

Signum

Ετήσια Επιστημονική Επιθεώρηση
για τις Ανθρωπιστικές, Κοινωνικές, Περιβαλλοντικές και Πολιτιστικές Επιστήμες

4-5 | **2021**
Περίοδος Β΄

Συνεργάτες του τεύχους

Αποστολίδης Κώστας
Βασιλικού Κατερίνα
Γρηγοριάδου Βιργινία
Δελφάκη Δάφνη
Θεολόγου Κώστας
Καναβούρας Αντώνης
Καρακούλας Δημήτριος
Κουμανταράκη Άννα
Κουτελιέρης Φραγκίσκος
Μανωλέσου Δανάη
Μήλεσης Διονύσης
Νικολάου Θεμιστοκλής
Παπαϊωάννου Θεόδωρος
Ρωμανός Βασίλης
Τζανίνη Ευγενία
Τσέτσος Μάρκος
Φίλιππος Γεράσιμος

Φάκελος «Η εποχή των Μαθηματικών»: Γαϊτάνη Ναυσικά, Καρώνη Χρύσα,
Κουτελιέρης Φραγκίσκος, Κωνστάντος Γιώργος, Σκάσσης Αλέξης,
Τερδήμου Μάρω, Τσουκάλα Δέσποινα
Μεταφράσεις: Γιώργος Κωνστάντος

Βιβλιοκρισίες: Θανοπούλου Ευγενία, Κωνστάντος Γιώργος, Μικράκη-Πετρουλά Εύα,
Μπαλατσού Μαρία, Μπασιμακοπούλου Μαρίνα, Μπουσουλέγκα Άρια-Αγγελική



ΕΛΛΗΝΟΕΚΔΟΤΙΚΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σημείωμα της Σύνταξης	7
-----------------------------	---

ΑΡΘΡΑ

1. Η δυνατότητα μιας γνωσιοθεωρίας της αρχιτεκτονικής, <i>Κώστας Αποστολίδης</i>	11
2. Ανορθολογισμός και αισθητικότητα. Ο Oswald Spengler και η «φαιούσσεια» φιλοσοφία της μουσικής, <i>Μάρκος Τσέτσος</i>	23
3. Η μεταναστευτική οικογενειακή συνθήκη σε διεθνικό περιβάλλον, <i>Κατερίνα Βασιλικού</i>	47
4. Πράξις και Συμβάν: Αντιφάσεις της κοινωνικοϊστορικής θέσμισης, <i>Βασίλης Ρωμανός</i>	62
5. Ο COVID-19 και οι προϋποθέσεις για τη συνταγματική αναγνώριση του ατομικού δικαιώματος πρόσβασης στην ενέργεια, <i>Ευγενία Τζαννίνη</i>	81
6. Η συμβολή των μεταμοντέρνων θεωριών και της Κριτικής Παιδαγωγικής στο σύγχρονο Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών: οι περιπτώσεις εκπαιδευτικής πολιτικής Ελλάδας και Κύπρου, <i>Δημήτριος Καρακούλας</i>	98
7. Γλώσσα, εγκέφαλος και φαντασία: Μια νευροφιλοσοφική προσέγγιση στο πρόβλημα της επιστημονικής γνώσης, <i>Διονύσης Μήλεσης, Θεμιστοκλής Νικολάου</i>	112
8. Ο HIV και η εμπλοκή των θεραπευομένων στη θεραπεία τους: διδάγματα για τη διαχείριση του COVID-19, <i>Δανάη Μανωλέσου, Θεόδωρος Παπαϊωάννου</i>	133
9. Η έννοια του επιστημονικού μοντέλου από τις φυσικές επιστήμες του 17ου αιώνα στη σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης, <i>Βιργινία Γρηγοριάδου</i>	145
10. Η έννοια της απαλλοτρίωσης στις ταξικές σχέσεις κατά τον Max Weber, <i>Άννα Κουμανταράκη</i>	163
11. Μετανάστες και παραγωγή αστικού χώρου. Φυλετικές και ταξικές συγκρούσεις και μορφές συνεργασίας και αλληλεγγύης στην Αθήνα της κρίσης, <i>Δάφνη Δελφάκη</i>	179

12. Για τη διαμόρφωση του ηθικού - νομικού καθεστώτος περί τα δικαιώματα των ζώων στην Ελλάδα, Γεράσιμος Φίλιππας	193
13. Περιγραφή της εσωτερικής ομοιότητας των φυσικών φαινομένων, Αντώνης Καναβούρας, Κώστας Θεολόγου, Φραγκίσκος Κουτελιέρης	210

ΦΑΚΕΛΟΣ

«Η εποχή των Μαθηματικών», Ναυσικά Γαϊτάνη, Χρύσα Καρώνη, Φραγκίσκος Κουτελιέρης, Γιώργος Κωνστάντος, Αλέξης Σκάσσης, Μάρω Τερδήμου, Δέσποινα Τσουκάλα	223
---	-----

ΜΕΤΑΦΡΑΣΕΙΣ

The Ethics Center, 2016, «Η Φυσιοκρατική Πλάνη», μτφ. Γιώργος Κωνστάντος	242
--	-----

