοπίστηκαν οι σημαντικότερες συνεισφορές της στην κατανόηση των εννοιών αυτών στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Η συμβολή της Sterrett εντοπίζεται αφενός στην ανάδειξη σημαντικών κενών αναφορικά με την κατανόηση των υπό εξέταση εννοιών στη φιλοσοφία της επιστήμης και αφετέρου στην επιχειρηματολογία της με σκοπό την κάλυψη ορισμένων εξ αυτών των κενών.

Η Sterrett επισημαίνει ότι παρόλο που η έννοια της ομοιότητας έχει εξεταστεί από φυσικούς επιστήμονες και μηχανικούς σε σημαντικό βαθμό, δεν έχει εξεταστεί εκτενώς από τους φιλοσόφους της επιστήμης, οι οποίοι συχνά αντιλαμβάνονται την ομοιότητα ως την ύπαρξη μίας κοινής ή όμοιας ιδιότητας. Ορισμένοι μάλιστα υποστηρίζουν ότι καθετί είναι όμοιο με διάφορα πράγματα και υπό αυτή την έννοια ο προσδιορισμός της ομοιότητας δε συνεπάγεται κάτι περισσότερο από τη συγκέντρωση και την επιλογή των χαρακτηριστικών που εξυπηρετούν ρεαλιστικούς σκοπούς (Giere, 2004: 747). Άλλοι φιλόσοφοι της επιστήμης περιορίζονται στην αποδοχή της άποψης κατά την οποία η ιδέα των όμοιων συστημάτων κρίνεται χρήσιμη κατά την αξιοποίηση μεθόδων που συμβάλουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τις τιμές συγκεκριμένων ποσοτήτων ενός συστήματος που προκύπτουν από την παρατήρηση άλλου συστήματος. Η Sterrett, όμως, επισημαίνει ότι η αξιοποίηση της ομοιότητας σε πρακτικές που αποσκοπούν στον προσδιορισμό και την πρόβλεψη μιας συγκεκριμένης μη προσβάσιμης με άλλον τρόπο ποσότητας, είναι σημαντική, αλλά δεν περιορίζεται μόνο σε αυτό. Στη θεωρία της η Sterrett υποστηρίζει ότι η ομοιότητα αξιοποιείται πάντα κατά τη διαδικασία εξαγωγής συμπερασμάτων, είτε αυτό αναγνωρίζεται ρητά είτε όχι (Sterrett 2006: 69-80). Επίσης, η Sterrett παρατηρεί ότι συνήθως στη φιλοσοφία της επιστήμης δε συσχετίζεται η ομοιότητα με την αναλογία και με τη θεωρία των διαστάσεων, παρόλο που έχουν διατυπωθεί ορισμένες σημαντικές θεωρίες αναφορικά με αυτά τα ζητήματα στη φιλοσοφία της επιστήμης (Krantz, 1971: 454-544), οι οποίες, όμως, δεν είναι κατάλληλα προσαρμοσμένες σε αυτό το πεδίο.

Συνοπτικά, οι σημαντικότερες συμβολές της θεωρίας της Sterrett αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας εντοπίζονται στη σύνδεση της ομοιότητας με την έννοια της αναλογίας και με τη μέθοδο ανάλυσης διαστάσεων, στην ανάδειξη του ρόλου της ερευνητικής υπόθεσης κατά τον ορισμό της ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων και στην ανάδειξη της λειτουργίας της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού κλίμακας των επιστημονικών μοντέλων. Τέσσερα άλλα σημαντικά ζητήματα που

εξέτασε εκτενώς η Sterrett αναφορικά με τον μηχανισμό της ομοιότητας είναι στο πλαίσιο ποιων μεθοδολογιών χρησιμοποιείται ο μηχανισμός της ομοιότητας, πώς εμπλέκονται η θεωρία, οι αρχές και οι νόμοι στην κατασκευή και τη λειτουργία του επιστημονικού μοντέλου καθώς και το πώς επιλέγονται τα κριτήρια με τα οποία ορίζεται η ομοιότητα μεταξύ δυο συστημάτων και εάν η αντιγραφή ενός συστήματος συνιστά ομοιότητα. Τέλος, ιδιαίτερα καινοτόμος υπήρξε η πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε δύο ευρείες κατηγορίες που προτάθηκε από τη φιλόσοφο.

Σύμφωνα με σημαντική παρατήρηση της Sterrett η έννοια της φυσικής ομοιότητας αποτελεί γενίκευση της γεωμετρικής ομοιότητας και επομένως η ομοιότητα είναι ζήτημα αναλογίας σχέσεων και όχι ζήτημα εύρεσης ενός κοινού χαρακτηριστικού μεταξύ δυο συστημάτων ή φαινομένων. Μια από τις σημαντικές συμβολές της Sterrett στην εξέλιξη της εννοιοδότησης της ομοιότητας εντοπίζεται στην έμφαση που έδωσε στη σημασία και τον ρόλο της επιστημονικής υπόθεσης υπό το πρίσμα της οποίας προσδιορίζεται πάντα η ομοιότητα μεταξύ δύο φυσικών συστημάτων. Ο ρόλος της διατύπωσης της ερευνητικής υπόθεσης είναι θεμελιώδης στη διαδικασία κατάκτησης της επιστημονικής γνώσης αναφορικά με τα φαινόμενα, καθώς αποκαλύπτει την κατεύθυνση και τον σκοπό της έρευνας, κατευθύνει την επιλογή μεθόδων, τεχνικών, εργαλείων και βάσει αυτής σχεδιάζεται και διεξάγεται ο πειραματισμός, ενώ τα αποτελέσματα του πειράματος ελέγχονται πάντα υπό το πρίσμα της υπόθεσης και αξιοποιούνται ώστε να ελέγξουν την εγκυρότητα αυτής. Ο ρόλος, λοιπόν, της ερευνητικής υπόθεσης είναι καθοριστικός και κατά την αξιοποίηση του μηχανισμού της ομοιότητας ως πειραματικής τεχνικής κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων που αποσκοπούν στην περιγραφή, εξήγηση, πρόβλεψη συγκεκριμένου κάθε φορά φαινομένου. Η παρατήρησή της αυτή είναι τόσο σημαντική που από τη μια εγείρει ερωτήματα για τη μη, μέχρι τη θεώρηση της Sterrett, συσχέτισή της με την έννοια του μηχανισμού της ομοιότητας και από την άλλη αποδεικνύει τη σημασία της προσθήκης αυτής της φιλοσόφου στον ορισμό της ομοιότητας.

Σύμφωνα με μια άλλη σημαντική παρατήρηση της φιλοσόφου η επιστημονική εξήγηση που βασίζεται στον μηχανισμό της ομοιότητας συγκεκριμένων φυσικών ποσοτήτων φυσικών συστημάτων σχετίζεται σε σημαντικό βαθμό με τη μέθοδο της ανάλυσης διαστάσεων. Η Sterrett, στο πλαίσιο της γενικότερης προσπάθειάς της να



εξηγήσει την έννοια της ομοιότητας φυσικών ποσοτήτων ή σχέσεων φυσικών ποσοτήτων, αξιοποιεί τη σχέση της ομοιότητας με την έννοια της αναλογίας φυσικών ποσοτήτων που συχνά απεικονίζεται μέσω μαθηματικών λόγων, οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν αδιάστατες παραμέτρους (Sterrett, 2010: 799-824).

Τα θεμελιώδη αυτά ζητήματα αναφορικά με την κατανόηση της έννοιας της ομοιότητας προσεγγίστηκαν συστηματικά και εξετάστηκαν σε βάθος από τη φιλόσοφο. Για όλους αυτούς του λόγους οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, κατά το οποίο οι αντιλήψεις της Sterrett τοποθετούνται μεταξύ των σημαντικών σταθμών εξέλιξης της έννοιας της ομοιότητας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το εξελικτικό σχήμα της ομοιότητας που προέκυψε από αυτή τη διατριβή, από τον 17ο αιώνα μέχρι σήμερα, διακρίνουμε τρεις σημαντικές μεταβάσεις: από την έννοια της γεωμετρικής ομοιότητας του Νεύτωνα, στην έννοια της φυσικής ομοιότητας του Buckingham, στην έννοια της φυσικής ομοιότητας ως μηχανισμού κλίμακας των επιστημονικών μοντέλων αναλογίας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και τέλος στη φυσική ομοιότητα σχέσεων φυσικών ποσοτήτων δύο συστημάτων υπό το πρίσμα μιας σαφώς διατυπωμένης ερευνητικής υπόθεσης, κατά την θεώρηση της Sterrett.

Παρόλο που η θεωρία της Sterrett για την έννοια της ομοιότητας υπήρξε ιδιαίτερα καινοτόμος για τα πεδία της ιστορίας και φιλοσοφίας της επιστήμης, εντοπίστηκαν ορισμένες παραλείψεις, οι οποίες επιδιώχθηκε να καλυφθούν. Αρχικά, εντοπίστηκαν παραλείψεις όσον αφορά στην ιστορική προσέγγιση της έννοιας της ομοιότητας και της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου στη θεώρηση της Sterrett. Συγκεκριμένα, η Sterrett εστίασε στην εξέταση πολλών σημαντικών θεωριών αναφορικά με την έννοια της ομοιότητας αλλά και του μοντέλου, οι οποίες τοποθετούνται χρονικά μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, δε φαίνεται, όμως, να την έχει απασχολήσει το ζήτημα των αρχών ή της ιστορικής εξέλιξης των εννοιών αυτών και της αξιοποίησής τους από την αρχαιότητα μέχρι τον 17<sup>ο</sup> αιώνα. Παρόλο που εντοπίζονται κάποιες αναφορές στην αρθρογραφία της στους Πυθαγόρειους φιλοσόφους και στον Ευκλείδη, η Sterrett παρέλειψε σημαντικές προσεγγίσεις όπως για παράδειγμα του Θαλή του Μιλήσιου, που προηγήθηκε χρονικά από εκείνη του Ευκλείδη αλλά και την προσέγγιση του Αριστοτέλη, η συμβολή του οποίου υπήρξε καθοριστική για την εννοιοδότηση της ομοιότητας και για την αξιοποίησή της κατά τη διαδικασία κατηγοριοποίησης της γνώσης, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη σύνταξη των εκτενών ζωολογικών του καταλόγων. Το ότι η ιστορική εξέλιξη των

δύο αυτών εννοιών από την αρχαιότητα μέχρι τον 17<sup>ο</sup> αι. ενδεχομένως δεν προσέλκυσε το ενδιαφέρον της Sterrett, δε μειώνει την σημασία της συμβολής της αναφορικά με την ιστορική και φιλοσοφική διερεύνηση της έννοιας της ομοιότητας και του μοντέλου, αφήνει όμως κάποια σημαντικά κενά αναφορικά με τις έννοιες αυτές στο πεδίο της ιστορίας της επιστήμης. Επειδή η κάλυψη των κενών αυτών κρίθηκε ικανή να οδηγήσει σε μια σφαιρικότερη κατανόηση των δυο αυτών εννοιών και στην αύξηση των πιθανοτήτων επίτευξης μίας επαρκέστερης θεωρητικής τεκμηρίωσή τους, στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής επιδιώχθηκε η συνοπτική ιστορική ανασκόπηση της έννοιας της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου.

Επίσης, η φιλόσοφος εστίασε στην ομοιότητα σχέσεων φυσικών ποσοτήτων ανάμεσα σε δύο διαφορετικά φυσικά συστήματα, δηλαδή στη μορφή της ομοιότητας που οι Κουτελιέρης και Καναβούρας ονόμασαν «εξωτερική». Πραγματοποίησε, δηλαδή, μια εκτενή έρευνα αναφορικά με την ομοιότητα ως μηχανισμού κλίμακας από μια φυσική διάταξη σε μια άλλη και από ένα φυσικό φαινόμενο ή σύστημα σε ένα άλλο, δεν αναφέρθηκε, όμως, στην «εσωτερική ομοιότητα», δηλαδή στην ομοιότητα ποσοτήτων ή σχέσεων ποσοτήτων από μια κλίμακα ενός φαινομένου ή συστήματος σε μια άλλη κλίμακα του ίδιου φαινομένου ή συστήματος. Η διάκριση της ομοιότητας σε εσωτερική και εξωτερική αποτελεί σημαντική προσθήκη στη θεώρηση της Sterrett, ικανή να αποσαφηνίσει ακόμα περισσότερο την έννοια, τον ρόλο, τις δυνατότητες και τη λειτουργία του μηχανισμού της ομοιότητας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και να ενισχύσει την προσπάθεια θεωρητικής τεκμηρίωσης του εν λόγω μηχανισμού. Αυτό το οποίο επισημάνθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, μέσω της εξέτασης ενδεικτικού αλλά χαρακτηριστικού δημοσιευμένου παραδείγματος, είναι ότι η εσωτερική ομοιότητα δεν αποτελεί χαρακτηριστικό μόνο των φαινομένων, αλλά και των φυσικών συστημάτων. Επομένως, οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα κατά το οποίο η έννοια της εσωτερικής ομοιότητας μπορεί να αναφέρεται είτε στην γεωμετρική αναλογία, δηλαδή την αναλογία ποσοτήτων (δομής) ή στην φυσική αναλογία, δηλαδή την αναλογία σχέσεων μεταξύ φυσικών ποσοτήτων ή σε συνδυασμό και τον δύο. Επίσης, η έννοια της εσωτερικής ομοιότητας μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες κατηγορίες φαινομένων όπως για παράδειγμα των χημικών διεργασιών και φαινομένων. Υπό αυτό το πρίσμα, τα όρια της συγκεκριμένης έννοιας διευρύνονται διαρκώς, κάτι που

αιτιολογεί και τον λόγο για τον οποίον ο μηχανισμός αυτός βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς επιστημονικούς τομείς.

Μία άλλη σημαντική συμβολή της Sterrett υπήρξε η επιχειρηματολογία της υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας. Μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα η πλειοψηφία των φιλοσόφων της επιστήμης υποστήριζε ότι ο τρόπος εφαρμογής των θεμελιωδών νόμων μέσω της τεχνικής του μοντέλου στον πραγματικό κόσμο μπορεί να προκύψει μέσω της αξιοποίησης αφηρημένων, θεωρητικών μοντέλων ενός ενδιάμεσου σταδίου και όχι μοντέλων φυσικών διατάξεων. Η Sterrett αντικρούει την καθιερωμένη αυτή θέση των φιλοσόφων λέγοντας ότι αν τη δεχτούμε θα είναι σαν να δεχόμαστε ότι οι νόμοι εφαρμόζονται μόνο έμμεσα, μόνο σε θεωρητικά ή αφηρημένα κατασκευάσματα και όχι σε μοντέλα που αποτελούν τμήματα του πραγματικού κόσμου. Επίσης, η Sterrett υποστηρίζει ότι τα επιστημονικά μοντέλα κλίμακας κατασκευάζονται και λειτουργούν βάσει επιστημονικών θεωριών, νόμων και αρχών και υπό αυτή την έννοια αποτελούν επιστημονικές τεχνικές. Σύμφωνα με την επιχειρηματολογία της φιλοσόφου, στην περίπτωση των μοντέλων ενδιάμεσου σταδίου, οι νόμοι και οι επίσημες μαθηματικές εξισώσεις περιγράφουν ή προβλέπουν τι συμβαίνει στο μοντέλο, ενώ στη μέθοδο φυσικής ομοιότητας, οι νόμοι δεν αποτελούν μόνο μέσο περιγραφής ή πρόβλεψης σχετικά με το τι θα συμβεί στο μοντέλο, αλλά χρησιμοποιούνται και για να επικυρώσουν την ομοιότητα μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση φυσικού συστήματος (Sterrett, 2002(b): 52-53). Τοιουτοτρόπως, οι νόμοι εμπλέκονται σαφώς στην κατασκευή και καθορίζουν τη λειτουργία των μοντέλων κλίμακας. Ο καθοριστικός ρόλος τους σε αυτή τη διαδικασία αποτελεί το σημαντικότερο επιχείρημα υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας και η ανάδειξή του αποτελεί μία από τις σημαντικότερες συμβολές της θεωρίας της Sterrett στην κατανόηση των εννοιών της ομοιότητας και των επιστημονικών μοντέλων κλίμακας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, η επιχειρηματολογία της Sterrett αναφορικά με την επιστημονικότητα των μοντέλων κλίμακας και των μοντέλων αναλογίας γενικότερα, έγινε αποδεκτή και επιδιώχθηκε η ενίσχυσή της με μια συγκεκριμένη παρατήρηση. Πιο συγκεκριμένα, η πλειοψηφία των φιλοσόφων της επιστήμης μέχρι τα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα φαίνεται ότι δεν αποδεχόταν την επιστημονική φύση μιας τεχνικής που αξιοποιείται συστηματικά από εύρος επιστημονικών κλάδων αντιμετωπίζοντας την ως συμπληρωματικό ή βοηθητικό

εργαλείο που συμβάλλει κυρίως κατά την εκπαιδευτική διαδικασία. Σε αυτό το σημείο προέκυψε το ερώτημα: πώς αιτιολογείται η συστηματική, εκτεταμένη και σε αρκετές περιπτώσεις μεμονωμένη αξιοποίηση των μοντέλων αυτών ως κύριων μεθοδολογικών τεχνικών κατά την πειραματική πρακτική; Επίσης, πώς είναι δυνατόν μια επίσημη επιστημονική τεχνική να αποδεικνύεται ανεπαρκής να εξετάσει κάποιες πτυχές ενός φαινομένου, ενώ η τεχνική των μοντέλων αναλογίας, της οποίας η επιστημονική φύση αμφισβητείται από τους φιλοσόφους, να καλύπτει σημαντικές ερευνητικές ανάγκες που οι επίσημες τεχνικές δεν κατάφεραν να καλύψουν; Επομένως, η μοντελοποίηση κλίμακας δεν μπορεί να λειτουργεί ως συμπληρωματική τεχνική, αλλά ως εναλλακτική επιστημονική τεχνική, ως μια επιστημονική τεχνική, δηλαδή που αντικαθιστά μια άλλη επιστημονική τεχνική καθώς κρίνεται επαρκέστερη ή καταλληλότερη για τη διερεύνηση μιας συγκεκριμένης ερευνητικής υπόθεσης.

