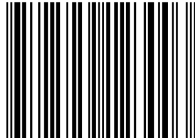




ISSN 2529-1238



ΞΕΝΟΦΩΝ / XENOPHON * τ. 3 / v. 3 * ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ / OCTOBER 2018

3



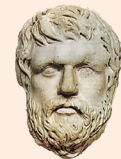
Περιοδική
Έκδοση
Ολιστικής
Φιλοσοφίας

Periodic
Publication of
Holistic
Philosophy

ΞΕΝΟΦΩΝ

Χενοφών

ΤΕΥΧΟΣ ΤΡΙΤΟ
Οκτώβριος / October 2018



*Έκδοση αφιερωμένη
στον Καθηγητή Λεωνίδα Μπαρτζελιώτη
Special edition in honour
of Professor Leonidas Bargeliotis*



Ολυμπιακό Κέντρο Φιλοσοφίας και Παιδείας
Olympic Center for Philosophy and Culture

II. Η συζήτηση για το ρεύμα του Εκλεκτικισμού, από πλευράς αυστηρά φιλοσοφικής, κινείται στην προοπτική της εξέτασης του ερωτήματος αναφορικά με το τί είναι ο εγκυκλοπαιδισμός (πώς καταγράφονται τα φιλοσοφικά ρεύματα του παρελθόντος και με ποια προοπτική). Από την μία πλευρά, τίθεται το ζήτημα της παράθεσης, σύμφωνα με το οποίο αναδεικνύονται σε διαδοχική γραμμική άρθρωση τα προηγηθέντα πνευματικά εγχειρήματα. Από την άλλη, αναδύεται η σύνθεση, σύμφωνα με την οποία αναζητούνται οι αμοιβαιότητες τους και η εγγραφή τους σε κοινά κατηγοριακά σχήματα. Η πρώτη περίπτωση είναι σαφώς ιστορική, ενώ η δεύτερη σαφώς συστηματική. Και οι δύο όμως αναδεικνύουν τον πλούτο των παραδοσιακών παρακαταθηκών αλλά υπό μία διαφορετική οπτική. Ως μείζον ζήτημα εδώ αναδύεται το ερώτημα: ο βαθμός ως προς τον οποίο στον εγκυκλοπαιδισμό γίνεται μία καταγραφή με βάση το απτό αντικειμενικό μέτρο ή με βάση την εκτίμηση του συντάκτη αναφορικά με το τί είναι ουσιαστικό ή όχι; Τί θα επιλεγεί: η ανάλυση ή η ερμηνεία ή και οι δύο με όρους αμοιβαίας συμπληρωματικότητας; Όταν ο Αντίοχος άρχισε να ανεξαρτητοποιείται από το Σκεπτικό ρεύμα, ενώπιόν του ενεφανίσθη ένα δίλημμα: προς ποία κατεύθυνση πρέπει να ανοίξει τις διαδρομές της όχι μόνον η Ακαδημία αλλά και η Φιλοσοφία γενικότερα; Ποία ιστορική και συστηματική διάταξη πρέπει να φέρει στο προσκήνιο; Ο εκλεκτικισμός του διαμορφώνεται βαθμιαία με βάση συγκεκριμένες επιλογές, τις οποίες ο ίδιος αιτιολογεί. Όπως για παράδειγμα: ο Αριστοτέλης δεν είναι αντίθετος από τον Πλάτωνα, αλλά έρχεται να καταγράψει όλον εκείνον τον εννοιολογικό και μεθοδολογικό πλούτο ο οποίος είναι αναγκαίος για την κατανόηση του διδασκάλου του. Άρα, εντελώς ενδεικτικά θα σημειώναμε ότι, όταν αναφέρεται στην Μορφή-Ιδέα, μπορεί να εννοεί εν ταυτώ τόσο την δυνατότητα (ως προς τι δυνάμει) ή την πραγματικότητα (από τι ενεργεία).

Σημείωση: Ο Αντίοχος ο Ασκαλωνίτης έχει αναπτύξει αξιοπρόσεκτους συλλογισμούς περί της φιλοσοφικής Ηθικής, κινούμενος και στην εκλεκτική κατεύθυνση αλλά και καταθέτοντας τις οικείες του θεωρητικής και αξιολογικές εκτιμήσεις. Ωστόσο, στην ανά χειράς εργασία δεν τις παρουσιάσαμε, διότι αποτελούν επιμέρους κεφάλαιο μίας υπό έκδοση μελέτης μας.