ΒΙΒΛΙΟΚΡΙΣΙΕΣ

Immanuel Kant, 2020, <i>Ανθρωπολογία από πραγματολογική άποψη</i> , μτφ. Χ. Τασάκος, Αθήνα, Παπαζήση, Μαρίνα Μπασιμακοπούλου	245
Jean Francois Lyotard, 2020, <i>Γιατί φιλοσοφούμε;</i> μτφ. Μ. Πατεράκη-Γαφέρη, Αθήνα, Πλέθρον, Ευγενία Θανοπούλου	258
Alain Badiou με τον Gilles Haëri, 2016, <i>Εγκώμιο για τα μαθηματικά</i> , μτφ. Φ. Σιατίτσας, Αθήνα, Πατάκη, Εύα Μικράκη-Πετρούλα	264
Stewart Shapiro, 2005, <i>Σκέψεις για τα Μαθηματικά</i> , Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Γιώργος Κωνστάντος	267
Χρήστος Τσιρώνης, 2013, <i>Ο καταναλωτισμός στη σύγχρονη κοινωνική θεωρία: Τομές στο έργο του Z. Bauman</i> , Θεσσαλονίκη, Μπαρμπουνάκη, Άρια-Αγγελική Μπουσουλέγκα	271
Ann Farrell, 2020, <i>Ηθική Δεοντολογία της Έρευνας</i> , μτφ. Ιωάννα Φυριππή, Αθήνα, Πεδίο, Μαρία Μπαλατσού	278

Η έννοια του επιστημονικού μοντέλου από τις φυσικές επιστήμες του 17ου αιώνα στη σύγχρονη φιλοσοφία της επιστήμης

Βιργινία Γρηγοριάδου

Περίληψη

Παρά την εκτεταμένη χρήση του επιστημονικού μοντέλου στο πεδίο των φυσικών επιστημών μετά τον 17ο αιώνα, οι πρώτες σημαντικές προσεγγίσεις της έννοιας στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης εντοπίζονται στις αρχές του 20ού 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. Ποιος είναι, όμως, ο ρόλος των φυσικών επιστημών και της φιλοσοφίας της επιστήμης στην προσπάθεια κατανόησης της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου; Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζεται η υπόθεση κατά την οποία: οι φυσικές επιστήμες συνδυαστικά με τη φιλοσοφία της επιστήμης συμβάλλουν στην επαρκέστερη κατανόηση της έννοιας και στην αποδοτικότερη εφαρμογή της τεχνικής του μοντέλου στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία. Προκειμένου να διερευνηθεί η υπόθεση αυτή, στην πρώτη ενότητα παρουσιάζεται μια συνοπτική ιστορική ανασκόπηση της έννοιας και της αξιοποίησης του μοντέλου από τις φυσικές επιστήμες του 17ου-19ου αιώνα μέχρι τις θεωρίες της φιλοσοφίας της επιστήμης από τον 20ό μέχρι τον 21ο αιώνα, εστιάζοντας στις προσεγγίσεις του Νεύτωνα, του Pascal, του Froud, του Campbell, της Hesse, της Morrison και της Sterrett. Στη δεύτερη ενότητα εξετάζεται η περίπτωση

του μοντέλου του Darcy για τη ροή των ρευστών σε πορώδη υλικά και η σημασία της εκτενούς μελέτης της αξιοποίησης των μοντέλων στις φυσικές επιστήμες από τη Sterrett, μέσω της οποίας η φιλόσοφος της επιστήμης κατάφερε να κατανοήσει την έννοια και τη σημασία του μοντέλου στη σύγχρονη επιστήμη και να προσδιορίσει με σαφήνεια τα στάδια κατασκευής και λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας.

1. Εισαγωγή

Τα επιστημονικά μοντέλα αποτελούν μία ιδιαίτερα διαδεδομένη πειραματική τεχνική από τον 18ο αιώνα μέχρι σήμερα και αξιοποιούνται ευρέως σε πολλά επιστημονικά πεδία, προκειμένου να συμβάλλουν στην εξαγωγή συμπερασμάτων, στην εξήγηση σχέσεων και την πρόβλεψη σχετικά με τα εκάστοτε προς εξέταση φαινόμενα (Rogers, 2012· Frigg & Hartmann, 2020). Η έννοια του επιστημονικού μοντέλου αποδίδεται συχνά είτε ως η αναπαράσταση ενός φυσικού αντικειμένου, φαινομένου ή συστήματος, είτε ως η ερμηνεία θεωριών, που αποδίδει νόημα στα αξιώματα, τα θεωρήματα, τους κανόνες ή τις προτάσεις της θεωρίας (Rogers, 2012· Frigg & Hartmann, 2020). Τα επιστημονικά μοντέλα αποτελούν μέσο 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. Βασικός μηχανισμός λειτουργίας των μοντέλων είναι η ομοιότητα, ένας μηχανισμός ικανός να περιορίσει το κόστος της έρευνας, τις επιστημονικές προσπάθειες και τις ανάγκες ανθρώπινου δυναμικού.