Σημαντική υπήρξε η περιγραφή της λειτουργίας της ομοιότητας ως βασικού μηχανισμού κλίμακας των επιστημονικών μοντέλων αναλογίας και η ανάδειξη των πλεονεκτημάτων της μεθοδολογίας της φυσικής ομοιότητας, από τη Sterrett. Η εξέταση του ζητήματος αυτού καλύπτει μεγάλο μέρος της αρθρογραφίας της και τοποθετεί σε νέες βάσεις τη γενική προσπάθεια της θεωρητικής τεκμηρίωσης του σημαντικού αυτού μεθοδολογικού εργαλείου. Η Sterrett προέβη σε σχολαστική διερεύνηση και αναλυτική περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας, κατά την οποία παρουσίασε λεπτομερώς τα στάδια της εφαρμογής τους και τον τρόπο λειτουργίας του μηχανισμού αλλαγής κλίμακας από το μοντέλο στο υπό εξέταση φυσικό σύστημα (βλ. κεφ. 2.4.2). Η φιλόσοφος επισήμανε την ιδιαίτερη προσοχή που ο επιστήμονας πρέπει να δείξει κατά τον προσδιορισμό της ομοιότητας αναφορικά με κάθε συγκεκριμένο χαρακτηριστικό από το ένα σύστημα στο άλλο, κατά την επιλογή ή κατασκευή του μοντέλου και κατά τη διαδικασία επέκτασης των παρατηρήσεων ή συμπερασμάτων από το μοντέλο στο φυσικό σύστημα (Sterrett 2002(b): 56-57).

Η βασική μέθοδος που αξιοποιείται κατά την εφαρμογή των μοντέλων κλίμακας είναι η ανάλυση διαστάσεων, μέσω της οποίας οι επιστήμονες μπορούν να εξάγουν πληροφορίες για ένα φαινόμενο υπό την προϋπόθεση ότι το φαινόμενο μπορεί να περιγραφεί από μια εξίσωση αδιάστατων παραμέτρων (Sterrett, 2002(b): 61-64). Οι σημαντικές πληροφορίες που απαιτούνται κατά αυτή τη διαδικασία είναι οι

πληροφορίες σχετικά με τις ποσότητες που εμπíπτουν στο ερευνητικό ενδιαφέρον και το ότι οι νόμοι θα πρέπει να ισχύουν ανεξάρτητα από τις διαστάσεις και από την κλίμακα μελέτης του συστήματος. Η Sterrett συμπληρώνει ότι ένα ακόμα στοιχείο που καθιστά ιδιαίτερα γόνιμη τη μέθοδο αυτή είναι το γεγονός ότι σε αυτή την ερευνητική μεθοδολογία εμπλέκεται ένα συγκεκριμένο, διακριτό κομμάτι του πραγματικού κόσμου. Η μεθοδολογία αυτή, δηλαδή, μας επιτρέπει να παραμείνουμε στον κόσμο των πραγματικών φαινομένων καθ' όλη τη διάρκεια της διεξαγωγής της έρευνας (Sterrett, 2002(b): 62-64). Μέσω αυτής της παρατήρησης αναδεικνύεται το βασικό πλεονέκτημα των μοντέλων κλίμακας εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα είδη μοντέλων.

Η συμβολή της Sterrett στην ανάδειξη της σημασίας, του ρόλου και της λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης υπήρξε πολύ σημαντική καθώς αποτέλεσε μια από τις πρώτες προσπάθειες παρουσίασης και τεκμηρίωσης της κατηγορίας αυτής των μοντέλων, σε ένα πεδίο στο οποίο μέχρι τότε η τεχνική αυτή δεν είχε εξεταστεί επαρκώς.

Ένα άλλο ζήτημα που εξέτασε η Sterrett είναι το εάν η αντιγραφή συστημάτων ή αναπαραγωγή φαινομένων συνιστά ομοιότητα ή, διαφορετικά, αν μπορεί να υπάρξει απόλυτη ομοιότητα ανάμεσα σε ένα υπό εξέταση σύστημα και στο μοντέλο που επιλέγεται ή κατασκευάζεται για τη διερεύνηση του. Η προσέγγιση αυτού του ζητήματος αποτελεί μια ακόμη σημαντική συνεισφορά της φιλοσόφου στην κατανόηση της έννοιας της ομοιότητας ως μηχανισμού κλίμακας αλλά και στην κατανόηση της λειτουργίας των μοντέλων αναλογίας. Η Sterrett υποστήριξε ότι δύο συστήματα μπορεί να είναι όμοια ως προς τα δομικά τους χαρακτηριστικά, τη συμπεριφορά τους, τη λειτουργία τους κ.α. Επομένως, υπάρχουν πολλές μορφές ομοιότητας. Η δομική ομοιότητα δύο συστημάτων που μπορεί να οφείλεται σε απόλυτη αντιγραφή κατά την κατασκευή του ενός βάσει του άλλου δεν συνεπάγεται απαραίτητα και την όμοια συμπεριφορά τους. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να μιλήσουμε για αντιγραφή ή αναπαραγωγή αλλά όχι για απόλυτη ομοιότητα. Άλλωστε, στην περίπτωση της αξιοποίησης των μοντέλων κλίμακας, αυτό που μας ενδιαφέρει δεν είναι η ύπαρξη απόλυτης ταύτισης με το υπό μελέτη σύστημα, αλλά η όμοια συμπεριφορά τους σε συγκεκριμένες συνθήκες, ανάλογα με την κατεύθυνση και τον σκοπό της έρευνας. Η ομοιότητα, δηλαδή, σύμφωνα με τη

Sterrett, ορίζεται με όρους που εμπίπτουν στο ενδιαφέρον του ερευνητή και εκφράζονται μέσω της ερευνητικής υπόθεσης.

Ιδιαίτερα καινοτόμος υπήρξε η πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων της Sterrett. Αναγνωρίζοντας ως επιστημονικές τεχνικές και τα μοντέλα που αποτελούν τμήματα του πραγματικού κόσμου, η φιλόσοφος με κριτήριο το «τι αναπαριστά ένα μοντέλο και πώς λειτουργεί αυτός ο μηχανισμός της αναπαράστασης», εισήγαγε μια επαρκέστερη πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων στις κατηγορίες “realm of thought” που αποδόθηκε στα ελληνικά ως «το πεδίο της σκέψης» (μοντέλα αφηρημένα, μαθηματικές δομές, αλγόριθμοι ή περιγραφές μηχανισμών) και “using one piece of the world to tell about another” που αποδόθηκε στα ελληνικά ως «τμήματα του πραγματικού κόσμου» (μοντέλα φυσικές διατάξεις ή και τμήματα του πραγματικού κόσμου). Η συγκεκριμένη πρόταση κατηγοριοποίησης αποτέλεσε σημαντική καινοτομία, ιδιαίτερα για το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης των αρχών του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Ωστόσο, προέκυψε το ερώτημα εάν βάσει αυτής της κατηγοριοποίησης μπορεί να συμπεριληφθεί κάθε είδος μοντέλου μόνο σε μία από τις δύο κατηγορίες που προτείνει η Sterrett ή υπάρχουν κάποια είδη μοντέλων που δεν μπορούμε να τα τοποθετήσουμε εύκολα σε μία από αυτές τις δύο κατηγορίες, όπως για παράδειγμα τα φανταστικά ή διανοητικά μοντέλα, όπως το μοντέλο του Bohr. Σε αυτό το ερώτημα η θεώρηση της Sterrett φαίνεται ότι δε δίνει απάντηση. Επίσης, δεδομένου του εύρους και της ποικιλίας των επιστημονικών μοντέλων που αξιοποιούνται στη σύγχρονη πειραματική μεθοδολογία, η διάκριση μόνο δύο βασικών κατηγοριών μοντέλων είναι ως έναν βαθμό περιοριστική. Στο πλαίσιο αυτό, κρίθηκε σκόπιμη η επιλογή διαφορετικού κριτηρίου κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων. Επιλέχθηκε το οντολογικό κριτήριο κατηγοριοποίησης των μοντέλων, ένα θεμελιώδες και συγκεκριμένο κριτήριο ικανό να οδηγήσει σε μια ταξινόμηση των επιστημονικών μοντέλων, στο πλαίσιο της οποίας να επιτυγχάνεται η κατηγοριοποίηση όλων των ειδών μοντέλων σε συγκεκριμένες βασικές κατηγορίες αλλά και η κατάταξη κάθε μοντέλου σε μία και μόνο κατηγορία. Προέκυψε μια πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων σε πέντε βασικές κατηγορίες που διακρίθηκαν με κριτήριο τη φύσης των ίδιων των μοντέλων. Έτσι προέκυψαν οι κατηγορίες: θεωρητικά μοντέλα, μοντέλα - φυσικές διατάξεις, νοητά ή φανταστικά μοντέλα, μαθηματικά μοντέλα και μοντέλα πληροφορικής. Η

συγκεκριμένη πρόταση κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων από τη μια διατηρεί την άποψη της Sterrett περί της επιστημονικότητας των μοντέλων φυσικών διατάξεων καθώς υφίσταται αντίστοιχη κατηγορία μοντέλων φυσικών διατάξεων στο πλαίσιο αυτής της κατηγοριοποίησης. Επίσης, προτείνονται άλλες τέσσερις βασικές κατηγορίες μία εκ των οποίων και τα φανταστικά, νοητά ή διανοητικά μοντέλα, η οποία διακρίνεται με σαφήνεια και από τα θεωρητικά αλλά και από τα μοντέλα - φυσικές διατάξεις, κάτι που δεν είχε παρατηρηθεί στην αντίστοιχη πρόταση της Sterrett. Σε αυτές τις πέντε ευρείες κατηγορίες μπορούν να ενταχθούν όλα τα επιμέρους είδη επιστημονικών μοντέλων ενώ λόγω της θεμελιώδους φύσης του κριτηρίου κατηγοριοποίησης περιορίζεται σημαντικά η δυσκολία τοποθέτησης κάθε μοντέλου σε συγκεκριμένη βασική κατηγορία. Οι προτεινόμενες κατηγορίες είναι θεμελιώδεις και συγκεκριμένες παρέχοντας τη δυνατότητα μιας διαρκούς προσθήκης νέων ειδών μοντέλων χωρίς αυτές να επηρεάζονται, χωρίς δηλαδή να προκύπτει η ανάγκη διαίρεσης ή σύμπτυξής τους. Επομένως, το συγκεκριμένο σχήμα κατηγοριοποίησης φαίνεται να χαρακτηρίζεται από σταθερότητα. Επίσης, τα χαρακτηριστικά βάσει των οποίων κάθε μοντέλο εντάσσεται σε μία από τις πέντε αυτές κατηγορίας εντοπίζονται εύκολα, οπότε εκτός των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων που χαρακτηρίζουν τη συγκεκριμένη πρόταση κατηγοριοποίησης, θα μπορούσε εύκολα να κατανοηθεί και να αξιοποιηθεί από επιστήμονες κατά τη διάρκεια διαφόρων σταδίων της έρευνάς τους, όπως για παράδειγμα κατά την αναζήτηση του κατάλληλου μοντέλου για διερεύνηση συγκεκριμένου ζητήματος ή κατά τον προσδιορισμό και την παρουσίαση της αξιοποιηθείσας μεθοδολογίας.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που εξετάστηκε στην παρούσα διατριβή είναι ο τρόπος επιλογής των κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ του επιστημονικού μοντέλου και του υπό εξέταση συστήματος. Όσον αφορά σε αυτό το ζήτημα η Sterrett αν και παρουσιάζει τους τρεις τρόπους προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου αναλογίας και συστήματος στόχου, δηλαδή την αξιοποίηση εξισώσεων, τον εντοπισμό κοινών χαρακτηριστικών βάσει των γνώσεων και των επιλογών του ερευνητή, και τη μέθοδο των φυσικά όμοιων συστημάτων μέσω της ανάλυσης διαστάσεων (Sterrett, 2017 (a): 869-872), η ίδια αναφέρει ότι πολλές φορές ακόμα και η μερική γνώση αρκεί για τον προσδιορισμό συγκεκριμένης ομοιότητας μεταξύ δύο συστημάτων. Εστιάζει περισσότερο στη *διορατική χρήση των γνώσεων* του ερευνητή κατά τον καθορισμό των αρχών

ομοιότητας, για την επιλογή ή κατασκευή και την αξιοποίηση του μοντέλου και όχι τόσο στην αξιοποίηση των πιο λεπτομερών εξισώσεων (Sterrett, 2006: 78-79). Αναφορικά με αυτό το ζήτημα, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής εκφράζεται διαφορετική άποψη κατά την οποία τα κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας, όταν είναι εφικτό, θα πρέπει να ορίζονται βάσει κάποιας αυστηρής μαθηματικής μεθόδου, ικανής να περιορίζει την πιθανότητα σφάλματος, μίας μεθόδου, δηλαδή, που να περιορίζει τον ρόλο του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη διαδικασία επιλογής τους. Επανερχόμενοι στη συζήτηση αναφορικά με την επιστημονικότητα των μοντέλων κλίμακας, θα λέγαμε ότι η εφαρμογή μίας αυστηρής, μαθηματικής μεθόδου που θα προσδιορίζει και θα τεκμηριώνει με σαφή μαθηματικό τρόπο, την ύπαρξη συγκεκριμένης ομοιότητας αναμεσα στο μοντέλο κλίμακας και στο υπό εξέταση σύστημα θα είναι ικανή να ενισχύσει ακόμα περισσότερο το επιχείρημα υπέρ της επιστημονικότητας των μοντέλων κλίμακας.

Παράδειγμα μεθόδου που συμβάλλει στον προσδιορισμό της εσωτερικής ομοιότητας των φαινομένων με αυστηρά κριτήρια είναι το εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης matrix, που εξετάστηκε αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο. Τα δομικά χαρακτηριστικά του matrix, δηλαδή οι τέσσερις κατηγορίες περιγραφής, τα τρία επίπεδα, οι μαθηματικές εξισώσεις που καθορίζουν τις μεταβάσεις από τη μια στηλη στην άλλη και οι αυστηροί κανόνες συμπλήρωσής του συμβάλλουν στον προσδιορισμό της εσωτερικής ομοιότητας από μια συγκεκριμένη απλή κλίμακα ενός φαινομένου (one) σε μια πολυπλοκότερη κλίμακα του ίδιου φαινομένου (many) και στο σύνολο του φαινομένου αυτού (all). Η αυστηρή δομή και οι κανόνες λειτουργίας του εργαλείου περιορίζουν την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα και κατ' επέκταση τις πιθανότητες σφάλματος κατά την διαδικασία εξέτασης συγκεκριμένης υπόθεσης αναφορικά με το υπό εξέταση φαινόμενο. Ο σχεδιασμός του matrix και η εφαρμογή του σε συγκεκριμένα παραδείγματα, όπως προκύπτει από τις αντίστοιχες δημοσιεύσεις των Κουτελιέρη και Καναβούρα (Καναβούρας και ολ., 2021: 210-222· Coutelieris et al., 2018: 95-103), οδηγούν στο συμπέρασμα κατά το οποίο μπορούν να επινοηθούν εργαλεία και να αξιοποιηθούν μεθοδολογίες ικανές να αυστηροποιούν τα κριτήρια εντοπισμού και επικύρωσης της ομοιότητας μεταξύ των φυσικών φαινομένων ή συστημάτων. Η διαδικασία αυτή κρίνεται σημαντική καθώς μπορεί να εξασφαλίσει μεγαλύτερη ακρίβεια και ασφάλεια κατά τον ορισμό της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και



συστήματος στόχου και κατ' επέκταση την μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα της εφαρμογής του επιστημονικού μοντέλου στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία. Η χρήση τέτοιων αυστηρών εργαλείων, δηλαδή, υπόσχεται λιγότερο επισφαλή αποτελέσματα και τοιουτοτρόπως ενισχύει το επιχείρημα υπέρ της υιοθέτησης αυστηρών κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας κατά τη μεθοδολογία μοντελοποίησης στην επιστημονική πρακτική. Για όλους αυτούς τους λόγους η διερεύνηση, περιγραφή και θεωρητική τεκμηρίωση των τεχνικών αυτών που υπόσχονται τον αυστηρό μαθηματικό προσδιορισμό των κριτηρίων ορισμού της ομοιότητας αλλά και η επινόηση νέων αντίστοιχων εργαλείων κρίνεται σημαντική στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Στην προσπάθεια περαιτέρω ενίσχυσης της θέσης, κατά την οποία η ομοιότητα μεταξύ δύο ή περισσότερων συστημάτων ή φαινομένων, όταν είναι εφικτό, πρέπει να ορίζεται κατά αυστηρό τρόπο προέκυψε η ιδέα της διαμόρφωσης του εργαλείου Matrix Cube. Συγκεκριμένα, διατυπώθηκε πρόταση επέκτασης του εργαλείου matrix κατά τρόπο που να επιτρέπει τον εντοπισμό και την εξέταση της της μορφής της ομοιότητας με την οποία ασχολήθηκε η Sterrett, δηλαδή της εξωτερικής ομοιότητας, όχι όμως μόνο μεταξύ δύο φαινομένων αλλά συστημάτων όμοιων φυσικών φαινομένων. Το matrix αποτελώντας δομικό συστατικό του Matrix Cube μεταφέρει σε αυτό τις βασικές λειτουργίες, ιδιότητες, χαρακτηριστικά, σχέσεις μεταξύ των παραγόντων του. Το Matrix Cube αποτελείται από  $n$ -αριθμό όμοιων matrices πλήρως ή μερικώς συμπληρωμένων. Επομένως, το Matrix Cube είναι ένα πολυπλοκότερο δομικά και λειτουργικά εργαλείο, που αποσκοπεί στην εξέταση σύνθετων συστημάτων, των συστημάτων όμοιων φυσικών φαινομένων και αποδίδεται σχηματικά με τη μορφή κύβου. Από το matrix στο Matrix Cube έχουμε τη μετάβαση από ένα εργαλείο εξέτασης ενός φαινομένου σε ένα πολυπλοκότερο εργαλείο εξέτασης ενός συστήματος όμοιων φαινομένων και αντιστοίχως από την εξέταση της εσωτερικής ομοιότητας ενός φαινομένου στην εξέταση ενός εκ των δύο σαφώς προσδιορισμένων τύπων εξωτερικής ομοιότητας ενός συστήματος όμοιων φαινομένων.