© 20



Βιργινία Γρηγοριάδου

Υπ. Διδάκτωρ

Φραγκίσκος Κουτελιέρης

Καθηγητής του Πανεπιστημίου Πατρών

Κώστας Θεολόγου

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΤΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ:
ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΣΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΜΕΤΑ ΤΟ ΔΙΑΦΩΤΙΣΜΟ

Περίληψη

Τα επιστημονικά μοντέλα αποτελούν μία ιδιαίτερα διαδεδομένη πειραματική τεχνική στις φυσικές επιστήμες από το 18^ο αιώνα μέχρι σήμερα. Η σημασία τους κατά την προσπάθεια περιγραφής, ερμηνείας και πρόβλεψης του φυσικού κόσμου είναι αναγνωρισμένη και ευρέως αποδεκτή από ερευνητές πολλών επιστημονικών πεδίων ανά τον κόσμο. 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. Πώς αιτιολογείται, όμως, η συστηματική αξιοποι-

ηση των μοντέλων στην επιστημονική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών μετά το 18^ο αιώνα; Ποιος υπήρξε ο ρόλος του Διαφωτισμού στην εξελικτική πορεία της κατανόησης της έννοιας των επιστημονικών μοντέλων και της εκτενούς αξιοποίησής τους στην πειραματική μέθοδο των φυσικών επιστημών; Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα δίνεται μέσω της εξέτασης της επιστημονικής μεθοδολογίας μετά το Διαφωτισμό παράλληλα με την εξέλιξη της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου στην επιστήμη από το 18^ο έως τον 21^ο αιώνα.

Οι σημαντικές αλλαγές που επήλθαν στην επιστημονική μεθοδολογία μετά την επιστημονική επανάσταση και το Διαφωτισμό οδήγησαν στην ανάπτυξη της πειραματικής μεθόδου του 17^{ου} αιώνα, στο πλαίσιο της οποίας ευνοήθηκε η συστηματική αξιοποίηση νέων επιστημονικών τεχνικών. Υπό αυτή την έννοια ο Αιώνας των Φώτων αποτέλεσε ευνοϊκό πεδίο για την έναρξη της συστηματικής αξιοποίησης των επιστημονικών μοντέλων στον πειραματισμό των φυσικών επιστημών. Τον 19^ο αιώνα η εφαρμογή της τεχνικής των μοντέλων επεκτάθηκε σε περισσότερους επιστημονικούς τομείς με κυρίαρχους τη φυσική, τη βιολογία, την αστρονομία, τις γεωεπιστήμες και τη μηχανική. Από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα που τα μοντέλα αποτελούν πλέον ένα δοκιμασμένο και καθιερωμένο επιστημονικό εργαλείο, αρχίζουν να διατυπώνονται θεωρητικές προσεγγίσεις που αποσκοπούν στον ορισμό και την κατηγοριοποίηση των διαφορετικών ειδών επιστημονικών μοντέλων. Ο 21^{ος} αιώνας είναι ο αιώνας της συγκέντρωσης της υπάρχουσας γνώσης περί τα μοντέλα, της εξέτασης και εννοιοδότησής τους από διαφορετικά επιστημονικά πεδία και της επέκτασης της εφαρμογής τους σε περισσότερους κλάδους. Από το 18^ο έως τον 21^ο αιώνα σημειώνεται η μετάβαση από την έναρξη της πειραματικής αξιοποίησης του εργαλείου στην εντατική προσπάθεια θεωρητικής του τεκμηρίωσης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα μοντέλα αποτελούν ένα από τα κύρια μέσα της σύγχρονης επιστήμης και 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 (Encyclopaedia Britannica 2020, Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012).

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 (Encyclopaedia Britannica 2020, Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012). 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. Ταυτόχρονα τα μοντέλα αποτελούν μία τεχνική που εξασφαλίζει σημαντική εξοικονόμηση πόρων, χρόνου, ερευνητικής προσπάθειας και αναγκών σε ανθρώπινο δυναμικό. Αποτελούν, δηλαδή, μια αποτελεσματική και ταυτόχρονα οικονομική τεχνική που μπορεί να εφαρμοστεί ευρέως σε πολλά και διαφορετικά επιστημονικά πεδία.