Οι ρίζες της σύγχρονης έννοιας του επιστημονικού μοντέλου προέρχονται από το πεδίο της φυσικής και εντοπίζονται στην προσέγγιση της έννοιας των όμοιων συστημάτων του Νεύτωνα. Ο Νεύτωνας όρισε τα όμοια συστήματα βασιζόμενος στη γεωμετρία, τη δυναμική της κίνησης και την ταυτοποίηση της τροχιάς. Επιπλέον, ο Νεύτωνας υπήρξε ο πρώτος που αναφέρθηκε στη σημασία των επιστημονικών μοντέλων κλίμακας κατά τη διαδικασία συναγωγής επιστημονικών συμπερασμάτων αλλά και στην οικονομία πόρων που εξασφαλίζουν. Από τον 18ο αιώνα και μετά, η χρήση των μοντέλων επεκτάθηκε σημαντικά σε πολλούς επιμέρους 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 19ου 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 & Hartmann, 2020). Ωστόσο, η έννοια του μοντέλου δεν είχε ακόμη προσεγγιστεί από τους φιλοσόφους της επιστήμης, παρόλο που αποτελούσε ένα αναπόσπαστο κομμάτι της πειραματικής μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών, της μηχανικής και πολλών ακόμη πεδίων. Στις αρχές του 20ού αιώνα εντοπίζονται οι πρώτες προσπάθειες προσέγγισης της έννοιας του μοντέλου από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης από τον Norman Cambell (1920), τον Alfred Tarski (1936) ενώ μετά τα μέσα του 20ού 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 & Machover, 1977: κεφ 5· Hodges, 1997: κεφ 1, 2, 3· Hesse, 1967, σ. 354-359). Οι θεωρίες αυτές κυριαρχούν στη φιλοσοφία της επιστήμης μέχρι τα τέλη του 20ού αιώνα, 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.

Από τον 17ο έως τον 21ο αιώνα, διακρίνουμε δύο στάδια στην εξέλιξη της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου ως τεχνικής της επιστημονικής μεθοδολογίας: το στάδιο αξιοποίησης των μοντέλων από τις φυσικές επιστήμες ως μέσου ικανού να οδηγήσει στη γνώση του κόσμου, που τοποθετείται από τον 17ο έως τα τέλη του 19ου αιώνα, και το στάδιο αναζήτησης της γνώσης για τα ίδια τα μοντέλα στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, από τις αρχές του 20ού αιώνα μέχρι σήμερα. Στο παρόν άρθρο, υποστηρίζεται η υπόθεση κατά την οποία η σφαιρική και επαρκής κατανόηση της έννοιας, του ρόλου και της λειτουργίας του επιστημονικού μοντέλου στη σύγχρονη επιστήμη μπορεί να προκύψει από τη συνεξέταση της έννοιας και της αξιοποίησης του μοντέλου στα πεδία των φυσικών επιστημών και της φιλοσοφίας της επιστήμης. Οι δύο αυτοί τομείς λειτουργούν συμπληρωματικά στην κατανόηση της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου στη σύγχρονη επιστήμη. Η φιλοσοφία παρέχει το θεωρητικό υπόβαθρο, τη γνώση για το ίδιο το μοντέλο, για τη φύση, τον ρόλο, τη λειτουργία του,

το πώς μαθαίνουμε από αυτό, ενώ οι φυσικές επιστήμες διαμορφώνουν το πεδίο εφαρμογής του εργαλείου, του προσδίδουν επιστημονική αξία και παρέχουν πλήθος παραδειγμάτων χρήσης μοντέλων, γεγονός που βοηθά καθοριστικά στην κατανόηση της λειτουργίας και της σημασίας του μοντέλου κατά την προσπάθεια της κατάκτησης της γνώσης του φυσικού κόσμου.

2. Η ιστορική εξέλιξη της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου μετά τον 17ο αιώνα