Οι τύποι της εξωτερικής ομοιότητας των φαινομένων που μπορούν να εξεταστούν μέσω της εφαρμογής του Matrix Cube είναι σαφώς προσδιορισμένοι και υπό αυτή την έννοια η εξωτερική ομοιότητα στο πλαίσιο της συγκεκριμένης μεθοδολογίας μπορεί να εντοπιστεί, να επιλεγεί και να επικυρωθεί βάσει

συγκεκριμένων κριτηρίων. Τα προς εξέταση φαινόμενα είναι όμοια είτε επειδή εξετάζονται υπό το πρίσμα της ίδιας υπόθεσης (τύπος I) είτε το ίδιο φαινόμενο υπό το πρίσμα διαφορετικών υποθέσεων (τύπος II). Βάσει των δύο αυτών προσδιορισμένων τύπων εξωτερικής ομοιότητας, το Σύστημα Όμοιων Φυσικών Φαινομένων (ΣυσΟΦΦ) γίνεται αντιληπτό είτε ως ένα σύνολο φυσικών φαινομένων που επιλέγονται προκειμένου να εξεταστούν λόγω του ότι ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της υπόθεσης που έχει οριστεί εξαρχής, είτε ως μια ομάδα ίδιων φαινομένων (το ίδιο φαινόμενο θα εξετάζεται βάσει διαφορετικών υποθέσεων) που θα εξεταστούν υπό το πρίσμα διαφορετικής υπόθεσης. Επομένως, στο πλαίσιο της θεώρησης του Matrix Cube, ως Συστήματα Όμοιων Φυσικών Φαινομένων (ΣυσΟΦΦ), ορίζονται οι ομάδες φυσικών φαινομένων που χαρακτηρίζονται από έναν συγκεκριμένο τύπο ομοιότητας μεταξύ τους, είτε τον τύπο I είτε τον τύπο II. Υπό αυτούς τους όρους, η εξωτερική ομοιότητα των υπό εξέταση φαινομένων δεν ορίζεται από τον εκάστοτε ερευνητή, αλλά από το ίδιο το εργαλείο και από τους βασικούς κανόνες λειτουργίας του. Αυτό είναι και ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του προτεινόμενου εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης Matrix Cube, το ότι, δηλαδή, τα κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας είναι αυστηρά καθώς ορίζονται από το ίδιο το εργαλείο. Τοιουτοτρόπως, περιορίζεται σημαντικά η εμπλοκή του ανθρωπίνου παράγοντα στη διαδικασία επιλογής κριτηρίων ομοιότητας και κατ' επέκταση περιορίζεται η πιθανότητα σφάλματος που μπορεί να προκύψει από τη λανθασμένη επιλογή κριτηρίων ή την επιλογή ακατάλληλων κριτηρίων ομοιότητας, η οποία μπορεί να οφείλεται σε ελλιπή ή μερική γνώση του ερευνητή αναφορικά με το υπό εξέταση ΣυσΟΦΦ, στην απουσία εμπειρίας ή ακόμα και στη μη διορατική χρήση των γνώσεων και της εμπειρίας του ερευνητή.

Λόγω των τριών του διαστάσεων το προτεινόμενο εργαλείο συμβάλλει στην πολύπλευρη και ολιστική προσέγγιση του ΣυσΟΦΦ. Συγκεκριμένα, δίνει τη δυνατότητα μελέτης της εσωτερικής ομοιότητας κάθε φαινομένου, μέσω κάθε επιμέρους matrix, της συνοπτικής παρουσίασης του αποτελέσματος και μέσω της εξέτασης των σχέσεων μεταξύ των επιμέρους παραγόντων των επιμέρους matrices (σχέσεις μεταξύ κελιών από το ένα matrix στο άλλο) και της μελέτης των σχέσεων μεταξύ των φαινομένων που απαρτίζουν το σύστημα. Επιπλέον, είναι πολύ σημαντικό ότι το Matrix Cube δίνει τη δυνατότητα εντοπισμού αναγκών για καινούρια γνώση μέσω της διεπιφάνειας συμπληρωμένων-ασυμπλήρωτων κελιών,

που δημιουργεί μια τρισδιάστατη επιφάνεια με «όρη & κοιλάδες». Το εργαλείο αυτό, δηλαδή, αναδεικνύει τα υπάρχοντα κενά γνώσης (κοιλάδες) αναφορικά με το υπό εξέταση ΣυσΟΦΦ, υποδεικνύοντας τοιουτοτρόπως και νέες πιθανές κατευθύνσεις έρευνας.

Μία από τις σημαντικές προοπτικές αποτελεί ο ορισμός του μηχανισμού που θα περιγράφει την ομοιότητα βάσει των matrices, ο οποίος θα πρέπει να ισοδυναμεί με μια διαδικασία επιλογής κάποιων matrices, μεταξύ των άπειρων matrices που υπάρχουν. Σε αυτό το σημείο προκύπτει η ανάγκη ορισμού ενός συγκεκριμένου συντελεστή που να ποσοτικοποιεί την εξωτερική ομοιότητα των φαινομένων που εκφράζεται μέσω των states, δηλαδή των καταστάσεων που περιγράφουν ένα πλήρως ή μερικώς συμπληρωμένο matrix, και παρουσιάζεται μέσω των matrices, που εντάσσονται στο ΣυσΟΦΦ και αντίστοιχα στο Cube. Ο συντελεστής αυτός θα πρέπει να ορίζει το ελάχιστο επίπεδο ομοιότητας, δηλαδή τα όρια του βαθμού ομοιότητας εντός των οποίων τα φαινόμενα και τα matrices θα μπορούν να ενταχθούν στο συγκεκριμένο σύστημα φαινομένων και στο συγκεκριμένο Cube. Με αυτόν τον τρόπο, επι της ουσίας, ο ίδιος ο συντελεστής θα υποδεικνύει στον ερευνητή ποια matrices να επιλέξει. Τοιουτοτρόπως, θα αυστηροποιείται ακόμα περισσότερο το κριτήριο επιλογής των όμοιων φαινομένων και ταυτόχρονα θα περιορίζεται η επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη διαδικασία αυτή, ενισχύοντας την ήδη υπάρχουσα αυστηρότητα του συστήματος που προκύπτει ως έναν βαθμό από τον προσδιορισμό των τύπων εξωτερικής ομοιότητας. Μια ακόμα προοπτική είναι ο ορισμός ενός δεύτερου συντελεστή που να προσδιορίζει κάθε φορά τον βαθμό ομοιότητας μεταξύ δύο συγκεκριμένων φαινομένων, του φαινομένου-στόχου και ενός κάθε φορά επιλεγμένου φαινομένου-μοντέλου από το σύνολο των υπόλοιπων φαινομένων του ΣυσΟΦΦ. Ο δεύτερος αυτός συντελεστής θα μπορεί να υποδεικνύει τη διάταξη των matrices μέσα στο Cube βάσει του βαθμού ομοιότητας των φαινομένων με πρώτο το matrix που περιγράφει το σύστημα-στόχο. Έτσι, τα matrices, θα είναι τοποθετημένα μέσα στον κύβο σε μια σειρά φθίνουσας ομοιότητας σε σχέση με το αρχικό matrix που θα περιγράφει το φαινόμενο που κάθε φορά ενδιαφέρει περισσότερο τον ερευνητή. Ο δεύτερος αυτός συντελεστής θα παρέχει επιπρόσθετες πληροφορίες για το σύστημα, καθώς θα απεικονίζει την κλιμάκωση της ομοιότητας των matrices και κατ' επέκταση των φαινομένων μέσα στο Cube.

Η πρόταση διαμόρφωσης του εργαλείου Matrix Cube που διατυπώθηκε σε αυτή τη διατριβή αποτελεί σημαντική προσθήκη αναφορικά με το ζήτημα επιλογής κριτηρίων προσδιορισμού της εξωτερικής ομοιότητας ιδιαίτερα για το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, στο οποίο ζητήματα αναφορικά με την ομοιότητα ως βασικού μηχανισμού κλίμακας μεταξύ μοντέλου και πραγματικότητας συζητούνται τα τελευταία χρόνια.

Εν κατακλείδι, μέσω της εκπόνησης της παρούσας διατριβής επικυρώνεται η υπό έλεγχο ερευνητική υπόθεση κατά την οποία «η ομοιότητα αποτελεί τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας του επιστημονικού μοντέλου αναλογίας μεταξύ του μοντέλου και του υπό διερεύνηση συστήματος, η οποία, όταν είναι εφικτό, θα πρέπει να ορίζεται βάσει αυστηρών επιστημονικών κριτηρίων, προκειμένου αφενός να εξασφαλίζεται η αποτελεσματική αξιοποίηση του μοντέλου και αφετέρου να επικυρώνεται η επιστημονική του φύση». Η ομοιότητα αποτελεί τον μηχανισμό που προσδιορίζει την αναπαραστατική λειτουργία του μοντέλου αναλογίας, δηλαδή την βασική του λειτουργία και υπό αυτούς τους όρους αποτελεί τον βασικό μηχανισμό που επιτρέπει τη λειτουργία αυτής της ιδιαίτερα εκτεταμένης κατηγορίας των επιστημονικών μοντέλων. Στην περίπτωση, μάλιστα, των μοντέλων κλίμακας, η ομοιότητα αποτελεί τον βασικό μηχανισμό κλίμακας από το μοντέλο στο υπό εξέταση σύστημα. Το πρώτο σκέλος της ερευνητικής υπόθεσης, κατά το οποίο η ομοιότητα αποτελεί τον βασικό μηχανισμό λειτουργίας των επιστημονικών μοντέλων αναλογίας, επικυρώθηκε με δύο τρόπους. Αφενός μέσω της ιστορικής ανασκόπησης της έννοιας του μοντέλου αναδείχθηκε η σύνδεσή του με την έννοια της ομοιότητας σε όλα τα στάδια της μακράς ιστορικής του εξέλιξης, καθώς λειτουργεί βάσει αυτής ανεξάρτητα από το είδος του μοντέλου ή τη χρονική περίοδο αξιοποίησής του, αφετέρου μέσω της φιλοσοφικής προσέγγισης της Sterrett που ανέδειξε τη σχέση του μοντέλου με τον μηχανισμό της ομοιότητας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης και επιχειρηματολόγησε υπέρ αυτής.

Το δεύτερο σκέλος της υπόθεσης, κατά το οποίο η ομοιότητα θα πρέπει να επιλέγεται και να προσδιορίζεται βάσει αυστηρών επιστημονικών κριτηρίων επικυρώνεται αφενός μέσω της ιστορικής ανασκόπησης της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου μετά τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, που παρατηρείται μια τάση προσδιορισμού της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου και συστήματος στόχου βάσει μαθηματικών κριτηρίων, η οποία εδραιώνεται μετά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα στις φυσικές

επιστήμες και στα πεδία της μηχανικής και αφετέρου μέσω της επιχειρηματολογίας που αναπτύχθηκε στο τρίτο κεφάλαιο της διατριβής. Στο κεφάλαιο αυτό αναδείχθηκε η σημασία περιορισμού της εμπλοκής του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη διαδικασία αυτή και εξετάστηκε ως παράδειγμα μεθόδου αυστηροποίησης των κριτηρίων προσδιορισμού της εσωτερικής ομοιότητας η μεθοδολογία του matrix και της εξωτερικής ομοιότητας η επέκταση του matrix και η πρόταση διαμόρφωσης του εργαλείου Matrix Cube. Επίσης, επισημάνθηκε ότι η αξιοποίηση αυστηρών μαθηματικών κριτηρίων για τον προσδιορισμό της ομοιότητας μεταξύ μοντέλου αναλογίας και υπό εξέταση συστήματος αποτελεί ισχυρό επιχείρημα υπέρ της επιστημονικότητας της συγκεκριμένης κατηγορίας μοντέλων, η οποία έχει αμφισβητηθεί στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης στο παρελθόν. Ωστόσο, τονίστηκε ότι σε περιπτώσεις που ο αυστηρός μαθηματικός προσδιορισμός κριτηρίων ομοιότητας μεταξύ επιστημονικού μοντέλου και υπό εξέταση συστήματος, δεν είναι εφικτός κρίνεται προτιμότερη η χρήση εμπειρικών μοντέλων, ακόμα και αν τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους θεωρούνται επισφαλή, εν συγκρίσει με την απουσία της τεχνικής αυτής από την επιστημονική μεθοδολογία.

### **Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

Η παρούσα έρευνα αποτέλεσε μια προσπάθεια ιστορικής και φιλοσοφικής προσέγγισης των εννοιών της ομοιότητας και του επιστημονικού μοντέλου και ανάδειξης της σχέσης μεταξύ τους με επίκεντρο τη σημαντική θεώρηση της Sterrett. Πολλά από τα σημαντικά ερωτήματα που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή της παρούσας διατριβής απαντήθηκαν. Προέκυψαν, όμως, και κάποια ζητήματα αναφορικά με τις υπό εξέταση έννοιες, τα οποία τέθηκαν εκτός των ορίων και των στόχων της συγκεκριμένης εργασίας, τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αναδεικνύουν νέες κατευθύνσεις έρευνας όχι μόνο στα πεδία της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης αλλά και σε άλλα πεδία όπως για παράδειγμα της ηθικής και των μαθηματικών ενώ προέκυψαν και ζητήματα που επιδέχονται διεπιστημονικής προσέγγισης.

Μία ενδιαφέρουσα προοπτική μελλοντικής έρευνας προκύπτει από την πρόταση διάκρισης των εξελικτικών σταδίων της έννοιας της ομοιότητας. Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε ιστορική ανασκόπηση της έννοιας της ομοιότητας και της αξιοποίησης του μηχανισμού της

ομοιότητας ως πειραματικής πρακτικής σε διάφορα ιστορικά πλαίσια από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Ωστόσο, η παρουσίαση και περιγραφή των σταδίων αυτών ήταν συνοπτική και εστίαζε στις πιο αντιπροσωπευτικές θεωρίες και στα πιο σημαντικά παραδείγματα αξιοποίησης του μηχανισμού της ομοιότητας της κάθε περιόδου της ανθρώπινης διανοητικής δραστηριότητας καθώς τοιουτοτρόπως εξυπηρετούνταν οι στόχοι της παρούσας προσέγγισης. Η αξιοποίηση, όμως, του μηχανισμού της ομοιότητας απαντάται σε πολλές ακόμα θεωρητικές προσεγγίσεις και πειραματικές εφαρμογές. Επομένως, η διάκριση των σταδίων εξέλιξης της έννοιας και του μηχανισμού της ομοιότητας θα μπορούσε να αποτελέσει μια βάση για μελλοντική έρευνα με σκοπό την εκτενέστερη μελέτη της έννοιας της ομοιότητας σε ένα ή περισσότερα από αυτά τα στάδια, εξετάζοντας περισσότερα παραδείγματα θεωρητικών προσεγγίσεων ή πειραματικών εφαρμογών του μηχανισμού της ομοιότητας.

Κατ' αντιστοιχία με την ιστορική εξέλιξη της έννοιας της ομοιότητας, σημαντική προοπτική περαιτέρω έρευνας αποτελεί και η εκτενέστερη μελέτη της εξέλιξης της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου στην επιστημονική πρακτική. Στην περίπτωση του μοντέλου μάλιστα, θα είχε ενδιαφέρον να πραγματοποιηθούν μελέτες αναφορικά με την εξέλιξη του μοντέλου ανά κλάδο έρευνας καθώς θα οδηγούσαν σε ενδιαφέροντα συμπεράσματα και κατηγοριοποιήσεις των ειδών των μοντέλων που επιλέγονται και θεωρούνται αποτελεσματικότερα ανά επιστημονικό κλάδο.

Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα που προέκυψε είναι το ζήτημα της ηθικής στη χρήση των μοντέλων. Δεδομένου του ότι το ζήτημα αυτό είναι ιδιαίτερος ευρύ και η περαιτέρω διερεύνηση του τίθεται εκτός των βασικών επιδιωκόμενων σκοπών της παρούσας έρευνας, η αναφορά σε αυτό περιορίστηκε στην παροχή πληροφοριών που κρίθηκαν σημαντικές για την ενίσχυση της κατανόησης ενός εκ των βασικών λόγων που οδηγούν στη χρήση των μοντέλων στη σύγχρονη επιστήμη. Η εκτενέστερη και επαρκέστερη εξέταση του συγκεκριμένου ζητήματος αποτελεί μια σημαντική προοπτική έρευνας.

Επιπλέον, στο πλαίσιο της συγκεκριμένης έρευνας έχοντας ως βασικό στόχο τη διερεύνηση των εννοιών της ομοιότητας και του μοντέλου στη σκέψη της Susan Sterrett, μελετήθηκαν και προσεγγίστηκαν κριτικά συγκεκριμένα άρθρα της φιλοσόφου που εστίαζαν στη διερεύνηση των εννοιών αυτών. Δεν εξετάστηκαν,

όμως, άλλες δουλειές της φιλοσόφου που διερευνούν άλλα σημαντικά ζητήματα όπως για παράδειγμα τα άρθρα της για τον Alan Turing: "Turing and the integration of human and machine intelligence," "Bringing Up Turing's Child-Machine", "Turing's Two Tests for Intelligence" ή άλλα άρθρα της όπως: "Too Many Instincts: Contrasting Philosophical Views on Intelligence in Humans and Non-Humans" και το "The morals of model-making" (Sterrett, 2000: 541- 559, 2002(d): 39 – 60, 2012(a): 703 – 713, 2014: 31-45, 2017: <http://philsci-archive.pitt.edu/10316/>). Οι συγκεκριμένες δημοσιεύσεις της φιλοσόφου θα είχε ενδιαφέρον να μελετηθούν και να προσεγγιστούν κριτικά σε μελλοντικές έρευνες, στο πλαίσιο μίας γενικότερης προσπάθειας συνολικής προσέγγισης και κριτικής της συμβολής της σκέψης της Sterrett στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης.