Οι επιστήμονες από τις αρχές του 18^{ου} αιώνα αφιέρωναν πολύ χρόνο στην κατασκευή, τη δοκιμή, τη σύγκριση και την αναθεώρηση των μοντέλων (Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012). Χαρακτηριστικά παραδείγματα μοντέλων που αναπτύχθηκαν εκείνη την περίοδο είναι τα μοντέλα κλίμακας που αξιοποιήθηκαν σε αρκετούς επιμέρους τομείς της μηχανικής, όπως και τα μαθηματικά μοντέλα που λειτούργησαν ως υπολογιστικά βοηθήματα και τα μοντέλα εξισώσεων που αξιοποιήθηκαν ευρέως στη φυσική. Μετά

τον 20^ο αιώνα αναπτύχθηκαν θεωρίες μέσω των οποίων επιδιώχθηκε η εννοιολόγηση, η κατηγοριοποίηση και η διερεύνηση των βασικών λειτουργιών των σύγχρονων αυτών επιστημονικών εργαλείων.

Η έναρξη της συστηματικής αξιοποίησης των μοντέλων στην επιστημονική μεθοδολογία μετά το 17^ο αιώνα τοποθετεί την περίοδο του Διαφωτισμού μεταξύ των σημαντικότερων περιόδων εξέλιξης της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου. Το γεγονός αυτό αιτιολογεί την επιλογή της περιόδου του Διαφωτισμού ως χρονικής αφετηρίας παρουσίασης της εξελικτικής πορείας της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου, στο πλαίσιο της παρούσας προσέγγισης. Επίσης από το 17^ο έως τον 21^ο αιώνα διακρίνονται δύο εξελικτικά στάδια της έννοιας και της αξιοποίησης του επιστημονικού μοντέλου στην επιστημονική μεθοδολογία. Κατά το πρώτο στάδιο, το οποίο τοποθετείται χρονικά από το 17^ο έως τον 19^ο αιώνα, τα επιστημονικά μοντέλα εντάσσονται συστηματικά στην πειραματική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών, της μηχανικής και άλλων επιστημονικών πεδίων. Κατά το δεύτερο στάδιο που τοποθετείται χρονικά από το 20^ο έως τον 21^ο αιώνα παρατηρείται η προσπάθεια θεωρητικής τεκμηρίωσης του σημαντικού αυτού επιστημονικού μοντέλου.

Η εξέταση της ιστορικής εξέλιξης της έννοιας του μοντέλου από το 17^ο έως τον 21^ο αιώνα οδηγεί σε ορισμένα σημαντικά ερωτήματα. Βασικό ερώτημα που προκύπτει είναι για ποιο λόγο τα επιστημονικά μοντέλα εντάχθηκαν συστηματικά στην μεθοδολογία των φυσικών επιστημών μετά το 18^ο αιώνα; Ποιες συνθήκες και ποιοι παράγοντες οδήγησαν στην άμεση υιοθέτηση, την ανάπτυξη και την επέκταση της αξιοποίησής τους μετά τον Αιώνα των Φώτων; Ένα άλλο ερώτημα που προκύπτει είναι πώς αντιλαμβάνονται οι σύγχρονοι επιστήμονες το εργαλείο αυτό, δηλαδή εάν και σε ποιο βαθμό έχουν καταφέρει

να το τεκμηριώσουν θεωρητικά, ήτοι να ορίσουν την έννοια του μοντέλου, να προβούν σε μια επαρκή κατηγοριοποίηση των επιστημονικών μοντέλων, να ερμηνεύσουν τη λειτουργία τους και να αναγνωρίσουν το ρόλο τους στην επιστημονική πρακτική.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση πιθανών απαντήσεων σε αυτά τα ερωτήματα μέσω της εξέτασης της ιστορικής εξέλιξης της επιστημονικής μεθοδολογίας μετά το Διαφωτισμό παράλληλα με την εξέλιξη της εννοιολόγησης και της εφαρμογής των επιστημονικών μοντέλων στην πειραματική μεθοδολογία των φυσικών επιστημών.