Ο 17ος αιώνας θεωρείται από πολλούς ερευνητές ως η τομή μεταξύ της παλαιάς και της σύγχρονης επιστήμης. Η επιστημονική επανάσταση και οι ιδέες του Διαφωτισμού οδήγησαν σταδιακά στη διαμόρφωση μίας διαφορετικής αντίληψης για τον κόσμο και στον επαναπροσδιορισμό της επιστημονικής μεθοδολογίας. Η νέα επιστήμη αποσκοπεί στο να εξασφαλίζει απαντήσεις σε ερωτήματα καθολικής ισχύος του τύπου: γιατί συμβαίνει κάτι κι όχι κάτι άλλο ή τίποτα. Στο γενικότερο αυτό πλαίσιο, οι επιστήμονες μετά τον 17ο αιώνα στρέφονται στον ίδιο τον κόσμο και τον ερευνούν μέσω του συστηματικού πειραματισμού, της λογικής σκέψης και της αξιοποίησης των μαθηματικών που συμβάλλουν στη διατύπωση νόμων ενώ, παράλληλα, αυτή την περίοδο οι φυσικές επιστήμες γνωρίζουν ιδιαίτερη άνθηση (Hankins, 1998, σ. 12). Η στροφή των επιστημόνων σε πράγματα που επιδέχονται μέτρησης καθιστά τα μαθηματικά αναπόσπαστο συστατικό της νέας επιστημονικής μεθοδολογίας (Butterfield, 2010, σ. 90-93). Η φυσική διαμορφώνεται ως μια ποσοτική πειραματική επιστήμη που αποσκοπεί στην ανακάλυψη των νόμων οι οποίοι προσδιορίζουν τη λειτουργία του κόσμου (Hankins, 1998, σ. 67-73· Outram, 1999, σ. 53). Ο συστηματικός πειραματισμός γίνεται μέρος της λογικής προσέγγισης της φύσης, γεγονός που συμβάλλει στην κατασκευή πειραματικών οργάνων μέτρησης, στην ανάπτυξη τεχνικών, στην αξιοποίηση μηχανισμών και επιστημονικών μοντέλων ικανών να προάγουν την εξήγηση και πρόβλεψη των φαινομένων (Butterfield, 2010, σ. 95· Hankins, 1998, σ. 67-73). Η τεχνική του επιστημονικού μοντέλου φαίνεται ότι αναγνωρίζεται μετά την επιστημονική επανάσταση, ενώ η συστηματική αξιοποίησή της επεκτείνεται σημαντικά μετά τον 19ο αιώνα, κυρίως στα πεδία της μηχανικής και των φυσικών επιστημών.

Παρόλο που αρκετά παραδείγματα αξιοποίησης επιστημονικών μοντέλων εντοπίζονται πριν από τον 17ο αιώνα, πρώτος επιστήμονας που φαίνεται ότι αντιλήφθηκε την έννοια του μοντέλου ήταν ο Ισαάκ Νεύτωνας, ο οποίος περί τα τέλη του 17ου αιώνα ασχολήθηκε με τις έννοιες της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων. Συγκεκριμένα, ο Νεύτωνας τον 17ο αιώνα 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 καθένα 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, 2017b, σ. 382).

Παρατηρούμε ότι 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 και παρουσίασε την ιδέα των όμοιων συστημάτων ως μια γενική μέθοδο (Sterrett, 2017b, σ. 382). 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. Ο ντετερμινισμός των φυσικών φαινομένων υπήρξε καθοριστικός παράγοντας που συνέβαλε στην άμεση και εκτενέστερη αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων στο πεδίο των φυσικών επιστημών εν συγκρίσει με άλλα επιστημονικά πεδία. 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 δοκιμάσει ποιο είναι το καλύτερο για πλοήγηση» (Schaffer, 2006, σ. 90).

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 αξιοποίηση 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 μία σειρά θεωριών από ερευνητές προερχόμενους κυρίως από τα πεδία των φυσικών επιστημών και της μηχανικής. Η ιδέα αυτή του Νεύτωνα υλοποιήθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα με τα πειράματα μοντέλων πλοίων που διεξήγαγε ο Άγγλος μηχανικός William Froude (Froude, 1874, σ. 36-59· Sterrett, 2017b, σ. 389-393). Ο William 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. 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, 2017b, σ. 389-393). Συγκεκριμένα, ο Froude προχωρούσε σε πειράματα με μοντέλα πλοίων πολύ μικρότερου μεγέθους και χρησιμοποιούσε τα συμπεράσματα των πειραμάτων του, προβαίνοντας στους κατάλληλους υπολογισμούς, για πλοία πλήρους μεγέθους. 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, 2017a, σ. 857-858).

Μία σημαντική κατηγορία μοντέλων που αναπτύχθηκε τον 17ο αιώνα είναι τα μαθηματικά μοντέλα. Η ανάγκη εξοικονόμησης χρόνου, πνευματικής προσπάθειας και περιορισμού του ανθρώπινου σφάλματος οδήγησε στον σχεδιασμό και την κατασκευή μίας ποικιλίας εργαλείων υπολογισμού (Randell, 1982, σ. 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. Το 1671 ο Gottfried Wilhelm Leibniz επινόησε μία 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, σ. 1-6). Ακολούθησε η επινόηση των αλγόριθμων από τον Σκωτσέζο μαθηματικό 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, σ. 1-6).

Μέχρι τα τέλη του 19ου 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. 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 20ού αιώνα.