Επιπροσθέτως, μια πολύ ενδιαφέρουσα προοπτική περαιτέρω έρευνας προκύπτει από το τρίτο κεφάλαιο της διατριβής και συγκεκριμένα από την πρόταση διαμόρφωσης του εργαλείου κατηγοριοποίησης της γνώσης Συστημάτων Όμοιων Φυσικών Φαινομένων, Matrix Cube, βάση της εξωτερικής ομοιότητας. Η μαθηματική τεκμηρίωση, που θα επιτρέψει και τη δοκιμή του εργαλείου, τοποθετείται εκτός των επιδιώξεων αυτής της έρευνας. Ο λόγος που τέθηκαν τα συγκεκριμένα όρια υπήρξε διττός. Από τη μια ο ρόλος διατύπωσης της συγκεκριμένης πρότασης στην παρούσα έρευνα περιορίζεται στην προσπάθεια υποστήριξης της άποψης κατά την οποία τα κριτήρια προσδιορισμού της ομοιότητας είναι σημαντικό να είναι αυστηρά. Ένας τρόπος αυστηροποίησης τους και περιορισμού της εμπλοκής του ανθρώπινου παράγοντα σε αυτή τη διαδικασία είναι η διαμόρφωση και αξιοποίηση ενός εργαλείου ικανού να προσδιορίζει με αυστηρό μαθηματικό τρόπο την ομοιότητα μεταξύ των υπό εξέταση συστημάτων. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, δηλαδή, η συγκεκριμένη πρόταση έπαιξε ρόλο υποστηρικτικό του επιχειρήματος υπέρ της επιλογής αυστηρών κριτηρίων προσδιορισμού της ομοιότητας ανάμεσα στα υπό εξέταση συστήματα, το οποίο αποτέλεσε σημαντικό σημείο κριτικής στην προσέγγιση της Sterrett, στο γενικότερο πλαίσιο ελέγχου της ερευνητικής υπόθεσης. Ο δεύτερος λόγος που τοποθετεί τη μαθηματική τεκμηρίωση του Matrix Cube εκτός των ορίων της παρούσας έρευνας είναι η πεποίθηση κατά την οποία η επαρκής θεωρητική και μαθητική τεκμηρίωση του προτεινόμενου εργαλείου μπορεί να προκύψει μέσα από έναν διεπιστημονικό διάλογο και συγκεκριμένα έναν διάλογο που θα αναπτυχθεί εμπλεκοντας

εκπροσώπους από τα πεδία της φιλοσοφίας της επιστήμης, των μαθηματικών και της επιστημολογίας. Σημαντικές προοπτικές περαιτέρω έρευνας αναφορικά με το προτεινόμενο εργαλείο κατηγοριοποίησης της γνώσης Συστημάτων Όμοιων Φυσικών Φαινομένων, Matrix Cube, είναι ο ορισμός των δύο απαιτούμενων συντελεστών για τη λειτουργία του. Ο ορισμός ενός συντελεστή ομοιότητας που θα ορίζει ποια matrices θα εντάσσονται στον κύβο και ενδεχομένως ενός δεύτερου συντελεστή που θα υποδεικνύει τη σειρά τοποθέτησης των επιμέρους matrices στον κύβο ανάλογα με τη μεταξύ τους ομοιότητα, αναδεικνύοντας την κλιμάκωση της ομοιότητας μέσα στον κύβο. Ο ορισμός των δύο αυτών συντελεστών θα οδηγήσει στην επίτευξη της μαθηματικής τεκμηρίωσης του εργαλείου και θα επιτρέψει τη δοκιμή του σε συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης, σε συγκεκριμένα, δηλαδή, συστήματα όμοιων φυσικών φαινομένων.



## Βιβλιογραφικές αναφορές

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Andrew, Gr., 2007. *Εύρηκα. Η ανακάλυψη της επιστήμης στην Αρχαία Ελλάδα*.

Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τον Μαυρουδή, Α. Δ. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Ariew, R., 1986. Descartes as Critic of Galileo's Scientific Methodology. *Synthese*, vol. 67, p. 77–90.

Bauval R. and Brophy Th., 1989. *Black Genesis: The Prehistoric Origins of Ancient Egypt*. Toronto, Canada: Bear & Company.

BBC, 2018. *Egypt animal mummies showcased at Saqqara near Cairo*. [online] Available at: <https://www.bbc.com/news/world-middle-east-50531808>. [Accessed January 17, 2020].

Bell J. and Machover, M., 1977. *A Course in Mathematical Logic*. Amsterdam: North-Holland.

Bertot, Yv., Huet, G., Levy, J-J., Plotkin, G. and Milner, R. 2009. The tower of informatic models. In *From Semantics to Computer Science: Essays in Honour of Gilles Kahn* (1st edition). USA, New York: Cambridge University Press. P. 559-572. Available at: [https://www.research.ed.ac.uk/portal/files/15342730/The\\_Tower\\_of\\_Informatic\\_Models.pdf](https://www.research.ed.ac.uk/portal/files/15342730/The_Tower_of_Informatic_Models.pdf). [Accessed March 15, 2020].

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2019, November 22). *Thales of Miletus*. Encyclopedia Britannica. Available at:

<https://www.britannica.com/biography/Thales-of-Miletus>. [Accessed January 20, 2021].

Brophy, Th. G., 2002. *The Origin Map: Discovery of a Prehistoric, Megalithic, Astrophysical Map and Sculpture of the Universe*. United States : iUniverse.

Butterfield, H., 2010. *Η καταγωγή της σύγχρονης επιστήμης (1300-1800)*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τους Αρζόγλου, Ι. και Χριστοδουλίδη, Α. Αθήνα : MIET.

Canadian Museum of History. *Mysteries of Egypt. Astronomy* [online] Available at: <https://www.museedelhistoire.ca/cmce/exhibitions/civil/egypt/egcs03e.html>. [Accessed January 17, 2021]

Chalmers, F. A., 2004. *Τι είναι αυτό που το λέμε επιστήμη*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τον Φουρτούνη, Γ. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.

Coutelieris, F. A. and Kanavouras A., 2016(a). A Methodological Approach on Experimentation Engineering. *The Experiment-International Journal of Science and Technology*. Vol.36(4), 2246-2257.

Coutelieris, F. A. and Kanavouras A., 2016(b). The cycle of understanding physical phenomena: A Tool for Handling Experience, Technology and Technique as decisive knowledge contributors. *The Experiment-International Journal of Science and Technology*. Vol.36(4), p. 2241-2245.

Coutelieris, F. A. and Kanavouras A., 2018. *Experimentation Methodology for Engineers*. Springer International Publishing.

Crombie, A., C., 2006. *Από τον Αυγουστίνο στον Γαλιλαίο*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από την Ιατρίδου Μ. και τον Κούρτοβικ, Δ. Αθήνα: MIET.

- Douglas, J., 2016. Ratios, Quotients, and the Language of Nature. In G. Gorham, B. Hill, Ed. Slowik, and C. Kennedy Waters, eds. *The Language of Nature*. Minneapolis: University of Minnesota Press. p. 160-177.
- Dym, Cl. L., 2004. *Principles of mathematical modelling*. Burlington, USA: Elsevier Academic Press.
- Earman, J., 1999. Το πρόβλημα του Ντετερμινισμού στις φυσικές επιστήμες. Στον συλλογικό τόμο των *Αρ. Μπαλά και Κ Γιαβρόγλου, επιμ. Εισαγωγή στη Φιλοσοφία της Επιστήμης*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τους Θεοδώρου, Π., Παναγιωτίδη, Κ. και Φουρτούνη, Γ. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, σελ. 317-369.
- Farrington, B., 1989. *Η επιστήμη στην αρχαία Ελλάδα*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τον Ραΐση, Ν. Αθήνα: Κάλβος.
- Frigg, R., 2006. Scientific representation and the semantic view of theories. *Theoria. An International Journal for Theory, History and Foundations of Science*, Vol. 21, Is. 1, p. 49-65.
- Frigg, R. and Hartmann St., 2020. Models in Science. In Ed. N. Zalta, ed. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2020 Edition). Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/models-science/>. [Accessed September 10, 2020].
- Frigg, R. and Nguyen J., 2017. Models and representation. In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.). *Springer Handbook of Model-Based Science*. Berlin Springer Cham, Switzerland: Springer. p. 49-102.
- Froude, W., 1874. On Experiments with H. M. S Greyhound. In Th. Scott, ed.

*Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 15, p. 36-73.

Gelfert, Ax., 2017. The ontology of models. In L. Magnani and T. Bertolotti, eds.

*Handbook of Model-Based Science*: Springer. p. 5-23.

Giere, R., 2004. How Models Are Used to Represent Reality. In S. D. Mitchell, ed.

*Philosophy of Science*. Vol. 71, n. 5, p. 742-752. Proceedings of the Biennial

Meeting of The Philosophy of Science Association, 7-9 November 2002,

Milwaukee, Wisconsin. Vol. 71, n. 5, p. 742-752.

Giere, R., 1988. *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of

Chicago Press.

Giere, R. N., 1986. Cognitive Models in the Philosophy of Science. In *Philosophy of*

*Science, Volume two: Symposia and Invited Papers*. Proceedings of the Biennial

Meeting of the Philosophy of Science Association, 1986. University of Chicago

Press, Springer, Philosophy of Science Association, Vol. 2, p. 319-328.

Glenn, M., 2008. An Introduction to Mathematical Modelling. Courses text for

Bioinformatics and Statistics Scotland. Given by Daniel Lawson and Glenn Marion.

Available at: [https://people.maths.bris.ac.uk/~madjl/course\\_text.pdf](https://people.maths.bris.ac.uk/~madjl/course_text.pdf). [Accessed

June 10, 2020].

Goodman, N., 1972. *Problems and Projects*. Indianapolis: The Bobbs-Merrill

Company.

Grant, Ed., 2016. *Τα θεμέλια τους σύγχρονης επιστήμης στον Μεσαίωνα. Το*

*θρησκευτικό, θεσμικό και πνευματικό τους πλαίσιο*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά

από την Παπαδάκη, Σ. Μ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ροπή.

- Grant, Ed., 2013. *Οι φυσικές επιστήμες τον Μεσαίωνα*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τον Σαρίκα, Ζ. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Gregersen, Erik. History of Technology Timeline. In *Encyclopedia Britannica*. Available at: <https://www.britannica.com/story/history-of-technology-timeline>. [Accessed 19 June 2021].
- Grigoriadou, V., Coutelieris, F., Theologou, K. and Kanavouras, A. 2019. The concept of similarity in natural sciences in post Enlightenment era. *Skepsis (A Journal for philosophy and international research)*. Vol. 29, pp.176-187. Olympic Center for Philosophy and Culture (OCPC), Ennoia publications.
- Grigoriadou, V., Coutelieris, F. and Theologou, K., 2021. History of the concept of similarity in natural sciences. *Conatus-Journal of Philosophy*. Vol. 6, No 1, p. 101-123. Available at: <https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/Conatus/article/view/22955>. [Accessed October 01 2020].
- Hankins, Th. L., 1998. *Επιστήμη και Διαφωτισμός*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τον Γκουνταρούλη, Γ. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Heath, Th., 1921. *History of Greek Mathematics, Volume 1: From Thales to Euclid*. Oxford: Clarendon Press.
- Hesse, M., 1967. Models and Analogy in Science. In P. Edwards, eds. *Encyclopedia of Philosophy*. New York: Macmillan. P. 354-359.
- Hodges, W., 2020. Model Theory. In Ed. N. Zalta, ed. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2020 Edition). Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/model-theory/>. [Accessed November 10, 2020].

- Hodges, W. (1997). *A Shorter Model Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ifenthaler, D., 2012. "Computer Simulation Model." In M. N. Seel, ed. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Boston: Springer. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6\\_500](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_500). [Accessed March 18, 2020].
- Ingold, T., 2000. *The Perception of the Environment. Essays in livelihood, dwelling and skill*. London and New York: Routledge.
- Jorgensen, L. B., 2012. Introduction to Part II: Technology as Practice. In M. L. Stig Sorensen and K. Rebay-Salisbury, eds. *Embodied Knowledge Perspectives on Belief and Technology*. Oxford: Oxbow Books. p. 89-94.
- Kanavouras, A. and Coutelieris, F A., 2017(b). A Methodological Approach for Optimum Preservation Results: The Packaging Exemplar. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 6 (1), p. 56-66.
- Kanavouras, A. and Coutelieris, F A., 2017(a). Systematic transition from description to prediction for the oxidation in packaged olive oil. *Food chemistry* 229 (2017), p. 820–827.
- Krantz, D. H., Luce DR., Suppes, P. and Tversky, A., 1971. *Foundations of Measurement Vol. I: In Additive and Polynomial Representations*. New York: Academic Press.
- Lakatos, I., 1971. History of Science and its Rational Reconstructions. In *Boston Studies in the Philosophy of Science* vol. 8, p. 91-136
- Liddell, H. G. and Scott R., 1987. *A Greek-English Lexicon*. Available at: [http://www.Perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0057:entry=e\) pisth/mh](http://www.Perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus:text:1999.04.0057:entry=e) pisth/mh). [Accessed July 5, 2020].

- Lindberg, D. C., 2003. *Οι απαρχές της Δυτικής Επιστήμης*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τον Μαρκολέφα, Η. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Lloyd, G.E.R., 2003. *Αρχαία ελληνική επιστήμη*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από την Καρλέτσα, Π. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Losee, J., 1993. *Φιλοσοφία της επιστήμης*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τον Χρηστίδη, Θ. Μ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Βάνιας.
- Malville, J.M., Wendorf, Fred, Mazar, Ali A. and Schild, R., 1998. Megaliths and Neolithic Astronomy in Southern Egypt. *Nature*. Vol. 392, is. 6675, p. 488–490.
- Mo, J. P. T. and Sinha, Arv, 2015. Systems design. In John P. T. Mo, B. Cees and Arv. Sinha, eds. *Engineering Systems Acquisition and Support*. UK, Cambridge: Woodhead Publishing Series in Mechanical Engineering. p. 51-75.
- Morgan, M. S. and Morrison, M., 1999. *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Morrison, M. C., 1996. *Models as Mediators: based on a contribution to a seminar under the auspices of the Otto und Martha Fischbeck-Stiftung*, Wissenschaftskolleg, May 20-22, 1996.
- Moss, J., 2020. Is Plato’s Epistemology About Knowledge? In S. Hetherington and N. D. Smith, eds. *What the Ancients Offer to Contemporary Epistemology*. [online] Oxfordshire: Routledge. p. 68-85. Available at: [https://as.nyu.edu/content/dam/nyuas/faculty/documents/Is%20Plato's%20Epistemology%20About%20Knowledge\\_.pdf](https://as.nyu.edu/content/dam/nyuas/faculty/documents/Is%20Plato's%20Epistemology%20About%20Knowledge_.pdf). [Accessed January 17, 2020].

- Nersessian, N. J., 1998. Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In L. Magnani, N. Nersessian and P. Thagard, eds. *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*. Pavia, Italy: Springer. p. 5-22.
- Neugebauer, O., 2003. *Οι θετικές επιστήμες στην αρχαιότητα*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από την Ζερμπίνη, Χ. Αθήνα: ΜΙΕΤ.
- Nunn, J. F., 2002. *Ancient Egyptian Medicine*. Oklahoma: University of Oklahoma Press Norman.
- Outram, D., 1999. *The Enlightenment*. New York: Cambridge University Press.
- Randell, Br. (ed.), 1982. The Origins of Digital Computers: Selected Papers. In *Springer Monographs in Computer Science*. New York: Springer-Verlag Berlin-Heidelberg. p. 1-6.
- Reeves, J., 2007. The Science and Religion Dialogue as Natural Philosophy. *Metanexus*. Available at: <https://www.metanexus.net/science-and-religion-dialogue-natural-philosophy/>. [Accessed July 5, 2020].
- Rogers, K., 2012. Scientific modeling. In *Encyclopædia Britannica*, May 21, 2012. Available at: <https://www.britannica.com/science/scientific-modeling>. [Accessed June 10, 2020].
- Schaffer, S., 2004. Fish and Ships: models in the age of reason. In S. Chadarevian and N. Hopwood, eds. *Models: the third dimension of science*, California: Stanford University Press. p. 71-105.
- Shaw, St. J., 2013. *W.E.B Du Bois and the Souls of Black Folk*. North Carolina: University of North Carolina Press.