ΔΙΑΦΩΤΙΣΜΟΣ:

Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΦΥΣΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

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 κεντρικά ζητήματα που απασχόλησαν τους εκπροσώπους του Διαφωτισμού είναι η δυνατότητα γνώσης του φυσικού κόσμου και η βέλτιστη μέθοδος οργάνωσης και διαχείρισης της γνώσης αυτής (Outram 1999).

Με βασική αρχή του Διαφωτισμού την πίστη στον ορθό λόγο, οι εκπρόσωποι του Αιώνα των Φώτων υποστήριξαν σθεναρά ότι η λογική δε μπορεί παρά να είναι το βασικό εργαλείο που με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα μπορεί να οδηγήσει στη γνώση. Η λογική σε συνδυασμό με την επιθυμία του ανθρώπου να αναζητήσει τη γνώση και το θάρρος του να απαλλαγεί από τις προκαταλήψεις, τις δεισιδαιμονίες του παρελθόντος και την προσκόλληση του σε αυθεντίες αποτελούν το μόνο δρόμο προς τη γνώση του φυσικού κόσμου (Outram 1999).

Πέραν της αποδοχής του ορθού λόγου ως βασικού εργαλείου αναζήτησης και κατάκτησης

της γνώσης, κυρίαρχο ζήτημα μετά τον 17^ο αιώνα υπήρξε και η αντίληψη κατά την οποία η φύση είναι μία 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 σύμπαν κυριαρχεί η τάξη και η αρμονία και προκειμένου να μελετηθεί θα πρέπει να αναπτυχθεί και να υιοθετηθεί μία ποσοτική πειραματική μεθοδολογία (Westfall 2008). 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 1983, Πελεγρίνης 1998). Ο Φράνσις Μπέικον εξέφρασε τους προβληματισμούς του σχετικά με τη διάσταση μεταξύ παρατήρησης κι εξήγησης. Ο ίδιος θεωρούσε ότι η εξήγηση πρέπει να πηγάζει από την παρατήρηση κι όχι από το σύστημα εξήγησης που είχε κληροδοτηθεί από την αρχαία φιλοσοφία (Butterfield 1983). 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 1983, Stanford Encyclopedia of Philosophy 2017). 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 (Stanford Encyclopedia of Philosophy 2019).

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. 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). 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 (Grant 2013, Lindberg 2003) στην παρατήρηση του ίδιου του φυσικού κόσμου, μετά την περίοδο του Διαφωτισμού.

Οι νέες αυτές συνθήκες οδήγησαν στην ανάπτυξη της πειραματικής μεθόδου του 17^{ου} αιώνα που πρέσβευε τη στροφή στη φύση και την άμεση εξέταση αυτής μέσω του συστηματικού πειραματισμού (Hankins 1998, 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.

Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ (17^{ος}-19^{ος} ΑΙ.)

Οι αλλαγές που επήλθαν στην επιστημονική μεθοδολογία μετά την περίοδο του Διαφωτισμού υπήρξαν ευνοϊκές για την ανάπτυξη και τη συστηματική αξιοποίηση τεχνικών, όπως των επιστημονικών μοντέλων. Οι επιστήμονες ήταν σε θέση να αντιληφθούν το ρόλο και τη σημασία των τεχνικών αυτών και να εντάξουν στη μεθοδολογία τους ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών μοντέλων, τα οποία υιοθετήθηκαν σε πρώτο στάδιο από τις φυσικές επιστήμες. Μία θεωρία που μπορεί να αιτιολογήσει την άμεση και εκτενέστερη αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων

στο πεδίο των φυσικών επιστημών εν συγκρίσει με άλλα επιστημονικά πεδία, είναι η θεωρία του ντετερμινισμού κατά την οποία όλα όσα συμβαίνουν στον φυσικό κόσμο γίνονται σύμφωνα με κάποια αιτία, που την ακολουθεί κατ' ανάγκην το ίδιο αποτέλεσμα (Earman 1999). Στο πλαίσιο αυτό η αξιοποίησή των επιστημονικών μοντέλων κρίθηκε περισσότερο αποτελεσματική κατά την περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων με αποτέλεσμα να υιοθετηθεί άμεσα και να ενταχθεί συστηματικά στη μεθοδολογία των φυσικών επιστημών.