Από αυτό το σημείο και έπειτα, τα επιστημονικά μοντέλα αποτελούν πλέον ένα καθιερωμένο επιστημονικό εργαλείο και αναπόσπαστο κομμάτι της πειραματικής μεθόδου των φυσικών επιστημών, οπότε παρατηρούνται σημαντικές προσπάθειες κατανόησης, ορισμού και κατηγοριοποίησης των διαφορετικών ειδών επιστημονικών μοντέλων. Η αποδοχή των επιστημονικών θεωριών ως μόνων επίσημων μέσων ανακάλυψης της γνώσης για τον κόσμο από τους φιλοσόφους της επιστήμης αρχίζει σταδιακά να υποχωρεί. Σημαντικά ζητήματα που απασχολούν τους φιλοσόφους της επιστήμης την περίοδο αυτή σχετίζονται με τη δομή των επιστημονικών θεωριών, την ερμηνεία των επιστημονικών δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα στο προσκήνιο έρχονται ζητήματα σχετικά με τις πρακτικές επιστημονικές τεχνικές που αποτελούν πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της επιστημονικής μεθοδολογίας (Hesse, 1967, σ. 354-359). Η εννοιολόγηση, η αξιοποίηση 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. Από το 1920 έως το 2020 διατυπώθηκαν σημαντικές θεωρητικές προσεγγίσεις της έννοιας του μοντέλου από φιλοσόφους της επιστήμης, η πλειονότητα των οποίων μέχρι τουλάχιστον τα μέσα του 20ού αιώνα συνδέει τα μοντέλα με την έννοια των θεωρητικών δομών. Από τα μέσα έως τα τέλη του 20ού αιώνα, οι φιλόσοφοι της επιστήμης αντιλαμβάνονταν τα μοντέλα ως ενδιάμεσα στάδια μεταξύ θεωρίας και πραγματικού κόσμου και δεν αποδέχονταν ορισμένες κατηγορίες μοντέλων ως «επίσημα» επιστημονικά εργαλεία, όπως για παράδειγμα φυσικά αντικείμενα που λειτουργούν ως τα μοντέλα κλίμακας. Από τις αρχές του 21ου αιώνα η άποψη αυτή σταδιακά εγκαταλείπεται και οι σύγχρονοι πλέον φιλόσοφοι της επιστήμης αντιμετωπίζουν και αυτή την κατηγορία μοντέλων ως «επίσημη» επιστημονική τεχνική, η οποία θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω.

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, σ. 354-356). Ο Campbell, χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα την ηλεκτρομαγνητική θεωρία του Maxwell, υποστήριξε ότι μία επεξηγηματική θεωρία στη φυσική αποτελείται από ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων. 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.ά. (Hesse, 1967, σ. 354-356). 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 ανακάλυψης (Hesse, 1967, σ. 354-356).

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 όρισε τα μοντέλα ως μη γλωσσικές οντότητες, ή του Giere, ο οποίος αναφέρεται σε μία κατηγορία μοντέλων που αποτελούν αφηρημένες οντότητες (cognitive models)

(Giere, 1986, σ. 319-323· Hesse, 1967, σ. 354-356). Ο ίδιος αναφέρεται στη σημασία εξέτασης της σχέσης που έχουν τα επιστημονικά μοντέλα με τον πραγματικό κόσμο, δηλαδή της σχέσης ομοιότητας (Giere, 1986, σ. 319-325). Άλλη ενδιαφέρουσα προσέγγιση της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου προέρχεται από τους Bell, Machover και από τον Hodges, οι οποίοι περί τα τέλη του 20ού αιώνα όρισαν το επιστημονικό μοντέλο ως μία θεωρητική κατασκευή η οποία επικυρώνει όλες τις προτάσεις μίας θεωρίας. Η θεωρία γίνεται αντιληπτή ως ένα σύνολο προτάσεων διατυπωμένων σε επίσημη γλώσσα (Bell & Machover, 1977: κεφ. 5· Hodges, 1997: κεφ. 1, 2, 3).

Σημαντική διερεύνηση των εννοιών του επιστημονικού μοντέλου και της ομοιότητας στη μεθοδολογία της κλασικής 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). Οι μαθηματικές αυτές εκφράσεις δεν αναφέρονται αποκλειστικά σε συγκεκριμένα αντικείμενα ή ιδιότητες. Για παράδειγμα, μία 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, σ. 354-359). Η Hesse ορίζει το επιστημονικό μοντέλο ως μία αναλογία. Η αναλογία στη θεωρία της νοείται ως η σχέση ομοιότητας ανάμεσα σε ένα μοντέλο και στον κόσμο, ανάμεσα σε ένα μοντέλο και μία 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, σ. 354-359). Μια θετική αναλογία αναφέρεται στα χαρακτηριστικά που είναι πανομοιότυπα ή σε σημαντικό βαθμό όμοια, μία 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, σ. 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.

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 & Morgan, 1999, σ. 10-13). Τοποθετεί το μοντέλο στο σημείο όπου η θεωρία συναντά τα δεδομένα και υποστηρίζει ότι το μοντέλο μεσολαβεί μεταξύ της θεωρίας και των δεδομένων, μεταξύ της επιστήμης και του κόσμου (Morrison, 1996, σ. 6). Η πιο σημαντική συμβολή της στην εξέλιξη της έννοιας του μοντέλου στη φιλοσοφία της επιστήμης εντοπίζεται στο ότι απορρίπτει τον παθητικό ρόλο που απέδιδαν στο μοντέλο οι προηγούμενοι φιλόσοφοι της επιστήμης. Η Morrison δεν αποδέχεται ότι το επιστημονικό μοντέλο αποτελεί ένα μέσο που απλώς επικυρώνει μια θεωρία, αλλά υποστηρίζει ότι αποτελεί ένα ενεργό και αυτόνομο εργαλείο, ανεξάρτητο ως έναν βαθμό από τη θεωρία και από τον κόσμο (Morrison, 1996, σ. 6 Morrison & Morgan, 1999, σ. 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 & Morgan, 1999, σ. 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 & Morgan, 1999, σ. 29). Αυτό διαχωρίζει, κατά τη Morrison, τα μοντέλα από τη θεωρία, η οποία παρέχει γενικές αρχές που εξηγούν διαδικασίες με την υπαγωγή του συγκεκριμένου στο γενικό. 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, 1996, σ. 6· Morrison & Morgan, 1999, σ. 35, 39).