- Smith, R. D., 1999. Simulation: The Engine Behind The Virtual World. In *the Simulation 2000 series*, Vol.1., p.1-24. Available at: <http://www.simulationfirst.com/papers/sim2000/SimulationEngine.PDF>. [Accessed March 18, 2020].
- Sterrett, S. G., 1998. Sounds Like Light: Einstein's Special Theory of Relativity and Mach's Work on Acoustics and Aerodynamics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 29, 1 - 35.
- Sterrett, S. G., 1999. *How Beliefs Make a Difference*. Ph.D. Dissertation. University of Pittsburgh. Available on Philosophy of Science Archive at <http://philsci-archive.pitt.edu/9372/>. [Accessed March 11, 2021].
- Sterrett, S. G., 2000. Turing's Two Tests for Intelligence. *Minds and Machines*, Vol. 10, p. 541- 559. Reprinted in *The Turing Test: The Elusive Standard of Artificial Intelligence*. Edited by James H. Moor. Kluwer Academic, 2003. Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/8480/>.
- Sterrett, S. G., 2002(a). Darwin's analogy between artificial and natural selection: how does it go? *Studies in History and Philosophy of the Biological and Biomedical Sciences*, Vol. 33, no 1. p. 151-168. Available at: <https://soar.wichita.edu/handle/10057/7118>. [Accessed February 15, 2021].
- Sterrett, S. G., 2002(b). Physical Models and Fundamental Laws: Using One Piece of the World to Tell About Another. *Mind and Society*, Vol. 3, p. 51-66.
- Sterrett, S. G., 2002(c). "Physical Pictures: Engineering Models circa 1914 and in Wittgenstein's *Tractatus*." In M. Heidelberger and Fr. Stadler, eds. *History and Philosophy of Science: New Trends and Perspectives* (Vienna Institute Yearbook 2001/9), Kluwer Academic, 2002. p. 121-135. Available at (Preprint of longer

lecture based on paper, includes timeline): <http://philsci-archive.pitt.edu/661/>.

[Accessed March 11, 2021].

Sterrett, S. G., 2002(d). Too Many Instincts: Contrasting Philosophical Views on Intelligence in Humans and Non-Humans. *JETAI (Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence)*, Vol. 14, No. 1. p. 39 - 60. Reprinted in K. Ford, Cl. Glymour and P. Hayes, eds. *Thinking About Android Epistemology*. MIT Press (March 2006).

Sterrett, S. G., 2005(a). Kinds of Models. Based on a contribution to a panel discussion: STS Interdisciplinary Roundtable: *The Multiple Meanings of Models*. John Hope Franklin Center, March 20, 2003, Duke University, Durham NC. p.1-14. Available at: <https://soar.wichita.edu/handle/10057/10714>. [Accessed April 10, 2020].

Sterrett, S. G., 2005(b). Pictures of Sound: Wittgenstein on Gramophone Records and the Logic of Depiction. *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 36, p. 351-362. Available at: <http://philsci-archive.pitt.edu/2019/>. [Accessed January 25, 2021].

Sterrett, S. G., 2005(c). *Wittgenstein Flies a Kite: A Story of Models of Wings and Models of the World* Published November 2005. Pi Press (Penguin books).

Sterrett, S. G., 2006. Models of Machines and Models of Phenomena. *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 20, No. 1, p 69-80.

Sterrett, S. G., 2010. Similarity and Dimensional Analysis. In An. Meijers, ed. *Handbook of the Philosophy of Science: Philosophy of Technology and the Engineering Sciences*. Amsterdam: North Holland, Vol. 9. P. 799–824.

- Sterrett, S. G., 2012(a). Bringing Up Turing's Child-Machine. In *How the World Computes, Springer Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 7318/2012. P. 703 - 713. Preprint: <http://philsciarchive.pitt.edu/9085/>.
- Sterrett, S. G., 2012(b). Similarity, Analogy and Models. *Matters of proportion*. Available at: <https://mattersofproportion.wordpress.com/similarity-analogy-and-models/>. [Accessed April 10, 2020].
- Sterrett, S. G. (2014). The morals of model-making. *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Volume 46, June 2014, p. 31-45. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0039368113001283>. [Accessed April 10, 2020].
- Sterrett, S. G., 2017(a). Experimentation on Analogue Models. In L. Magnani and T. Bertolotti, eds. *Springer Handbook of Model-Based Science*. Switzerland: Springer. P. 857-878.
- Sterrett, S. G., 2017(b). Physically Similar Systems - A History of the Concept. In L. Magnani and T. Bertolotti, eds. *Springer Handbook of Model-Based Science*. Switzerland: Springer. p 377-411.
- Sterrett, S. G., 2018. Pictures, models, and measures. *Belgrade Philosophical Annual 30/2017; Special Issue: Wittgenstein In Perspective*. Available at: <http://wittgenstein-initiative.com/wp-content/uploads/2018/10/bpa-30-2017-susan-g-sterrett-1.pdf>. [Accessed February 05, 2020].
- Sterrett, S. G. 2019. *Curriculum Vitae*. Available at: <https://wichita.academia.edu/SusanSterrett/CurriculumVitae>. [Accessed March 05, 2020].

Sterrett, S. G., 2020. The Genius of the 'Original Imitation Game' Test. *Minds & Machines*, vol. 30, p. 469- 486.

Sterrett, S. G., 2021(a). *Curriculum Vitae*. Available at: <https://www.susangsterrett.com/uploads/8/1/3/0/81308146/sterrettcvshortjune2021.pdf>. [Accessed October 01, 2021].

Sterrett, S. G., 2021(b). Mach on Analogy in Science. In J. Preston, ed. *Interpreting Mach: Critical Essays*. Cambridge University Press. p.67-83.

Sterrett, S. G., 2021(c). Review of *The Constructive Mind: Bartlett's Psychology in Reproduction*. Cambridge. In Br. Wagoner, ed. *Memory Studies*. UK: Cambridge University Press. Vol. 14 (1). p. 112 - 115.

Strohmeier, J. and Westbrook, P., 2004. *Πυθαγόρας η ζωή και η διδασκαλία του*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τη Γιαννιού, Δ. Θεσσαλονίκη: Αρχέτυπο.

*The Nabta Playa*. 2019. [YouTube] United States of America, Washington: AE LEARNING. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=snjXEM1ZgBY> [Accessed February 25, 2021].

*The Origins of Ancient Egypt: Prehistoric Petroglyphs and Nabta Playa*. 2017. [YouTube] England: Ancient Architects. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=9FPN3V7arFI> [Accessed February 25, 2021].

The University of Memphis, 2019. *A model of the Universe* [online] Available at: [https://www.memphis.edu/hypostyle/meaning\\_function/model-universe.php](https://www.memphis.edu/hypostyle/meaning_function/model-universe.php) [Accessed January 20, 2021].

Van Der Waerden, 1975. *Science Awakening I*. United States of America: Kluwer Academic Publishers.

Westfall R. S., 2008. *Η συγκρότηση της σύγχρονης επιστήμης*. Μεταφρασμένο από τα Αγγλικά από τη Ζήση, Κ. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Wichita State University, 2022. Susan G. Sterrett. Available at: <https://soar.wichita.edu/handle/10057/6802> [Accessed March 15 2022].

Winsberg, Er., 2003. Simulated Experiments: Methodology for a Virtual World. *Philosophy of Science*. Vol. 70, N.1. Chicago: Chicago journals. p.105-120.

Wisn, L. W., 1984. Galileo and the Process of Scientific Creation. In *The University of Chicago Press on behalf of The History of Science Society*, Vol. 75, No. 2, p. 269-286.

Wolfe, C. T. and Shank, J.B., 2021. Denis Diderot. In N. Zalta, ed. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2021 Edition)*. Available at: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/diderot/>. [Accessed March 15 2021].

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Αριστοτέλης, 2017. *Περί τα ζώα Ιστορίαι, Βιβλία Α-Ε*. Μεταφρασμένο στα Νέα Ελληνικά από τον Αλέξανδρο Βασιλειάδη. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτρος.

Αριστοτέλης, 2018. *Περί τα ζώα Ιστορίαι, Βιβλία Κ-Ζ*. Μεταφρασμένο στα Νέα Ελληνικά από τον Αλέξανδρο Βασιλειάδη. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτρος.

Γέμτος, Α. Π., 2003. *Μεθοδολογία των κοινωνικών επιστημών*. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.

Γκούντας, Ι., 2015. *Εφαρμοσμένη Υδραυλική Εργαστήρια*. Κοζάνη: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας.

- Γρηγοριάδου Β., Κουτελιέρης Φρ. Και Θεολόγου Κ. , 2018. Τα επιστημονικά μοντέλα: βασικά μέσα της μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών μετά τον Διαφωτισμό. *Περιοδική έκδοση Ολιστικής Φιλοσοφίας Ξενοφών των Ch. Evangeliou and Σ. Φουρνάρος*. Τεύχος 3, σελ. 47-55.
- Γρηγοριάδου, Β., 2021. Η έννοια του επιστημονικού μοντέλου από τις φυσικές επιστήμες του 17ου αιώνα στη σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης. *Ετήσια Επιστημονική Επιθεώρηση για τις Ανθρωπιστικές, Κοινωνικές, Περιβαλλοντικές και Πολιτιστικές Επιστήμες Signum*. Vol. 4-5, σελ. 145-162.
- Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης & Ηλεκτρονικού περιεχομένου (ΕΚΤ), 2011. Ηθική και δεοντολογία στην επιστημονική έρευνα. Στο περιοδικό των Μπούμπουκα Ευ. Και Σαχίνη Ε., εκδ. *Καινοτομία, Έρευνα & Ψηφιακή Οικονομία*, τεύχος 81 Δεκέμβριος 2010-Ιανουάριος 2011. [Διαδίκτυο] Διαθέσιμο στο: <https://www.ekt.gr/el/magazines/features/19073>. [Πρόσβαση 10 Ιανουαρίου 2021].
- Θεοδοσίου, Ευστ., 2019. James Clerk Maxwell. *Physics News*. No. 29, p 04-21.
- Θεοχάρης, Μ., 2015. *Στραγγίσεις: Ενότητα 7: Μετρήσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας στον αγρό*. Άρτα Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου.
- Καλλέργης, Γ., 1989. *Στοιχεία υδραυλικής των υπόγειων νερών-υδροφορία των γεωλογικών σχηματισμών και μέθοδοι διαπίστωσής της*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Καναβούρας, Α., Θεολόγου Κ. και Κουτελιέρης Φ., 2021. Περιγραφή της εσωτερικής ομοιότητας των φυσικών φαινομένων. *Ετήσια Επιστημονική Επιθεώρηση για τις Ανθρωπιστικές, Κοινωνικές, Περιβαλλοντικές και Πολιτιστικές Επιστήμες Signum*. Τεύχος 4-5, σελ. 210-222.

Χριστοδουλίδης, Π., 1979. *Η εξήγηση στην επιστήμη και η έννοια του μοντέλου.*

Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Εγνατία.

## **Παράρτημα**

A. Ενδεικτικός κατάλογος εργασιών που αξιοποιούν την αρθρογραφία-βιβλιογραφία της Susan G. Sterrett ως βιβλιογραφική πηγή (δευτερογενής βιβλιογραφία).

1) Sterrett, S. G. (1994 Talk), "Frege and Hilbert on the Foundations of Geometry" Available on Philosophy of Science Archive at <http://philsci-archive.pitt.edu/723/>:

1. Sterrett, S. G. (2004), "How Many Thoughts Can Fit in the Form of a Proposition?", Durham, NC: Duke University, <http://philsci-archive.pitt.edu/1816/>.
2. Sterrett, S. G. (2015), "Pictures, Models, and Measures", A contribution to Invited Symposium: "Wittgenstein's Picture Theory" at the 2015 Pacific APA Meeting, <http://philsci-archive.pitt.edu/14333/>.
3. Sterrett, S. G. (2017), Pictures, models, and measures, Belgrade Philosophical Annual 2017, br. 30, str. 99-137

2) Sterrett, S. G. (1998), "Sounds Like Light: Einstein's Special Theory of Relativity and Mach's Work on Acoustics and Aerodynamics" Studies in History and Philosophy of Modern Physics, Vol. 29, pp. 1 - 35:

1. Robert, D. (1990), Book Review: "Mach I, Mach II, Einstein, und Die Relativitätstheorie. Eine Falschung und Ihre Folgen Gereon Wolter", Philosophy of Science, 57 (4):712-, DOI: [10.1086/289591](https://doi.org/10.1086/289591), <https://philpapers.org/rec/ROBBRI-2>.
2. Banks, E.C. (2003), "Ernst Mach's world elements: A study in natural philosophy", Kluwer Academic Publishers, books.google.com.
3. Svozil, K. (2004), "Feyerabend and physics", arXiv preprint physics/0406079, arxiv.org, <https://arxiv.org/abs/physics/0406079>.



4. Brown HR. (2005), "Physical relativity: Space-time structure from a dynamical perspective", Oxford University Press on Demand.
5. Pasca Fr. (2006), "Références et inférences depuis le document enregistré; de quoi l'enregistrement sonore peut-il nous rendre témoin?", IRFU - Institut de Recherches sur les lois Fondamentales de l'Univers: DRF/IRFU, tel.archives-ouvertes.fr.
6. Schlimm Dirk (2008), "Two ways of analogy: Extending the study of analogies to mathematical domains", Philosophy of Science, Vol. 75, Num. 2, journals.uchicago.edu.
7. Siemsen, H. (2009), "Conceptual Adaptation: Bridging Spatial and Temporal Relations through Cognitive Wormholes, Transnational Political Spaces: Agents-Structures-Encounters", books.google.com.
8. Domazet, MI. (2010), "Food is the first thing, but the morals must follow on: An attempt to holistically frame the discourse for action in the conditions of climate change, Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change", berlinconference.org.
9. Domazet, MI. (2011), "Food is the first thing, but the morals must follow on", efubium.fu-berlin.de.
10. Siemsen, H. (2011), "Ernst Mach and the epistemological ideas specific for Finnish science education", Science & Education, Vol. 20, Is. 3–4, pp 245–291, Springer.
11. Siemsen, H. (2013), "Ernst Mach and George Sarton's Successors: The Implicit Role Model of Teaching Science in USA and Elsewhere", Part II, Science & Education, Vol. 22, Is. 5, pp 951–1000, Springer.

12. Mahenc, G. (2016), "Localisation par retournement temporel de sources acoustiques supersoniques en milieu réverbérant", tel.archives-ouvertes.fr.
  13. Sterrett, S.G. (2017), "Experimentation on analogue models", Springer Handbook of Model-Based Science, pp 857-878, Springer.
  14. Ravn, M. (2018), "Roads to complexity: Hawaiians and Vikings compared, Danish Journal of Archaeology", Vol. 7, Is. 2, Taylor & Francis.
  15. Sterrett, S.G. (2017), "Experimentation on Analogue Models.", In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), Springer Handbook of Model-Based Science, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11492/>.
- 3) Sterrett, S. G. (1999), "How Beliefs Make a Difference" Ph.D. Dissertation, University of Pittsburgh:
1. Nadeem J. Z. Hussain (2004), "Nietzsche's Positivism", European Journal of Philosophy 12 (3):326–368.
- 4) Sterrett, S. G. (2000), "Turing's Two Tests for Intelligence", Minds and Machines, Vol. 10, pp. 541-559. Reprinted in The Turing Test: The Elusive Standard of Artificial Intelligence. Edited by James H. Moor. Kluwer Academic, 2003. (preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/8480/>):
1. Piccinini, G. (2000), "Turing's rules for the imitation game", Minds and Machines, Vol. 10, Is. 4, pp 573–582, Springer.
  2. Moor, J. H. (2001), "The status and future of the Turing test", Minds and Machines, Vol. 11, Is. 1, pp 77–93, Springer.

3. Saygin A. P., Cicekli I. (2002), "Pragmatics in human-computer conversations", *Journal of Pragmatics*, Vol. 34, Is. 3, Pages 227-258, Elsevier.
4. Sterrett, S. G. (2002), "Nested Algorithms and ``The Original Imitation Game Test": A Reply to James Moor, *Minds and Machines*, Vol. 12, pp. 131-136.
5. Oppy G., Dowe D., (2003), "The turing test, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*", seop.illc.uva.nl.
6. Petersen, T.S. (2003), "Egalitarianism and repugnant conclusions", *Danish yearbook of philosophy*, Vol. 38: Is. 1, brill.com.
7. Scheuring, D. (2004), "The Imitation Game Revisited-Building Turing's Oracle Machine", *Imaginary Machines*, Germany, static.twoday.net.
8. Proudfoot, D. (2005), "A new interpretation of the Turing test", *The Rutherford Journal: The New Zealand for the History and Philosophy of Science and Technology*, rutherfordjournal.org.
9. Sterrett, S. G. (2006), "Too many instincts: Contrasting philosophical views on intelligence in humans and non-humans", *JETAI (Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence)*, Vol. 14, No. 1, pp. 39 - 60. Reprinted in *Thinking About Android Epistemology*, Edited by Ken Ford, Clark Glymour and Patrick Hayes, MIT Press (March 2006).
10. Ford K.M., Glymour C., Hayes P.J. (2006), "Thinking about android epistemology", *AI Magazine*, vol.27, nun.4, American Association for Artificial Intelligence.
11. Leiber, J. (2006), "Turing's golden: How well turing's work stands today", *Philosophical Psychology*, Vol. 19, - Is. 1, pp 13-46, Taylor & Francis.