Ο Ισαάκ Νεύτωνας, ο οποίος περί τα τέλη του 17^{ου} αιώνα ασχολήθηκε με τις έννοιες της ομοιότητας και των όμοιων συστημάτων φαίνεται ότι 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 του. Ο καθηγητής Ιστορίας και Φιλοσοφίας της επιστήμης Simon Schaffer αναφέρεται σε μία παρατήρηση του Νεύτωνα, σύμφωνα με την οποία:

«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).

Η προφητική αυτή ιδέα του Νεύτωνα υλοποιείται στα τέλη του 19^{ου} αιώνα με τα πειράματα μοντέλων πλοίων που διεξήγαγε ο Άγγλος μηχανικός William Froude, προκειμένου να ελέγξει τη σταθερότητα, την ταχύτητα και την αλληλεπίδραση των πλοίων με το νερό (Froude 1874, Sterrett 2002, Sterrett 2006, Sterrett 2017b). Αντίστοιχα μοντέλα αναλογίας αξιοποιήθηκαν και σε πολλά άλλα πεδία, όπως στην αστροφυσική, στην κοσμολογία, στον ηλεκτρομαγνητισμό, στη γεωφυσική, στην ηφαιστειολογία και σε πολλούς

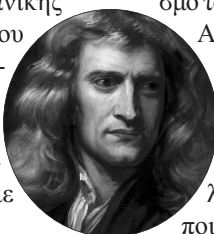
τομείς της μηχανικής (Sterrett 2017a).

Μία άλλη ιδιαίτερη κατηγορία μοντέλων που αναπτύχθηκε το 17^ο αιώνα είναι τα μοντέλα υπολογισμού, γνωστά και ως μαθηματικά μοντέλα. Η ανάγκη εξοικονόμησης χρόνου, πνευματικής προσπάθειας και περιορισμού του ανθρώπινου σφάλματος οδήγησε στο σχεδιασμό και την κατασκευή μίας ποικιλίας εργαλείων υπολογισμού (Randell 1982). Το 1642 ο Blaise Pascal κατασκεύασε την πρώτη υπολογιστική μηχανή, την οποία υιοθέτησε κι εξέλιξε ο Moreland Samuel. Το 1671 ο Gottfried Wilhelm Leibniz επινόησε μία υπολογιστική μηχανής 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).

Ακολούθησε η επινόηση των αλγόριθμων από τον 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, Sterrett 2005).

Ένα άλλο ενδιαφέρον παράδειγμα είναι το μηχανικό μοντέλο ηλεκτροδυναμικών εξισώσεων που ανέπτυξε ο Maxwell στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, προκειμένου να περιγράψει τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. Συχνά αξιοποιείται ένα μηχανικό μοντέλο μαζί με τις αντίστοιχες εξισώσεις προκειμένου να μοντελοποιήσει και κατ' επέκταση να περιγράψει ή να εξηγήσει ένα φαινόμενο το οποίο υποδηλώνουν οι εν λόγω εξισώσεις (Sterrett 2005).

Μέσα σε διάστημα δύο αιώνων η επιστημονική τεχνική των μοντέλων αναπτύχθηκε με ραγδαίους ρυθμούς και επεκτάθηκε σε όλα τα πεδία των φυσικών επιστημών και της μηχανικής.



Η ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΕΝΝΟΙΟΔΟΤΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
(20^{ος}-21^{ος} αι.)

Κατά τον 20^ο αιώνα τα επιστημονικά μοντέλα πλέον αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της πειραματικής μεθόδου των φυσικών επιστημών και παρατηρούνται προσπάθειες ορισμού, κατηγοριοποίησης και θεωρητικής τεκμηρίωσης τους. Μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου προέρχεται από τους Bell και Machover αλλά και από τον Hodges, οι οποίοι περί τα τέλη του 20^ο 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, Hodges 1997). Άλλη προσέγγιση της έννοιας προέρχεται από τον Giere, ο οποίος αναφέρεται σε μία κατηγορία μοντέλων που αποτελούν αφηρημένες οντότητες, οι οποίες λειτουργούν ως μοντέλα που αξιοποιούνται από τη μηχανική (Giere 1988). Πολλοί ερευνητές, όπως και η σύγχρονη Φιλόσοφος της επιστήμης Susan G. Sterrett, διακρίνουν και ορίζουν μία κατηγορία μοντέλων που είναι φυσικά αντικείμενα, τα οποία ορίζονται ως φυσικές οντότητες που αποτελούν επιστημονικές αναπαραστάσεις άλλων φυσικών οντοτήτων (Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012).