Στις αρχές του 21ου αιώνα, επικρατεί η άποψη που είχε εκφράσει εν μέρει και η Morrison, κατά την οποία τα επιστημονικά μοντέλα γίνονταν αντιληπτά ως θεωρητικά εργαλεία που τοποθετούνται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ θεωριών, αρχών, νόμων και του πραγματικού κόσμου (Sterrett 2005, σ. 1-14· 2002, σ. 51-53). Αποτελούν εργαλεία 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, σ. 1-14· 2002, σ. 51-53). Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή αποδεικνύεται αρκετά αποσπασματική, καθώς τα επιστημονικά μοντέλα εκτελούν δύο διαφορετικές αναπαραστατικές λειτουργίες. Συγκεκριμένα, μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως αναπαραστάσεις ενός επιλεγμένου μέρους του κόσμου ή μπορούν να αντιπροσωπεύουν θεωρίες (Frigg & Hartmann, 2020). Αυτές οι δύο έννοιες δεν αλληλοαποκλείονται, καθώς τα επιστημονικά μοντέλα μπορούν να είναι αναπαραστάσεις και με τις δύο έννοιες ταυτόχρονα (Frigg & 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 φιλόσοφο της επιστήμης Susan G. Sterrett, διακρίνουν μία κατηγορία μοντέλων-φυσικών διατάξεων ή οντοτήτων που χρησιμοποιούνται ως επιστημονικές αναπαραστάσεις άλλων φυσικών οντοτήτων (Frigg & Hartmann, 2020· Sterrett, 2006, σ. 69-76· Sterrett, 2017a, σ. 857-861). Σύμφωνα με τη Sterrett, οι φιλόσοφοι της επιστήμης δεν αγνοούσαν αυτή την κατηγορία μοντέλων, απλώς δεν την αποδέχονταν ως επίσημη επιστημονική μέθοδο. Εάν αποδεχτούμε αυτή την άποψη, αντιλαμβανόμαστε τον λόγο για τον οποίον μέχρι τα μέσα τουλάχιστον του 20ού αιώνα η πλειονότητα των φιλοσόφων της επιστήμης δεν είχε διερευνήσει επαρκώς την τεχνική του επιστημονικού μοντέλου. Η διερεύνηση της έννοιας του μοντέλου κορυφώνεται στις αρχές του 21ου αιώνα με τη θεώρηση της Sterrett που φαίνεται ότι έχει κατανοήσει την έννοια της ομοιότητας, η οποία συνδέεται με την έννοια του επιστημονικού μοντέλου και αξιοποιείται συστηματικά από ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων.

Σημαντική συμβολή της Sterrett στην προσπάθεια κατανόησης της έννοιας του μοντέλου είναι η διάκριση των επιστημονικών μοντέλων στις κατηγορίες «realm of thought» και «using one piece of the world to tell about another». Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται μοντέλα αφηρημένα, μαθηματικές δομές, αλγόριθμοι ή περιγραφές μηχανισμών. Τα εργαλεία αυτά θεωρούνται μοντέλα λόγω της σχέσης τους με κάποιες εξισώσεις ή επιστημονικές προτάσεις (Sterrett, 2005, σ. 1-14). Τα μοντέλα που εντάσσονται στη δεύτερη κατηγορία αποτελούν τμήματα του πραγματικού κόσμου και είναι ευρύτερα γνωστά ως μοντέλα αναλογίας. Τα μοντέλα αναλογίας είναι φυσικές διατάξεις που λειτουργούν ως μοντέλα άλλων φυσικών διατάξεων, τις οποίες οι ερευνητές δεν μπορούν να παρατηρήσουν λόγω του μεγέθους τους, της απόστασης χώρου ή χρόνου που τους χωρίζει από αυτά. Ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας αυτών των μοντέλων είναι η ομοιότητα που επικυρώνεται μέσω σχέσεων αναλογίας ποσοτήτων ή σχέσεων ποσοτήτων μεταξύ των δύο φαινομένων ή αντικειμένων που συνήθως περιγράφονται με μαθηματικές σχέσεις (Sterrett, 2005, σ. 1, 6-14· Sterrett, 2017a, σ. 857-861). Η ομοιότητα ορίζεται με κριτήρια τα οποία καθορίζονται βάσει του εκάστοτε φαινομένου και του εκάστοτε προς επίλυση προβλήματος που εκφράζεται μέσω της προς έλεγχο ερευνητικής υπόθεσης (Sterrett, 2005, σ. 1, 6-14). Επομένως, η ομοιότητα μεταξύ μοντέλου και αντικειμένου του ενδιαφέροντος συνήθως δεν είναι απόλυτη, καθώς ορίζεται σε σχέση με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Παράδειγμα μοντέλων αναλογίας είναι τα Scale Models που αξιοποιούνται εκτενώς στη μηχανική και τη φυσική. Τα Scale Models είναι φυσικά αντικείμενα ή συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για να θέσουν υπό έλεγχο ή να προβλέψουν τη συμπεριφορά ενός συστήματος διαφορετικών διαστάσεων (Sterrett, 2017a, σ. 857-861).