12. Collin F. (2006), "Danish Yearbook of Philosophy", vol. 40, Museum Tusculanum Press.
13. Boschetti F., Gray R. (2008), "A Turing test for Emergence, Advances in applied self-organizing systems", Springer.
14. Büchs, M. (2008), "Author Query Form", Cambridge Journal of Regions, Economy Society, Article doi: 10.1093/cjres/rsn026-pdfs.semanticscholar.org.
15. Wallace, R.S. (2009), "The anatomy of ALICE, Parsing the Turing Test", pp 181-210 |, Springer.
16. Ariza, C. (2009), "The interrogator as critic: The turing test and the evaluation of generative music systems", Computer Music Journal, Vol. 33, Is. 2, p.48-70, - MIT Press.
17. Hodges, A. (2009), "Alan Turing and the Turing test", Parsing the Turing Test, pp 13-22, Springer.
18. Copeland, J., Proudfoot, D. (2009), "Turing's Test", Parsing the Turing Test, pp 119-138, Springer.
19. Neumann, F., Reichenberger, A., Ziegler, M. (2009), "Variations of the turing test in the age of internet and virtual reality", KI 2009: Advances in Artificial Intelligence pp 355-362, Springer.
20. Hales, C. (2009), "An empirical framework for objective testing for P-consciousness in an artificial agent", Open Artificial Intelligence Journal, 3, 1-15, researchgate.net.
21. Shah H., Warwick K. (2010), "Testing Turing's five minutes", parallel-paired imitation game, Kybernetes, Vol. 39 Is.: 3, pp.449-465, <https://doi.org/10.1108/03684921011036178>, - emeraldinsight.com

22. Łupkowski, P. (2010), "Test Turinga", Perspektywa sędziego, repozytorium.amu.edu.pl.
23. Rhee, J. (2010), "Anthropomorphic Attachments in US Literature, Robotics, and Artificial Intelligence", Dissertation School of Duke University, dukespace.lib.duke.edu.
24. Abramson, D. (2011), "Descartes' influence on Turing", Journal: SHPS, Article Number: 897, philarchive.org.
25. Torma, N. (2011), "Artificial intelligence: overview on question answering and chatbots", Technical University of Vienna.
26. Sterrett, S. G. (2012), "Bringing up Turing's 'Child-Machine'", in How the World Computes, Springer Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7318/2012, 703 - 713. (preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/9085/>).
27. D. Proudfoot, D. (2013), "Rethinking Turing's test", The Journal of Philosophy, Vol. 110, Is. 7, July 2013, pp 391-411, pdcnet.org.
28. Besold, T.R. (2013), "Turing Revisited: A Cognitively-Inspired Decomposition", Philosophy and Theory of Artificial Intelligence, pp 121-132, 49069 Osnabruck, Germany, academia.edu.
29. Sweeney, M. (2014), "Not just a pretty (inter) face: A critical analysis of Microsoft's' Ms. Dewey", Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, ideals.illinois.edu.
30. Lloyd, II. (2014), "Emotional Intelligence and Stress-coping in High Stress Occupations", Prescott LLC. Arizona, search.proquest.com.
31. Tvrdý, F. , "Turingův test", theses.cz.

32. Meany, M.M. (2014), "The performance of comedy by artificial intelligence agents", Dissertation, School of Communication and the Arts College of Arts, Victoria University, [vuir.vu.edu.au](http://vuir.vu.edu.au).
33. Gilbert, R.L., Forney, A. (2015), "Can avatars pass the Turing test? Intelligent agent perception in a 3D virtual environment", *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 73, January, pp 30-36, Elsevier.
34. Warwick, K., Shah, H. (2016), "Passing the turing test does not mean the end of humanity", *Cognitive computation*, Vol. 8, Is. 3, pp 409–419, Springer.
35. Brincker, M. (2016), "Dynamics of Perceptible Agency: The Case of Social Robots", *Minds and Machines*, December 2016, Vol. 26, Is. 4, pp 441–466, Springer.
36. Warwick, K., Shah, H. (2017), "Taking the fifth amendment in Turing's imitation game", *journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, Vol. 29, Is. 2, Pages 287-297, Taylor & Francis.
37. González, W.J. (2017), "From intelligence to rationality of minds and machines in contemporary society: The sciences of design and the role of information", *Minds and Machines*, September 2017, Vol. 27, Is. 3, pp 397–424, Springer.
38. Shah, H., Warwick, K. (2017), "Machine humour: examples from Turing test experiments", *AI & SOCIETY*, November 2017, Vol. 32, Is. 4, pp 553–561, Springer.
39. Yang, K. (2017), "Improving Response Diversity for Dialogue Systems", [dash.harvard.edu](http://dash.harvard.edu).

40. Greif, H. (2017), [BOOK] "Environments of Intelligence: From natural information to artificial interaction, Routledge", taylorfrancis.com.
  41. Lloyd, M. (2017), "Influence of Emotional Intelligence on Stress and Job Performance of Financial Planners", Northcentral University, ProQuest Dissertations Publishing, 10282400, search.proquest.com.
  42. Besold, T. R., Uckelman, S.L. (2018), "Normative and descriptive rationality: from nature to artifice and back", Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Vol. 30, 2018 - Is. 2, pp 331-344, Taylor & Francis.
  43. Tulk, S., Cumings, R., Zafar, T., Wiese, E. (2018), "Better know who you are starving with: Judging humanness in a multiplayer videogame", Proceedings of the Technology, Mind, and Society, Article No. 41, dl.acm.org.
  44. Šprogar, M. (2018), "A ladder to human-comparable intelligence: an empirical metric", Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence Vol. 30, 2018 - Is. 6, pp 1037-1050, Taylor & Francis.
  45. Grimshaw-Aagaard, K.M.N. (2019), "DEN KREATIVE STATISTIKER", Aalborg Universitet, projekter.aau.dk.
  46. GUIDETTI, E. "An Analysis of the Literal Interpretation of Turing's Imitation Game", academia.edu.
- 5) Sterrett, S. G. (2002), "Darwin's analogy between artificial and natural selection: how does it go?", Studies in History and Philosophy of the Biological and Biomedical Sciences, Vol. 33, pp.151-168.
1. Gildenhuys, P. (2004), "Darwin, Herschel, and the role of analogy in Darwin's origin", Studies in History and Philosophy of Science Part C:

Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, Vol. 35, Is. 4, pp 593-611, Elsevier.

2. Alter, S.G. (2007), "Separated at birth: the interlinked origins of Darwin's unconscious selection concept and the application of sexual selection to race", journal of the History of Biology, Vol. 40, Is. 2, pp 231–258, Springer.
3. Alter, S.G. (2007), "The advantages of obscurity: Charles Darwin's negative inference from the histories of domestic breeds", Annals of science, Vol. 64, Is. 2, pp. 235-250, Taylor & Francis.
4. Alter, S.G. (2007), "Darwin's Artificial Selection Analogy and the Generic Character of" Phyletic" Evolution", History and Philosophy of the Life Sciences, Vol. 29, No. 1 (2007), pp. 57-81, JSTOR.
5. Gorham, G. (2008), "Symposium: The Seventeenth Century Origins of Absolute Space and Time", Citeseer.
6. Gregory, T.R. (2009), "Artificial selection and domestication: modern lessons from Darwin's enduring analogy", Evolution: Education and Outreach, biomedcentral.com.
7. Costa, J.T. (2009), "The Darwinian revelation: tracing the origin and evolution of an idea", BioScience, Vol. 59, Is. 10, pp 886–894, academic.oup.com.
8. Bidau, C.J. (2009), "La Domesticación a Través de los Siglos: las Ideas de Darwin y el Experimento a Largo Plazo de Dmitry Belyaev en Zorros Plateados", Gayana (Concepc.) v.73 supl.1 Concepción2009, pp.55 -72 - scielo.conicyt.cl.



9. Fitzhugh, K. (2010), "Evidence for evolution versus evidence for intelligent design: parallel confusions", *Evolutionary Biology*, Vol. 37, Is. 2–3, pp 68–92, Springer.
10. Sanchez, L. (2010), "Darwin, artificial selection, and poverty: Contemporary implications of a forgotten argument", *Politics and the Life Sciences*, Vol. 29, Is.1, pp. 61-71, 2010 - [cambridge.org](http://cambridge.org).
11. J.R. Álvarez, "La selección natural: lenguaje, método y filosofía, ÉNDOXA: Series Filosóficas", n.o 24, pp. 91-122. UNED, Madrid, 2010 - [philarchive.org](http://philarchive.org).
12. Fisher, A.A. (2010), "An arc across fields of study: electricity in Physics and Chemistry (1751-1807) ", University of Minnesota Ph.D. dissertation. October 2010. Major: History of Science and Technology, [conservancy.umn.edu](http://conservancy.umn.edu).
13. Ginnobili, S. (2011), "Selección artificial, selección sexual, selección natural, *Metatheoria—Revista de Filosofía e Historia de la Ciencia*", Vol. 2, is. 1, [metatheoria.com.ar](http://metatheoria.com.ar).
14. Theunissen, B. (2012), "Darwin and his pigeons. The analogy between artificial and natural selection revisited, *Journal of the History of Biology*", Vol. 45, Is. 2, pp 179–212, Springer.
15. Derry, M.E. (2012), [BOOK] "Art and science in breeding: creating better chickens", University of Toronto Press, [books.google.com](http://books.google.com).
16. Powell, R., Kahane, G., Savulescu, J. (2012), "Evolution, genetic engineering, and human enhancement", *Philosophy & Technology*, Vol. 25, Is. 4, pp 439–458 2012 – Springer.

17. Erchinger, P. (2012), " Moving Things into Certain Places: Nature, Culture and Art as Practice in Victorian Writing", *Literature Compass*, Vol.9, Is.11, Wiley Online Library.
18. Bárbara, L.B. (2012), "Simmel ea analogia: investigações sobre uso e os aspectos epistemológicos da analogia na Soziologie e na Philosophie des Geldes de Georg Simmel", Master's Dissertation, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, teses.usp.br.
19. Sullivan-Clarke, A. (2013),"On the causal efficacy of natural selection: A response to Richards' critique of the standard interpretation", *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, Vol. 44, Is. 4, Part B, pp 745-755, Elsevier.
20. Charbonneau, M.C. (2013), [BOOK] "L'analogie de l'hérédité culturelle: Fondements conceptuels de la théorie de la double hérédité", Dissertation, Université de Montréal, core.ac.uk.
21. Charbonneau, M. Côté (2013), "L'analogie de l'hérédité culturelle: fondements conceptuels de la théorie de la double hérédité", papyrus.bib.umontreal.ca.
22. Pence, C.H. (2014), [BOOK] "Chance in evolutionary theory: Fitness, selection, and genetic drift in philosophical and historical perspective", Dissertation, University Notre Dame, Indiana, archive.charlespence.net.
23. Howell, P. (2015), [BOOK] "At home and astray: The domestic dog in Victorian Britain", University of Virginia Press, books.google.com.

24. Derry, M.E. (2015), [BOOK] "Masterminding Nature: The Breeding of Animals", 1750-2010, University of Toronto Press, books.google.com.
25. Pence, C.H. (2015), "Charles Darwin and Sir John FW Herschel: Nineteenth-Century Science and its Methodology", philsci-archive.pitt.edu, <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/11645>.
26. Galli, L. González (2016), "El problema de la teleología y la metáfora del diseño en biología: cuestiones epistemológicas e implicancias didácticas", Tecné, Episteme y Didaxis: TED, n.40, pp.240-276. ISSN 0121-3814, scielo.org.co.
27. Galli, L. González (2016), "The problem of teleology and the metaphor of design in biology-epistemological issues and didactic implications", Tecné, Episteme y Didaxis: TED, Rev. Fac. Cienc. Tecnol. no.40 Bogotá July/Dec. 2016 - scielo.org.co.
28. Yalcintas, A. (2016), "ARTIFICIAL SELECTION IN THE INDUSTRY OF PUBLICATIONS: A BIBLIOGRAPHICAL SURVEY ON THE ECONOMIC MANUSCRIPTS OF KARL MARX AND FRIEDRICH ENGELS IN TURKISH", Ankara University, eet.pixel-online.org.
29. Turner, D.D. (2017), "De-extinction as artificial species selection, Philosophy & Technology", Volume 30, Issue 4, pp 395–411, Springer
30. Bagg, S. (2017), "When will a Darwinian approach be useful for the study of society? ", Politics, Philosophy & Economics, Vol. 16, Is. 3, journals.sagepub.com.
31. Ginnobili, S., Blanco, D. (2017), "Wallace's and Darwin's natural selection theories, Synthese", Vol. 196, Is. 3, pp 991–1017, Springer

32. Abeles, O. (2017), "The Agricultural Climax and Darwin's Evolutionary Rhetoric", ProQuest LLC, 2017 - search.proquest.com.
33. Pence, C.H. (2018), "Sir John FW Herschel and Charles Darwin: Nineteenth-Century Science and Its Methodology", HOPOS: The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science Vol. 8, Num. 1, pp.108-140, journals.uchicago.edu.
34. Fisher, A.A. (2018), "Inductive reasoning in the context of discovery: Analogy as an experimental stratagem in the history and philosophy of science", Studies in History and Philosophy of Science Part A Vol. 69, pp. 23-33, Elsevier.
- 6) Sterrett, S. G. (2002) "Nested Algorithms and 'The Original Imitation Game Test': A Reply to James Moor" Minds and Machines, Vol. 12, pp. 131-136:
1. WS NEW, Encyclopedia> Turing test, <http://www.statemaster.com/encyclopedia/Turing-test>, statemaster.com.
  2. Sterrett, S.G. (2002,) "Too many instincts: Contrasting philosophical views on intelligence in humans and non-humans", Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence, Taylor & Francis.
  3. Ford, K.M., Glymour, C., Hayes, P.J. (2006), "Thinking about android epistemology", AI Magazine, American Association for Artificial Intelligence.
  4. Amrinder, Ar. (2007), "Statistics hacking: Exploiting vulnerabilities in news websites", International Journal of

Computer Science and and Network Security, VOL.7 No.3,  
Citeseer.

5. Rhee, J. S. (2010), "Anthropomorphic Attachments in US Literature, Robotics, and Artificial Intelligence", Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Literature in the Graduate School of Duke University, [dukespace.lib.duke.edu](http://dukespace.lib.duke.edu).
6. Sterrett, S.G. (2012,) "Bringing up Turing's 'Child-Machine'", Conference on Computability in Europe, Springer.

7) Sterrett, S. G. (2002) "Physical Models and Fundamental Laws: Using One Piece of the World to Tell About Another" *Mind and Society* 5, Vol. 3, pp. 51-66.  
(preprint: <http://philsciarchive.pitt.edu/720/>):

1. Sterrett, S.G. (2003), "Kinds of models", based on a talk presented at an STS Interdisciplinary roundtable: "The Multiple Meanings of Models", March 20, John Hope Franklin Center, Duke University, [soar.wichita.edu](http://soar.wichita.edu), <http://philsci-archive.pitt.edu/2363/>.
2. Bod, R. (2004), "Explaining New Phenomena in Terms of Previous Phenomena", [philsci-archive.pitt.edu](http://philsci-archive.pitt.edu).
3. Juvina, I. (2006), [BOOK] "Development of cognitive model for navigating on the web", Utrecht University Repository, (Dissertation), [dspace.library.uu.nl](http://dspace.library.uu.nl).

4. Bogen, J. (2008), "The Hodgkin-Huxley equations and the concrete model: Comments on Craver, Schaffner, and Weber", *Philosophy of science*, Vol. 75, Num. 5, journals.uchicago.edu.
5. Caniglia, G. (2008), "Organismi esemplari. Osservazioni epistemologiche di ordine descrittivo", *Filosofia e scienze del vivente. Humana.Mente – numero 6*, academia.edu.
6. Godfrey-Smith, P. (2009), "Models and fictions in science", *Philosophical studies*, Vol. 143, Is. 1, pp 101–116, Springer, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11098-008-9313-2>.
7. David-Rus, R. (2010), "Explanation and Understanding through Scientific Models Perspectives for a New Approach to Scientific Explanation", *Dissertation München*, edoc.ub.uni-muenchen.de.
8. Olaya, C. (2010), "Model-based lawmaking and the curious case of the Colombian criminal justice system", *Kybernetes*, Vol. 39 Is.: 9/10, pp.1678-1700, <https://doi.org/10.1108/03684921011081231> .
9. Van Fraassen, B.C. (2010), "Scientific representation: Paradoxes of perspective, *Analysis*", Vol. 70, Is. 3, Pages 511–514, academic.oup.com, <https://doi.org/10.1093/analys/anq042>.
10. Hashim, M.H.M, (2011) Sharrock, G.B. "Particle Percolation in block caving mines", *The University of New South Wales Sydney, Australia*, unsworks.unsw.edu.au.
11. Mayo, L.A. (2011), [BOOK] "Simulation without replication: How some digital computer simulations serve as scientific experiments", *University of Notre Dame, ProQuest Dissertations Publishing*, 3496540., search.proquest.com.

12. Toon, A. (2012), [BOOK] "Models as make-believe: Imagination, fiction and scientific representation, Palgrave Macmillan", books.google.com.
13. R. B. Mars, R. B., Shea, N.J., Kolling, N., Rushworth, M. F. S. (2012), "Model-based analyses: promises, pitfalls, and example applications to the study of cognitive control", The Quarterly Journal of Experimental Psychology, Vol. 65, Is. 2: COGNITIVE CONTROL OF ACTION AND THE REGULATION OF BEHAVIOUR, Pages 252-267, Taylor & Francis.
14. Sterrett, S.G. (2014,) "The morals of model-making", Studies in History and Philosophy of Science Part A, Vol. 46, Pages 31-45, Elsevier.
15. Andersen, H. (2016), " Complements, not competitors: causal and mathematical explanations", The British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 69, Is. 2, Pages 485–508, <https://doi.org/10.1093/bjps/axw023>, academic.oup.com.
16. Toon, A. (2016), "Imagination in scientific modeling", In Amy Kind (ed.), The Routledge Handbook of Philosophy of Imagination. Routledge. pp. 451-462, philpapers.org.
17. Coutelieris, F.A., Kanavouras, A. (2016) "A methodological approach on experimentation engineering", Experiment, 2016;36:2246–57.
18. Stojanović, M.M. (2016), "Model Theory and Exactness OF Scientific Representation", Doctoral Dissertation, University of Belgrade Faculty of Philosophy, uvidok.rcub.bg.ac.rs.

19. Frigg, R., Nguyen, J. (2017), "Scientific representation is representation-as", Part of the Synthese Library book series (SYLI, volume 379) Philosophy of science in practice pp 149-179, Springer.
20. Sterrett, S.G. (2017), "Experimentation on analogue models", In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), Springer Handbook of Model-Based Science, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11492/>.
21. Frigg, R., Nguyen, J. (2018), "The turn of the valve: representing with material models", European Journal for Philosophy of Science, Vol., Is. 2, pp 205–224, Springer.
22. Garson, J. (2017) "Mechanisms, phenomena, and functions", The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy, taylorfrancis.com.
23. Sterrett, S.G. (2017), "Experimentation on analogue models", In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), Springer Handbook of Model-Based Science, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11492/>.
24. Nguyen, J., Frigg, R. (2017), "Of barrels and pipes: Representation-as in art and science", Chapter 3 of book: Thinking about Science, Reflecting on Art Bringing Aesthetics and Philosophy of Science Together, taylorfrancis.com.
25. Μπεϊμανάβης, Π. (2017), "Η επιστημονική αναπαράσταση: τρόποι απόκλισης και μέθοδοι προσέγγισης στις θεωρίες των Bas van Fraassen & Anjan Chakravartty", Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ.