Οι επιστήμονες σήμερα αναγνωρίζουν τη σημασία των μοντέλων και διερευνούν το ρόλο τους στην επιστημονική πρακτική. Το αποτέλεσμα αυτής της διερεύνησης είναι ένα ευρύ φάσμα τύπων μοντέλων που αξιοποιούνται από έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό επιστημονικών κλάδων. Ορισμένες κατηγορίες μοντέλων που αξιοποιούνται συστηματικά στην ερευνά των φυσικών επιστημών είναι τα θεωρητικά μοντέλα, τα μοντέλα αναλογίας, μοντέλα κλίμακας, μοντέλα φαινομένων,

υπολογιστικά μοντέλα, επεξηγηματικά μοντέλα, μοντέλα δοκιμών, φανταστικά μοντέλα, εικονικά μοντέλα κ.α. (Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012). Οι σύγχρονοι επιστήμονες προσπαθώντας να απαντήσουν στο ερώτημα τί είναι επιστημονικό μοντέλο παρατηρούν ότι υπάρχουν διάφορα πράγματα που συνήθως χρησιμοποιούνται ως μοντέλα, όπως για παράδειγμα φυσικά ή φανταστικά αντικείμενα, φυσικές διατάξεις, φυσικά φαινόμενα, σύνολα θεωρητικών δομών, περιγραφές, εξισώσεις ή συνδυασμοί ορισμένων εξ' αυτών (Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012).

Όπως γίνεται αντιληπτό η ποικιλία κατηγοριών των επιστημονικών μοντέλων είναι ιδιαίτερος ευρεία, γεγονός που ορισμένες φορές οδηγεί σε σύγχυση σχετικά με την κατανόηση, τον ορισμό, την κατηγοριοποίησή τους και οδηγεί σε διαφορετικούς ορισμούς και κατ' επέκταση διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις.

Μία προσέγγιση της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου προέρχεται από το πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης. Η πλειοψηφία των επιστημόνων που δραστηριοποιούνται στο πεδίο της φιλοσοφίας της επιστήμης αντιλαμβάνονται τα επιστημονικά μοντέλα ως θεωρητικά εργαλεία που τοποθετούνται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο μεταξύ θεωριών, αρχών, νόμων και του πραγματικού κόσμου (Sterrett 2005, Sterrett 2002). 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, Sterrett 2002).

Η προσέγγιση αυτή δε γίνεται αποδεκτή κυρίως από τους φυσικούς επιστήμονες και τους μηχανικούς, 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 (Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012). Αυτές οι δύο έννοιες δεν αλληλοαποκλείονται καθώς τα επιστημονικά μοντέλα μπορούν να είναι αναπαραστάσεις και με τις δύο έννοιες ταυτόχρονα (Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012). Αν αναλογιστούμε ότι τα επιστημονικά μοντέλα μπορούν να εκτελούν κατά γενική παραδοχή τις δύο αυτές διαφορετικές αναπαραστατικές λειτουργίες, η προσέγγιση των φιλοσόφων της επιστήμης πράγματι αποδεικνύεται αποσπασματική.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η προσέγγιση της σύγχρονης φιλοσόφου της επιστήμης Susan G. Sterrett, η οποία προτείνει μία διάκριση δυο ευρύτερων κατηγοριών επιστημονικών μοντέλων, η οποία βασίζεται κυρίως στον τρόπο λειτουργίας τους, δηλαδή στα χαρακτηριστικά και τη διαδικασία που ακολουθείται μέσω της αξιοποίησής τους για τη συναγωγή συμπερασμάτων (Sterrett 2005). Η Sterrett διακρίνει την κατηγορία “realm of thought” και την κατηγορία “using one piece of the world to tell about another”. Τα μοντέλα που εντάσσονται στην κατηγορία “realm of thought” είναι αφηρημένα, είναι μαθηματικές δομές, αλγόριθμοι ή περιγραφές μηχανισμών (Sterrett 2005). Είναι θεωρητικά εργαλεία και όχι φυσικά αντικείμενα. Τα εργαλεία αυτά θεωρούνται μοντέλα λόγω της σχέσης τους με κάποιες εξισώσεις ή επίσημες επιστημονικές προτάσεις (Sterrett 2005). Τρία είδη μοντέλων που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία είναι τα Μηχανικά Μοντέλα Ηλεκτροδυναμικών Εξισώσεων, Μοντέλα Αξιομάτων Αριθμητικής και Γεωμετρίας και τα Μαθηματικά Μοντέλα Προσομοίωσης (Sterrett 2005).

Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα επινόηση της Sterrett υπήρξε η δεύτερη κατηγορία μοντέλων την οποία απέδωσε με την εξίσου ενδιαφέρουσα

και περιγραφική ονομασία *one piece of the world*. 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). Η μέθοδος συναγωγής συμπερασμάτων των μοντέλων αυτής της κατηγορίας βασίζεται στη φυσική ομοιότητα ή τη σχέση αναλογίας που παρουσιάζει το μοντέλο με το σύστημα στόχο (Encyclopaedia Britannica 2020, Sterrett 2002, Sterrett 2005). Η ομοιότητα ορίζεται πάντα 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 2002). Στην κατηγορία αυτή η Sterrett εντάσσει τα Μοντέλα Οργανισμών στη Βιολογία, τα Πειραματικά Μοντέλα Κλίμακας και τα Μοντέλα Αναπαράστασης Γεγονότων (Sterrett 2005).

Παρόλο τον έντονο προβληματισμό και την αυξημένη προσπάθεια εννοιοδότησης των επιστημονικών μοντέλων εξακολουθούν να εντοπίζονται κενά ως προς την κατανόησή τους ενώ ταυτόχρονα η αξιοποίησή τους επεκτείνεται με γρήγορους ρυθμούς σε περισσότερους επιστημονικούς τομείς. Ερωτήματα όπως με ποιόν τρόπο εμπλέκονται η θεωρία, οι αρχές και οι νόμοι στην κατασκευή και τη λειτουργία του μοντέλου, ποιος είναι ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας τους και πώς αξιοποιείται, αποτελούν σημαντικά ζητήματα που δεν έχουν απαντηθεί επαρκώς μέχρι σήμερα. Άλλα δύο σημαντικά ζητήματα που επιδέχονται περαιτέρω διερεύνησης είναι εάν μία απλή αντιγραφή ή αναπαραγωγή μπορεί να θεωρηθεί μοντέλο αλλά και πώς μαθαίνουμε με την αξιοποίηση των μοντέλων. 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.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πνευματικό κίνημα του Διαφωτισμού τροφοδοτούμενο από τις ιδέες της επιστημονικής επανάστασης διαμόρφωσε έναν νέο τρόπο σκέψης που οδήγησε στην αλλαγή του τρόπου με τον οποίον ο επιστήμονας μελετά το φυσικό κόσμο. Η ένταξη του συστηματικού πειραματισμού στην επιστημονική μεθοδολογία οδήγησε στην ανάγκη ανάπτυξης νέων επιστημονικών πρακτικών ικανών να συμβάλλουν στην περιγραφή, εξήγηση και πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων. Αυτές οι συνθήκες συνέβαλαν στην ανάπτυξη και στη συστηματική αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων στο πλαίσιο της μεθοδολογίας των φυσικών επιστημών κατά το 18^ο και 19^ο αιώνα.

Από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα καταβάλλονται έντονες προσπάθειες κατανόησης, ορισμού και κατηγοριοποίησης των επιστημονικών μοντέλων, εργαλείων που εξελίσσονται με γρήγορους ρυθμούς και η αξιοποίησή τους επεκτείνεται συνεχώς σε νέα επιστημονικά πεδία. Δεδομένων αυτών των συνθηκών, 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. Σημαντικά ζητήματα

που επιδέχονται περαιτέρω εξέταση είναι η σχέση των επιστημονικών μοντέλων με τη θεωρία, ο βασικός μηχανισμός λειτουργίας των μοντέλων, ο τρόπος και η διαδικασία μάθησης μέσω των μοντέλων καθώς και η απάντηση στο ερώτημα εάν μια απλή αντιγραφή ή αναπαραγωγή μπορεί να θεωρηθεί μοντέλο. Τα σημαντικά αυτά προς εξέταση ζητήματα αποδεικνύουν την αναγκαιότητα της περαιτέρω διερεύνησης της έννοιας του επιστημονικού μοντέλου.