3. Η αντίληψη της έννοιας του μοντέλου μέσα από δύο οπτικές: φυσικές επιστήμες - φιλοσοφία της επιστήμης

3.1 Το μοντέλο του Darcy

Μελετώντας την ιστορική εξέλιξη της έννοιας και της αξιοποίησης της τεχνικής του επιστημονικού μοντέλου από τον 17ο έως τις αρχές του 21ου 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, να ορίσουν την έννοια και να ταξινομήσουν τα μοντέλα σε συγκεκριμένες κατηγορίες. Θεωρώντας ότι ο στόχος αναφορικά με την έννοια του μοντέλου είναι μια σφαιρική κατανόησή της και η αποτελεσματικότερη δυνατή εφαρμογή του μοντέλου στη σύγχρονη επιστήμη, υποστηρίζουμε ότι η μελέτη των προσπαθειών θεωρητικής τεκμηρίωσης της έννοιας του μοντέλου αποτελεί σημαντικό βήμα της αξιοποίησης του εργαλείου αυτού από τον φυσικό επιστήμονα.

Μέσω δύο παραδειγμάτων, θα προσπαθήσουμε να αποδείξουμε 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 επίσημες πειραματικές τεχνικές, έτσι και η αντίληψη της έννοιας του μοντέλου από τις 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 ροών μέσω πορωδών υλικών.

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 Stokes και Navier, 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. 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 της υπόγειας υδραυλικής το 1854. Ο νόμος προέκυψε ως μια καθολική εφαρμογή που αποσκοπεί στον υπολογισμό της

ροής του νερού μέσω φίλτρων άμμου (Καλλέργης, 1989, σ. 9-14· Γκούντας, 2015, σ. 6-8· Θεοχάρης, 2015, σ. 3-6).

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, τη σημασία και τη δύναμή του στην πειραματική μεθοδολογία, σχεδίασε και κατασκεύασε το μοντέλο εκείνο που θα του έδινε μία 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. 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.

3.2 Τα στάδια λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας από τη Susan G. Sterrett

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

Η Sterrett προσέγγισε την έννοια του επιστημονικού μοντέλου ιστορικά, φιλοσοφικά, αλλά ταυτόχρονα αξιοποιώντας τις γνώσεις που προέρχονται από τα πεδία 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 21ου αιώνα να ενισχύσει τη γνώση περί τα μοντέλα, όχι μόνο μέσω της πρότασης κατηγοριοποίησής τους σε δύο ευρείες κατηγορίες, αλλά προχωρώντας και στη διάκριση των σταδίων λειτουργίας των μοντέλων κλίμακας.

Σύμφωνα με την προσέγγισή της, 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, 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, σ. 7-8· Sterrett, 2002, σ. 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 σαφέστερο ορισμό, την επαρκέστερη κατηγοριοποίηση και τη θεωρητική τεκμηρίωση αυτού του εργαλείου.

Συμπεράσματα

Μέσα από την εξέλιξη της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου αναδεικνύεται ο καθοριστικός ρόλος της φιλοσοφίας της επιστήμης και των φυσικών επιστημών στην κατανόηση και εφαρμογή του σημαντικού αυτού εργαλείου στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία. Η μελέτη της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου υπό το πρίσμα των δύο αυτών διαφορετικών οπτικών δίνει τη δυνατότητα στον σύγχρονο επιστήμονα να κατανοήσει όχι μόνο την έννοια του μοντέλου, αλλά και τη σημασία και τον ρόλο του στη σύγχρονη επιστημονική μεθοδολογία, έτσι ώστε να είναι σε θέση να το χρησιμοποιήσει αποτελεσματικά.

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. Οι δύο αυτοί τομείς μελετούν το μοντέλο από διαφορετική οπτική και από κοινού συμβάλλουν στη διαμόρφωση μιας σφαιρικής αντίληψης της έννοιας του μοντέλου.