26. Boon, M. (2018), "Scientific methodology in the engineering sciences", The Routledge Handbook of Philosophy of Engineering. Diane Michelfelder and Neelke Doorn (eds.), researchgate.net.
27. Sánchez-Dorado, J., (2019), "Scientific Representation in Practice: Models and Creative Similarity", Doctoral thesis (Ph.D), UCL (University College London), [discovery.ucl.ac.uk](http://discovery.ucl.ac.uk), <http://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10064872>.
28. Coutelieris, F.A., Kanavouras, A. (2018), "On the Development of Engineering Assets—The MATRIX Scheme, Experimentation Methodology for Engineers", pp 81-105, Springer.
29. Morganti, M. (2018), "Combining Science and Metaphysics Contemporary Physics, Conceptual Revision and Common Sense", Part of the New Directions in the Philosophy of Science book series, Springer.
- 8) Sterrett, S. G. (2002), "Physical Pictures: Engineering Models circa 1914 and in Wittgenstein's Tractatus.", History and Philosophy of Science: New Trends and Perspectives, ed. by Michael Heidelberger and Friedrich Stadler (Vienna Institute Yearbook 2001/9), Kluwer Academic. (preprint of longer lecture based on paper, includes timeline: <http://philsci-archive.pitt.edu/661/>):
1. Nordmann, A. (2002), "Another New Wittgenstein: The Scientific and Engineering Background of the Tractatus", Perspectives on Science, Vol. 10, No. 3, MIT Press.
  2. Biggs, M.A.R. (2005), "21 Visualisation and wittgenstein's "Tractatus" ", Studies in Multidisciplinarity Vol. 2, Pages 293-303, Elsevier.

3. Sterrett, S. G. (2005), "Pictures of sounds: Wittgenstein on gramophone records and the logic of depiction, *Studies in History and Philosophy of Science*", Part A, Vol. 36, pp. 351-362, Elsevier (preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/2019/>).
4. Stern, D. (2006), "Wittgenstein versus Carnap on physicalism: a reassessment", [philsci-archive.pitt.edu](http://philsci-archive.pitt.edu).
5. Richardson, A., Uebel, T. (2007), [BOOK] "The Cambridge companion to logical empiricism", Cambridge University press, [books.google.com](http://books.google.com).
6. Stern, D., (2007), "12 Wittgenstein, the Vienna Circle, and Physicalism. A Reassessment, *The Cambridge Companion to Logical Empiricism*", Cambridge University press, [academia.edu](http://academia.edu).
7. Coelho, R.L. (2007), "A Filosofia da Ciência de Hertz, *Revista Portuguesa de Filosofia*", *Filosofia e Ciência / Science in Philosophy* (Jan. - Sep., 2007), pp. 239-274, JSTOR.
8. Chizeck H.J., Butterworth E., and Basingthwaighte J.B. (2009), "Automated Unit Balancing in Modeling Interface Systems, *Automated Unit Balancing in Modeling, Interface Systems*". IEEE Special Issue (Editors: S. Demir and RWhite), [academia.edu](http://academia.edu).
9. Hyder, D. (2011), [BOOK] "The mechanics of meaning: propositional content and the logical space of Wittgenstein's *Tractatus*, Walter de Gruyter", [books.google.com](http://books.google.com).
10. Kallenberg, J. B.(2012), "Rethinking fideism through the lens of Wittgenstein's engineering outlook", *International Journal for Philosophy of Religion*, Vol. 71, Is. 1, pp 55–732012, Springer.

11. Sterrett, S.G. (2017), "Pictures, models, and measures", Belgrade Philosophical Annual, scindeks.ceon.rs.
12. Nordmann, A. (2018), "A Feeling for the Work as a Limited Whole: Wittgenstein on the Problems of Philosophy and the Problem of Technology", Techné: Research in Philosophy and Technology, Vol. 22, Is. 3, pdcnet.org.
13. Harrington, J. (2008), "Science and the argument of the tractatus", Philosophical Frontiers: Essays and Emerging Thoughts, Progressive Frontiers Press, books.google.com.
14. Seekircher, M. (2003), "Wittgenstein in Berlin", Austrian Ludwig Wittgenstein Society, Printed in cooperation with the Department for Culture and Science of the County of Lower Austria.
15. Chizeck, H. J., Butterworth, Er., Bassingthwaighte, J. B. (2009), "Error detection and unit conversion", IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 28 Is. 3 , Page(s): 50 - 58.
16. Salmi Samuli, "Carnap and the Unity of Science: The intellectual and moral formation of a science-technology generalist: a case study", Doctoral dissertation, helda.helsinki.fi.
17. Christopher Forbes French, "Philosophy as conceptual engineering: Inductive logic in Rudolf Carnap's scientific philosophy".
18. Stern, D. (2015), "From the Philosophical remarks to The unity of science", Argumentos-Revista de Filosofia - rograma de Pós-Graduação em Filosofia-UFC/ICA, ISSN (online):1984-4255 | ISSN (Impresso):1984-4247, periodicos.ufc.br.

19. McGuigan, C.M., Kallenberg, B. (2017), [Book] "Ecclesial Practices", The Oxford Handbook of the Epistemology of Theology, Oxford University Press.

9) Sterrett, S. G. (2002) "Too Many Instincts: Contrasting Philosophical Views on Intelligence in Humans and Non-Humans", JETAI (Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence), Vol. 14, No. 1, pp. 39 - 60. Reprinted in Thinking About Android Epistemology, Edited by Ken Ford, Clark Glymour and Patrick Hayes, MIT Press (March 2006):

1. Sterrett, S.G. (2002), "Nested Algorithms and ``The Original Imitation Game Test'': A Reply to James Moor, Minds and Machines, Vol. 12, Is. 1, pp 131–136, Springer.
2. Boyle, D. (2003), "Hume on animal reason", Hume studies, Vol. 29, Is. 1, Pages 3-28200, pdcnet.org.
3. Rhee, J. S. (2010), "Anthropomorphic Attachments in US Literature, Robotics, and Artificial Intelligence", Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Literature in the Graduate School of Duke University, dukespace.lib.duke.edu.
4. Rhee, J. (2010), "Misidentification's Promise: the Turing Test in Weizenbaum, Powers, and Short", Johns Hopkins University Press. Vol. 20, Num. 3, May 2010, 10.1353/pmc.2010.0015, muse.jhu.edu.
5. Woosuk Park, (2012), "Abduction and estimation in animals", Foundations of science, Vol.17, Is. 4, pp 321–337, Springer.

6. Woosuk Park, (2012) "On animal cognition: Before and after the beast-machine controversy", *Philosophy and Cognitive Science*, pp 53-74, Springer.
  7. Sterrett, S.G., (2012), "Bringing up Turing's 'Child-Machine', Conference on Computability in Europe", *How the World Computes* pp 703-713, Springer.
  8. Bächle, Th. Chr., "Mythos Algorithmus: die Fabrikation des computerisierbaren Menschen", Springer vs.
  9. Woosuk Park, (2017), "Abduction and Estimation in Animals", *Abduction in Context*, pp 99-117, Springer.
  10. Woosuk Park, (2017), "On Animal Cognition: Before and After the Beast-Machine Controversy", *Abduction in Context*, pp 119-139, Springer.
- 10) Sterrett, S. G., (2004) "How Many Thoughts Can Fit in the Form of a Proposition?", <http://philsci-archive.pitt.edu/1816/> :
1. Wright, C. D., "Truth and cognition", PHD Dissertation, university of California, San Diego.
- 11) Sterrett, S. G. (2005), "Kinds of Models": based on a talk presented at an STS Interdisciplinary roundtable: "The Multiple Meanings of Models", March 20, 2003, John Hope Franklin Center, Duke University <http://philsci-archive.pitt.edu/2363/>:
1. Morgan, M. S. (2012), "The World in the Model: How Economists Work and Think", Cambridge University Press.

12) Sterrett, S. G. (2005), "Pictures of Sound: Wittgenstein on Gramophone Records and the Logic of Depiction." *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol. 36, pp. 351-362. (preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/2019/>):

1. Popescu, Cr. (2011), "Knowledge in music by logical constants of melody", *Analysis and Metaphysics*, ceeol.com.
2. Rabasa, J. (2011), "Tell Me the Story of How I Conquered You: Elsewheres and Ethnocide in the Colonial Mesoamerican world", University of Texas Press.
3. Sterrett, S.G.( 2017), "Pictures, models, and measures", *Belgrade Philosophical Annual*, br. 30, str. 99-137.
4. Shields, R. (2018), "Nonsense, wherein there is Method": Wittgenstein on Music and Language, *Journal The Germanic Review: Literature, Culture, Theory*, Vol. 93, Is. 4: Sound Figures.

13) Sterrett, S. G. (2005), "Wittgenstein Flies a Kite: A Story of Models of Wings and Models of the World", Pi Press (Penguin). Flyer on book: [https://www.academia.edu/1003211/Wittgenstein\\_flies\\_a\\_kite\\_a\\_story\\_of\\_models\\_of\\_wings\\_and\\_models\\_of\\_the\\_world](https://www.academia.edu/1003211/Wittgenstein_flies_a_kite_a_story_of_models_of_wings_and_models_of_the_world).

1. White, R.M. (2006), [BOOK] "Wittgenstein's' Tractatus Logico-Philosophicus': A Reader's Guide", Continuum, books.google.com.
2. Cat, J. (2007), "Switching gestalts on Gestalt psychology: On the relation between science and philosophy", *Perspectives on science*, Vol. 15, Is. 2, p.131-177, MIT Press.

3. Palmer, A.C. (2008), [BOOK] "Dimensional analysis and intelligent experimentation", World Scientific Publishing Company, books.google.com.
4. Chapman, S. (2008), [BOOK] "Language and Empiricism-After the Vienna Circle", books.google.com, Springer.
5. Brommage, T.J. (2008), "Three Wittgensteins: Interpreting the Tractatus logico-philosophicus, Dissertation", University of South Florida, scholarcommons.usf.edu.
6. Floyd, J. (2009), "Recent themes in the history of early analytic philosophy", Journal of the History of Philosophy, Vol. 47, Num. 2, pp. 157-200, muse.jhu.edu.
7. Giere, R. (2009), "Representing with physical models", philsci-archive.pitt.edu, <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/8386>.
8. Cater, J., Lemco, I. (2009), "Wittgenstein's combustion chamber", Notes and Records of the Royal society journal of the history of science, Vol. 63, Is. 1, royalsocietypublishing.org.
9. Janik, J.A. (2009), "ANALOGIA ENTIS", Concepts of Physics, Vol. VI, No. 2, hrpub.org.
10. Van Fraassen, B.C. (2010), "Scientific representation: Paradoxes of perspective", Analysis, Vol. 70, Is. 3, PP 511–514, <https://doi.org/10.1093/analys/anq042>, academic.oup.com.
11. Polite, B.E. (2011), "A correspondence theory of musical representation", Dissertation, University of Illinois at Urbana, ideals.illinois.edu.

12. Mayo, L.A. (2011), [BOOK] "Simulation without replication: How some digital computer simulations serve as scientific experiments", University of Notre Dame, ProQuest Dissertations Publishing, 2011. 3496540., [search.proquest.com](http://search.proquest.com), [search.proquest.com](http://search.proquest.com).
13. Weisberg, M. (2012), [BOOK] "Simulation and similarity: Using models to understand the world", Oxford University Press, [books.google.com](http://books.google.com).
14. Hoover, K.D. (2012), "The role of hypothesis testing in the molding of econometric models", CHOPE Working Paper No. 2012-03; Economic Research Initiatives at Duke (ERID) Working Paper. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2001481> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.20014812012-papers.ssrn.com>.
15. Maas, H. (2012), "Questions of Scale in Economic Laboratory Experiments", *Revue de philosophie économique*, 2012/1 (Vol. 13), pages 103 à 125,  [Cairn.info](http:// Cairn.info).
16. Kallenberg, B.J. (2012), "Rethinking fideism through the lens of Wittgenstein's engineering outlook", *International Journal for Philosophy of Religion*, Vol. 71, Is. 1, pp 55–73, Springer.
17. Gakis, D. (2012), [BOOK] "Contextual metaphilosophy: the case of Wittgenstein", Amsterdam: Institute for Logic, Language and Computation, [pure.uva.nl](http://pure.uva.nl).
18. Grim, P., Rosenberger, R., Rosenfeld, A., Anderson, B., Eason, R. E. 2013, "How simulations fail, *Synthese*", Vol. 190, Is. 12, pp 2367–2390, Springer.



19. Pinch, T., Swedberg, R.(2013), "Wittgenstein's visit to Ithaca in 1949: on the importance of details", *Distinktion: Scandinavian Journal of Social Theory*, vol.14, no1, Taylor & Francis.
20. Jones, R.A. (2013), [BOOK] "The Black book: Wittgenstein and race", University Press of America, books.google.com..
21. Giere, R.N. (2013), "10 Representing with Physical Models, Models, Simulations, and Representations", Routledge, - books.google.com.
22. Sterrett, S. G. (2014), "The morals of model-making", *Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Volume 46*, Pages 31-45.
23. Tejedor Palau, M., (2015), "Tractarian Form as the Precursor to Forms of Life", *Nordic Wittgenstein Review*, uhra.herts.ac.uk, <http://hdl.handle.net/2299/18856>.
24. Sterrett, S.G. (2015), " Pictures, Models, and Measures" A contribution to Invited Symposium:" Wittgenstein's Picture Theory" at the 2015 Pacific APA Meeting, philsci-archive.pitt.edu, <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/14333>.
25. Preston, J.M. (2016), "Wittgenstein, Hertz, and Boltzmann, A Companion to Wittgenstein", Wiley Online Library.
26. Bejan, A. (2017), "Evolution in thermodynamics", *Applied Physics Reviews*, Vol. 4, Is. 1, aip.scitation.org.
27. Coeckelbergh, M. (2017), [BOOK] "Using words and things: Language and philosophy of technology", Routledge, taylorfrancis.com.

28. Oxaal, I. (2017), [BOOK] "On the Trail to Wittgenstein's Hut: The Historical Background of the Tractatus Logico-philosophicus", Routledge, taylorfrancis.com.
29. Sterrett, S.G. (2017), "Experimentation on analogue models", Springer Handbook of Model-Based Science, pp 857-878, Springer.
30. Sterrett, S.G. (2017), "Physically Similar Systems-A History of the Concept", Springer Handbook of Model-Based Science, pp 377-411, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11352/>.
31. Sterrett, S.G. (2017), "Pictures, models, and measures", Belgrade Philosophical Annual 2017, br. 30, str. 99-137, scindeks.ceon.rs.
32. McGuigan, C.M., Kallenberg, B. (2017), "Ecclesial Practices", The Oxford Handbook of the Epistemology of Theology, Oxford University Press, books.google.com.
33. Belarmino, J.J. (2017), "Exploring the nature of models in science, philosophy of science, and science education", Dissertation, University of Illinois at Urbana, ideals.illinois.edu.
34. Sterrett, S.G. (2017), "Experimentation on analogue models", In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), Springer Handbook of Model-Based Science, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11492/>.
35. Coeckelbergh, M. (2017) "Using and Performing with Words and Things, Using Words and Things: Language and Philosophy of Technology", Routledge.
36. Coeckelbergh, M., Funk, M. (2018), "Wittgenstein as a Philosopher of Technology: Tool Use, Forms of Life, Technique, and a

- Transcendental Argument", *Human Studies*, Vol. 41, Is. 2, pp 165–191, Springer.
37. Coeckelbergh, M. (2018), "Technology games: Using Wittgenstein for understanding and evaluating technology", *Science and Engineering Ethics*, Vol. 24, Is. 5, pp 1503–1519, Springer.
38. Nordmann, A. (2018), "A Feeling for the Work as a Limited Whole: Wittgenstein on the Problems of Philosophy and the Problem of Technology", *Techné: Research in Philosophy and Technology*, Vol. 22, Is. 3, Wittgenstein and Philosophy of Technology, pp 334-351, pdcnet.org.
39. Coeckelbergh, M., Funk, M., Koller, S. (2018), "Wittgenstein and Philosophy of Technology: Introduction", *Techné: Research in Philosophy*, Vol. 22, Is. 3, PP. 287-295, pdcnet.org.
- 14) Sterrett, S. G. (2006) "Models of Machines and Models of Phenomena", *International Studies in the Philosophy of Science* Vol. 20, No. 1, pp. 69-80.  
preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/2245/> :
1. Sterrett, S.G. ( 2003), "Kinds of models", based on a talk presented at an STS Interdisciplinary roundtable: "The Multiple Meanings of Models", John Hope Franklin Center, Duke University, soar.wichita.edu, <http://philsci-archive.pitt.edu/2363/>.
  2. Bod, R. (2006), "Towards a general model of applying science", *international Studies in the Philosophy of Science* Vol. 20, Is. 1, Pages 5-25, Taylor & Francis.