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.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Butterfield H., *Η καταγωγή της σύγχρονης επιστήμης (1300-1800)*. Μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τους Αρζόγλου Ιορδάνη και Χριστοδουλίδη Αντώνη. Αθήνα: MIET, 2010 (Αρχική έκδοση το 1983).

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

Earman J., Το πρόβλημα του Ντετερμινισμού στις φυσικές επιστήμες. Στο συλλογικό τόμο *Εισαγωγή στη Φιλοσοφία της Επιστήμης των Μπαλτά Αρ. και Γιαβρόγλου Κ.*. Μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τους Θεοδώρου Πάνο, Παναγιωτίδη Κώστα, Φουρτούνη Γιώργο, Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1999, σελ.317-369 (Αρχική έκδοση το 1992).

Encyclopaedia Britannica, 2020. Scientific mod-

elling. Διαθέσιμο από το: <https://www.britannica.com/science/scientific-modeling> [Ανακτήθηκε στις 26 Ιανουαρίου 2020].

Froude W., “On Experiments with H. M. S ‘Greyhound’”, in *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, 1874, Vol.15, pp. 36-73.

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

Grant Ed., *Οι φυσικές επιστήμες τον Μεσαίωνα*. Μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τον Σαρίκα Ζήση. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2013 (Αρχική έκδοση το 1994).

Hankins Th. L., *Επιστήμη και Διαφωτισμός*. Μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τον Γκουνταρούλη Γιώργο. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1998 (Αρχική έκδοση το 1989).

Hodges W., *A Shorter Model Theory*, Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

Lindberg D. C., *Οι απαρχές της Δυτικής Επιστήμης*. Μεταφρασμένο στα Ελληνικά από το Μαρκολέφα Ηλία. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2003 (Αρχική έκδοση το 1997).

Outram D., *The Enlightenment*. New York: Cambridge University Press, 1999 (Αρχική έκδοση το 1995).

Πελεγρίνης Θ., *Οι πέντε εποχές της Φιλοσοφίας*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα, 1998.

Randell Br. (Ed.), *The Origins of Digital Computers: Selected Papers*. Springer Monographs in Computer Science, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg, 1982.

Schaffer S., Fish and Ships: models in the age of reason in Soraya de Chadarevian and Nick Hopwood, *Models: the third dimension of science*, California: Stanford University Press, 2004, pp.71-105.

Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2012. Models in science. Διαθέσιμο από το: <https://plato.stanford.edu/entries/models-science/> [Ανακτήθηκε στις 23 Ιανουαρίου 2020].

Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2017. Enlightenment. Διαθέσιμο από το: <https://plato.stanford.edu/entries/enlightenment/> [Ανακτήθηκε στις 23 Ιανουαρίου 2020].

Stanford Encyclopedia of Philosophy, 2019. De-

nis Diderot. Διαθέσιμο από το: <https://plato.stanford.edu/entries/diderot/#EmpriExpre> [Ανακτήθηκε στις 20 Ιανουαρίου 2020].

Sterrett G. S., “Physical Models and Fundamental Laws: Using One Piece of the World to Tell About Another”. *Mind and Society* 5, 2002 Vol. 3, pp. 51-66.

Sterrett G. S., “Kinds of Models”: based on a talk presented at an STS Interdisciplinary roundtable: “The Multiple Meanings of Models”, John Hope Franklin Center, Duke University, 2005.

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

Sterrett G. S., Experimentation on Analogue Models. In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science*, Springer, Switzerland, 2017a., pp. 857-878.

Sterrett G. S., Physically Similar Systems — A History of the Concept. In L. Magnani and T. Bertolotti (eds.). *Springer Handbook of Model-Based Science*, Springer, Switzerland, 2017b, pp. 377-411.

Westfall R. S., *Η συγκρότηση της σύγχρονης επιστήμης*. Μεταφρασμένο στα Ελληνικά από τη Ζήση Κρινιώ. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2008 (Αρχική έκδοση το 1977).