Οι θεωρίες που προέρχονται από τη φιλοσοφία της επιστήμης ορίζουν, κατηγοριοποιούν, τεκμηριώνουν θεωρητικά το επιστημονικό μοντέλο, ενώ οι φυσικές επιστήμες διαμορφώνουν το πεδίο εφαρμογής του εργαλείου αυτού και του προσδίδουν επιστημονική αξία μέσω του τρόπου κατασκευής και πειραματικής χρήσης του. Επομένως, όπως η πλειονότητα των φιλοσόφων της επιστήμης ξεκινά και στηρίζει την έρευνά της αναφορικά με μοντέλα σε παραδείγματα εφαρμογής τους από το πεδίο των φυσικών επιστημών, έτσι και οι φυσικοί επιστήμονες είναι σημαντικό να μελετούν θεμελιώδεις θεωρίες που προέρχονται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης, προκειμένου να είναι σε θέση να κατασκευάζουν και να αξιολογούν αποτελεσματικά τα επιστημονικά μοντέλα στη μεθοδολογία τους.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Butterfield, H. (2010). *Η καταγωγή της σύγχρονης επιστήμης (1300-1800)*. Μτφ. Ιορδάνης Αρζόγλου και Αντώνης Χριστοδουλίδης. Αθήνα: MIET.
- Bell, J. and Machover, M. (1977). *A Course in Mathematical Logic*. Amsterdam: North-Holland, chapter 5.
- Γκούντας, Ι. (2015). *Εφαρμοσμένη Υδραυλική. Εργαστήρια*. Κοζάνη: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας, σ. 6-9.
- Frigg, R. and Hartmann St. (2020). "Models in Science". In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2020 Edition). Edited by Edward N. Zalta. Accessed September 10, 2020, <https://plato.stanford.edu/archives/spr2020/entries/models-science/>
- 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.
- Giere, R. (1986). *Cognitive Models in the Philosophy of Science*. Minnesota: The University of Minnesota, Vol. 2, p. 319-328.
- Hankins, Th. L. (1998). *Επιστήμη και Διαφωτισμός*. Μτφ. Γιώργος Γκουνταρούλης. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.
- Hesse, M. (1967). "Models and Analogy in Science". In Edwards, P. (ed.), *Encyclopedia of Philosophy*, New York: Macmillan, p. 354-359.
- Hodges, W. (1997). *A Shorter Model Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Θεοχάρης, Μ. (2015). *Στραγγίσεις: Ενότητα 7: Μετρήσεις της υδραυλικής αγωγιμότητας στον αγρό*. Άρτα: Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου, σ. 3-9.

- Καλλέργης, Γ. (1989). *Στοιχεία υδραυλικής των υπόγειων νερών - Υδροφορία των γεωλογικών σχηματισμών και μέθοδοι διαπίστωσης της*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, σ. 9-14.
- Morgan, M. S. and Morrison, M. (eds) (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.
- Outram, D. (1999). *The Enlightenment*. New York: Cambridge University Press.
- Randell, Br. (ed.) (1982). "The Origins of Digital Computers: Selected Papers". *Springer Monographs in Computer Science*. New York: Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, p. 1-6.
- Rogers K. (2012). "Scientific modeling". In *Encyclopædia Britannica* May 21, 2012. Accessed October 10, 2020 <https://www.britannica.com/science/scientific-modeling>.
- 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.
- Sterrett, S. G. (2002). "Physical Models and Fundamental Laws: Using One Piece of the World to Tell About Another". *Mind and Society* 3, Vol. 3, p. 51-66.
- Sterrett, S. G. (2005). "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, Durham NC.
- 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. (2017a). "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. (2017b), "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.

Abstract

Scientific models are fundamental experimental tools of modern scientific methodology. The concept of scientific model has been extensively studied and widely used in various fields of natural sciences after 17th century. The roots of the notion of scientific models are detected in the field of physics in Newton's definition of similar systems based simultaneously on geometry, fluid dynamics and principal laws of physics. Although scientific models have been widely utilized in natural sciences, especially since 18th century, the concept of scientific models was neglected in the epistemological issues of philosophy of science until the early 20th century. At that time, initial innovative philosophical approaches appeared and the transition from models' utilization as tools revealing the knowledge of the world to the research of models themselves was completed. In this context, the research hypothesis we examine here is 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 the modern scientific methodology. In order to address such a hypothesis, firstly, we examine from historical point of view the evolution of the notion and application of scientific models after the 17th century, focusing on theories or models' utilization by Newton, Pascal, Froude and on philosophical approaches of Campbell, Hesse, Morrison and Sterrett. Moreover, we consider two case studies which can verify our research hypothesis: Darcy's model for the flow of fluids in porous materials and Sterrett's determination of the specific stages of construction and application of scale models. Through this article, it is supported that 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.

Η Βιργινία Γρηγοριάδου είναι υποψήφια Διδάκτωρ του τομέα Ανθρωπιστικών, Κοινωνικών Επιστημών και Δικαίου της Σχολής ΕΜΦΕ του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Σπούδασε Φιλολογία στη Φιλοσοφική Σχολή του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και είναι κάτοχος μεταπτυχιακού διπλώματος με τίτλο *Διοίκηση Πολιτισμικών Μονάδων* της Σχολής Κοινωνικών Επιστημών του ΕΑΠ. Το ερευνητικό της ενδιαφέρον στρέφεται, κυρίως, στα πεδία της Ιστορίας και Φιλοσοφίας της επιστήμης.