3. Morrison, M. (2006), "Applying science and applied science: What's the difference? ", *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 20, Is. 1, Pages 81-91, Taylor & Francis.
4. Godfrey-Smith, P. (2009), "Models and fictions in science", *Philosophical studies*, Vol. 143, Is. 1, pp 101–116, Springer.
5. Rashid, S. (2009), "Underdetermination, Multiplicity, and Mathematical Logic", *philsci-archive.pitt.edu*, <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/4905>.
6. Underdetermination, M., Rashid, S. (2009), "Underdetermination, Multiplicity, and Mathematical Logic", *philsci-archive.pitt.edu*
7. Bartha, P. (2010), [BOOK] *By parallel reasoning*, Oxford University Press, [books.google.com](http://books.google.com).
8. Rus, R. D. (2010), "Explanation and Understanding through Scientific Models, Perspectives for a New Approach to Scientific Explanation", *Dissertation, Ludwig Maximilian-Munich*, [edoc.ub.uni-muenchen.de](http://edoc.ub.uni-muenchen.de).
9. Van Fraassen, B.C. (2010), "Scientific representation: Paradoxes of perspective", *Analysis*, Vol.70, Is. 3, Pages 511–514, [academic.oup.com](http://academic.oup.com), <https://doi.org/10.1093/analys/anq042>.
10. Ankeny, R.A., Leonelli, S. (2011), "What's so special about model organisms?", *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 42, Is. 2, Pages 313-323, Elsevier.
11. Boon, M. (2011), "In defense of engineering sciences: On the epistemological relations between science and technology", *Techné: Research in Philosophy and Technology*, Vol. 15, Is. 1, Pages 49-71, [pdcnet.org](http://pdcnet.org).

12. Mayo, L.A. (2011), [BOOK] "Simulation without replication: How some digital computer simulations serve as scientific experiments", Dissertation, University of Notre Dame, Indiana, search.proquest.com.
13. Morgan, M.S. (2012), [BOOK] "The world in the model: How economists work and think", Cambridge University Press, books.google.com.
14. Bartha, P. (2013), "Analogy and analogical reasoning", Stanford Encyclopedia of Philosophy, plato.stanford.edu.
15. Osbeck, L.M. (2014), "Scientific reasoning as sense-making: Implications for qualitative inquiry", *Qualitative Psychology*, 1(1), pp 34-46., <http://dx.doi.org/10.1037/qup0000004>, psycnet.apa.org.
16. Sterrett, S.G. (2014), "The morals of model-making", *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 46, Pages 31-45, Elsevier.
17. Gelfert, A. (2016), [BOOK] "How to do science with models: A philosophical primer", Part of the Springer Briefs in Philosophy book series, Springer.
18. Nguyen, J. (2016), "How models represent", PhD thesis, The London School of Economics and Political Science (LSE), [etheses.lse.ac.uk](http://etheses.lse.ac.uk).
19. Gelfert, A. (2016), "Models as Mediators, Contributors, and Enablers of Scientific Knowledge, How to Do Science with Models", pp 101-129, Springer.

20. Imbert, C. (2016), "Computer simulations and computational models in science", Springer Handbook of Model-Based Science, 2016, researchgate.net.
21. Jan, A., Donat, L., Pawel, O. (2016), [BOOK] "Dynamics Of Mechatronics Systems: Modeling, Simulation, Control, Optimization And Experimental Investigations", World Scientific, books.google.com.
22. Frigg, R., Nguyen, J. (2017), "Models and representation", Springer handbook of model-based science, pp 49-102, Springer.
23. Frigg, R., Nguyen, J.(2017), "Scientific representation is representation-as", Philosophy of Science in Practice pp 149-179, Springer.
24. Imbert, C. (2017), "Computer simulations and computational models in science", Springer Handbook of Model-Based Science pp 735-781, Springer.
25. Garson, J. (2017), "Mechanisms, phenomena, and functions", The Routledge Handbook of Mechanisms and Mechanical Philosophy, taylorfrancis.com.
26. Yaghmaie, A. (2017), "How to Characterise Pure and Applied Science", International Studies in the Philosophy of Science, Vol. 31, Is. 2, pp 133-149, Taylor & Francis.
27. Frigg, R., Nguyen, J. (2018), "The turn of the valve: representing with material models", European Journal for Philosophy of Science, Vol. 8, Is. 2, pp 205–224, Springer.

28. Boon, M. (2018), "Scientific methodology in the engineering sciences", Routledge Handbook of Philosophy of Engineering, researchgate.net.
29. Coutelieris, F.A., Kanavouras, A. (2018), "On the Development of Engineering Assets—The MATRIX Scheme", Experimentation Methodology for Engineers pp 81-105, Springer.
30. Gavriil, G., Vafeas, P., Kanavouras, A., Coutelieris, F. A. (2019), "Validation method for the systematization of results based on a similarity concept, Mathematical methods in the applied sciences", Vol. 42, Is. 2, pp 656-666, Wiley Online Library.
31. Sánchez-Dorado, J. (2019), "Scientific Representation in Practice: Models and Creative Similarity", Doctoral thesis (Ph.D), UCL (University College London), [discovery.ucl.ac.uk](http://discovery.ucl.ac.uk).
- 15) Sterrett, S. G. (2009) "Abstracting Matter" <http://philsci-archive.pitt.edu/4836/> (in conference papers for Models and Simulation 3 (Charlottesville, Virginia, March 5 - 7, 2009)):
1. Wilson K.S., "Astrophysics in simulacrum: The epistemological role of computer simulations in dark matter studies", PHD Dissertation, The University of Melbourne, [minerva-access.unimelb.edu.au](http://minerva-access.unimelb.edu.au).
- 16) Sterrett, S. G. (2010) "Similarity and Dimensional Analysis" (Invited Handbook Article) Handbook of the Philosophy of Science, Vol. 9: Philosophy of Technology and the Engineering Sciences, edited by Anthonie Meijers (Series editors: Dov Gabbay, Paul Thagard, and John Woods). pp. 799 – 824. (preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/4474/>):

1. Boon, M. (2011), "In defense of engineering sciences: On the epistemological relations between science and technology", *Techné: Research in Philosophy and Technology*, Vol. 15, Is. 1, Pages 49-71, [pdcnet.org](http://pdcnet.org).
2. Mayo Lee Allen, "Simulation without replication: How some digital computer simulations serve as scientific experiments", University of Notre Dame, ProQuest Dissertations Publishing, 2011 - [search.proquest.com](http://search.proquest.com).
3. Kutschenko, L. K. (2012), "Relevant similarity in the light of biomedical experimentation, Large animals as biomedical models: Ethical, societal, legal and biological aspects", Citeseer.
4. Sterrett, S.G. (2014,) "The morals of model-making", *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Vol. 46, Pages 31-45, Elsevier.
5. Juan Miguel Suay, David Teira (2014), "Kites: the rise and fall of a scientific object", *Nuncius*, Vol. 29, Is. 2, - [brill.com](http://brill.com).
6. Wieringa, R. J. (2014), "Analogic Inference Design, Design Science Methodology for Information Systems Systems and Software Engineering", pp 201-211, Springer.
7. Sterrett, S.G. (2015), "Pictures, Models, and Measures" A contribution to Invited Symposium:" Wittgenstein's Picture Theory" at the Pacific APA Meeting, [philsci-archive.pitt.edu](http://philsci-archive.pitt.edu), <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/14333>.
8. Meinard Kuhlmann (2015), "A mechanistic reading of quantum laser theory, Why More Is Different", pp 251-271, Springer.



9. Richardson, R., Richiardi, M., Wolfson, M. (2015), "We Ran One Billion Agents: Scaling in Simulation Models, Laboratorio R. Revelli, Collegio Carlo Alberto, laboratoriorevelli.it.
10. Boutelie, D. (2016), "TecPIV—A MATLAB-based application for PIV-analysis of experimental tectonics", Computers & geosciences, Vol. 89, Pages 186-199, Elsevier.
11. Boutelier, D., Cruden, A., Saumur, B. (2016), "Density and visco-elasticity of Natrosol 250 HH solutions: Determining their suitability for experimental tectonics", Journal of Structural Geology, Vol. 86, Pages 153-165, Elsevier.
12. Sterrett, S.G. (2016), "Relations between units and relations between quantities", Accepted by Journal for the General Philosophy of Science, Special Issue Actually published in the anthology: The Reform of the International System of Units: Philosophical, Historical and Sociological Perspectives. Preprint available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/157867902.pdf>, <http://philsci-archive.pitt.edu>, <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/14030>, 2016 - [philsci-archive.pitt.edu](http://philsci-archive.pitt.edu).
13. Imbert, C. (2016), "Computer simulations and computational models in science", Springer Handbook of Model-Based Science, edited by Lorenzo Magnani, Tommaso Bertolotti, Francesco Amigoni and Viola Schiaffonati.
14. Imbert, C. (2017), "Computer simulations and computational models in science", Springer handbook of model-based science, pp 735-781, Springer.

15. Sterrett, S.G. (2017), "Physically Similar Systems-A History of the Concept", Springer Handbook of Model-Based Science, pp 377-411, Springer.
16. Sterrett, S.G. (2017), "Pictures, models, and measures", Belgrade Philosophical Annual, scindeks.ceon.rs.
17. Sterrett, S.G. (2017), "Physically Similar Systems -- A History of the Concept", In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), Springer Handbook of Model-Based Science, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11352/>.
18. Boon, M. (2018), "Scientific methodology in the engineering sciences", Routledge Handbook of Philosophy of Engineering, researchgate.net.
19. Sánchez-Dorado, J. (2019), "Scientific Representation in Practice: Models and Creative Similarity", Doctoral thesis (Ph.D), UCL (University College London), discovery.ucl.ac.uk.
- 17) Sterrett, S. G. (2012) "Bringing Up Turing's Child-Machine" in How the World Computes, Springer Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7318/2012, 703 - 713. (preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/9085/>):
  1. Sterrett, S. G. (2017), "Turing on the Integration of Human and Machine Intelligence", Springer.
- 18) Sterrett, S. G. (2014), "The morals of model-making", Studies in History and Philosophy of Science, Part A, Vol. 46, Pages 31-45:

1. Poznic, M. (2016), "Modeling organs with organs on chips: Scientific representation and engineering design as modeling relations", Philosophy & Technology, Springer.
  2. Gelfert, A. (2016), "Exploratory Uses of Scientific Models, How to Do Science with Models", Springer.
  3. Cova, W.J.D. (2016), "Sistemas, Modelos, Simulación y un toque de Epistemología", ria.utn.edu.ar.
  4. Boon, M. (2018), "Scientific methodology in the engineering sciences", Routledge Handbook of Philosophy of Engineering, researchgate.net.
  5. Cichy, R.M., Kaiser, D. (2019), "Deep neural networks as scientific models" Trends in cognitive sciences, Elsevier.
- 19) Loveland, D.W., Hodel, R.E., Sterrett, S.G. (2014), "Three Views of Logic: Mathematics, Philosophy, and Computer Science", Princeton University Press.
1. Rosenhouse, J. (2014), "Knights, knaves, normals, and neutrals", The College Mathematics Journal, Vol. 45, Is. 4, Taylor & Francis.
  2. Ayala-Rincón, M., "316601 Lógica Formal Computacional". Universidade de Brasília - Instituto de Ciências Exatas Mauricio Ayala-Rincon PPG Informatica e PPG Matematica, cic.unb.br.
  3. Miguel Ángel (2015), "El dilema de Jorgensen: Fundamentos semánticos de los imperativos", L Untiveros - - cybertesis.unmsm.edu.pe,  
<http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4690>.

4. Rosenhouse James, J. (2016), "Fuzzy Knights and Knaves", Mathematics Magazine, Vol. 89, 2016 - Is. 4, Taylor & Francis.
  5. Loveland, D. W. (2016), "Mark Stickel: His Earliest Work", Journal of Automated Reasoning, Vol. 56, Is, 2, pp 99–112, Springer.
  6. Ayala-Rincón, M., "316601 Lógica Formal Computacional/313998" Lógica Clássica e Extensoes, Universidade de Brasília - Instituto de Ciências Exatas Mauricio Ayala-Rincon PPG Informatica e PPG Matematica, ayala.mat.unb.br.
  7. Ormerod, R. J. (2018), "The logic and methods of OR consulting practice: towards a foundational view", Journal of the Operational Research Society, Vol. 69, Is. 92018 - orsociety.tandfonline.com.
  8. Marlowe, Th. J. (2018), "Extensions and Limitations to Logic", Philosophical Perceptions on Logic and Order, pp.55, igi-global.com.
- 20) Sterrett, S.G. (2017), "Experimentation on Analogue Models." In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), Springer Handbook of Model-Based Science, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11492>:
1. Schwartz, J. S. J. (2016),"On the methodology of space ethics", pp 93-107, The Ethics of Space Exploration, Springer.
  2. Sterrett, S.G. (2016), "Relations between units and relations between quantities", Accepted by Journal for the General Philosophy of Science, Special Issue Actually published in the anthology: The Reform of the International System of Units: Philosophical, Historical and Sociological Perspectives. Preprint available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/157867902.pdf>, [philsci-archive.pitt.edu](http://philsci-archive.pitt.edu), <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/14030>.

3. Sterrett, S.G. (2017), "Pictures, models, and measures", Belgrade Philosophical Annual, scindeks.ceon.rs.
  4. Boon, M. (2018), "Scientific methodology in the engineering sciences", Routledge Handbook of Philosophy of Engineering, researchgate.net.
  5. Ravn, M. (2018), "Roads to complexity: Hawaiians and Vikings compared", Danish Journal of Archaeology, Vol. 7, 2018 – Is. 2, Taylor & Francis
- 21) Sterrett, S. G. (2018), "Pictures, models, and measures." In Belgrade Philosophical Annual 30/2017; Special Issue: Wittgenstein In Perspective:
1. Nordmann, A. (2018),"A Feeling for the Work as a Limited Whole Wittgenstein on the Problems of Philosophy and the Problem of Technology", Pages 334-351, DOI: 10.5840/techne201812387, Vol. 22, Is. 3.
- 22) Sterrett, S. G. (2017), "Physically Similar Systems -- A History of the Concept." In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), Springer Handbook of Model-Based Science, Springer, Switzerland, Preprint: <http://philsci-archive.pitt.edu/11352/>:
1. Sterrett S.G. (2015), "Pictures, Models, and Measures" A contribution to Invited Symposium:" Wittgenstein's Picture Theory" at the 2015 Pacific APA Meeting, philsci-archive.pitt.edu, <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/14333>.
  2. Rosenhouse, J. (2014), "Knights, knaves, normals, and neutrals", The College Mathematics Journal, Vol. 45, Is. 4, Taylor & Francis

3. Ayala-Rincón , M., "316601 Lógica Formal Computacional, Universidade de Brasilia - Instituto de Ciências Exatas Mauricio Ayala-Rincon PPG Informatica e PPG Matematica, cic.unb.br.
4. Miguel Ángel, (2015), "El dilema de Jorgensen: Fundamentos semánticos de los imperativos, L Untiveros", cybertesis.unmsm.edu.pe, <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4690>.
5. Richardson, R., Richiardi, M., Wolfson, M. (2015), [BOOK] "We Ran One Billion Agents: Scaling in Simulation Models", Laboratorio R. Revelli, Collegio Carlo Alberto, aboratoriorevelli.it.
6. Rosenhouse James, J. (2016), "Fuzzy Knights and Knaves", Mathematics Magazine, Vol. 89, 2016 - Is. 4, Taylor & Francis.
7. Loveland, D. W. (2016), "Mark Stickel: His Earliest Work", Journal of Automated Reasoning, Vol. 56, Is, 2, pp 99–112, Springer.
8. Sterrett, S.G. (2016), "Relations between units and relations between quantities", Accepted by Journal for the General Philosophy of Science, Special Issue Actually published in the anthology: The Reform of the International System of Units: Philosophical, Historical and Sociological Perspectives. Preprint available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/157867902.pdf>.
9. Ayala-Rincón, M., "316601 Lógica Formal Computacional/313998 Lógica Clássica e Extensoes", Universidade de Brasília - Instituto de Ciências Exatas Mauricio Ayala-Rincon PPG Informatica e PPG Matematica, ayala.mat.unb.br.

10. Ormerod, R. J. (2018), "The logic and methods of OR consulting practice: towards a foundational view", Journal of the Operational Research Society, Vol. 69, Is. 92018 - orsociety.tandfonline.com.
  11. Marlowe, Th. J. (2018), "Extensions and Limitations to Logic", Philosophical Perceptions on Logic and Order, p.55, igi-global.com.
  12. Shour, R. (2018), "Metabolism's marvelous plot twists", [https://www.researchgate.net/publication/326925662\\_Metabolism's\\_marvelous\\_plot\\_twists\\_34\\_scaling\\_obscures\\_underlying\\_principle\\_s](https://www.researchgate.net/publication/326925662_Metabolism's_marvelous_plot_twists_34_scaling_obscures_underlying_principle_s).
- 23) Sterrett, S. G. (2017), "Theory of Dimensions", University of Pittsburgh, <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/14093>:
1. Sterrett, S. G. (2017), "Pictures, models, and measures", Belgrade Philosophical Annual 2017, br. 30, str. 99-137.
- 24) Sterrett, S. G. (2017), "Turing and the integration of human and machine intelligence." Juliet Floyd and Alisa Bokulich (Eds.) Philosophical Explorations of the Legacy of Alan Turing: Turing 100, Boston Studies in the Philosophy and History of Science Springer, Switzerland, Preprint:<http://philsci-archive.pitt.edu/10316/>:
1. Iantovics, L., Dehmer, M., Emmert-Streib, F., (2018), "MetrIntSimil—An accurate and robust metric for comparison of similarity in intelligence of any number of cooperative multiagent systems", Symmetry, 10(2), 48, <https://doi.org/10.3390/sym10020048>.

25) Sterrett, S. G. (2017), "Relations between units and relations between quantities." Accepted by Journal for the General Philosophy of Science, Special Issue Actually published in the anthology: The Reform of the International System of Units: Philosophical, Historical and Sociological Perspectives. Preprint available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/157867902.pdf>:

1. Sterrett, S. G. (2017), "Pictures, Models & Measures", adapted & abridged for exhibition "Ludwig Wittgenstein: Die Tractatus Odyssee" Ausstellung.

26) Sterrett, S. G. (2018), "Pictures, models, and measures." In Belgrade Philosophical Annual 30/2017; Special Issue: Wittgenstein In Perspective (published March 2018):

1. Nordmann, A. (2018), "A Feeling for the Work as a Limited Whole Wittgenstein on the Problems of Philosophy and the Problem of Technology", pp 334-351, DOI: 10.5840/techne201812387, Vol. 22, Is. 3.