

Η αξιοποίηση των μοντέλων στη μελέτη και τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Το μοντέλο και οι λειτουργίες του

Η επινόηση, η δημιουργία και η αξιοποίηση μοντέλων είναι οργανικό στοιχείο της επιστημονικής σκέψης και ένα από τα πιο χαρακτηριστικά γνωρίσματα των Φυσικών Επιστημών. Από τις απαρχές της επιστημονικής σκέψης, οι άνθρωποι χρησιμοποίησαν μοντέλα για να κατανοήσουν τον κόσμο, όπως π.χ. τα κοσμολογικά μοντέλα των Ιώνων φιλοσόφων του 6^{ου} αιώνα π.Χ. Έτσι, οι Φυσικές Επιστήμες στην ιστορική τους εξέλιξη χρησιμοποίησαν μοντέλα αφενός για τη μελέτη διαφόρων φαινομένων και αφετέρου για τη διδασκαλία των αντίστοιχων μαθημάτων. Ο Gilbert (Gilbert, 1991) πρότεινε να οριστούν οι Φυσικές Επιστήμες ως μια διαδικασία δημιουργίας μοντέλων, ενώ ο Wittgenstein (Wittgenstein, 1963) τονίζει ότι η κατανόηση του κόσμου γύρω μας επιτυγχάνεται μόνο μέσω των μοντέλων.

Τι είναι όμως τελικά το μοντέλο; Στην ερώτηση αυτή έχουν διατυπωθεί παρόμοιες απαντήσεις από αρκετούς ερευνητές. Έτσι σε μια προσπάθεια να συμπεριληφθούν στον ορισμό του μοντέλου τα κυριότερα χαρακτηριστικά του, η Drouin (Drouin, 1988) αναφέρει ότι:

Μοντέλο είναι «κάτι» (συγκεκριμένο αντικείμενο, σχηματική αναπαράσταση, σύστημα εξισώσεων...) που παίζει το ρόλο υποκατάστατου μιας πραγματικότητας πολύ σύνθετης ή απρόσιτης στην εμπειρία και που επιτρέπει να κατανοήσουμε αυτήν την πραγματικότητα με τη βοήθεια κάποιου ενδιάμεσου πιο γνωστού ή πιο προσιτού στη γνώση.

Με βάση τον παραπάνω ορισμό, απορρέουν και οι λειτουργίες που μπορούν να επιτελέσουν τα διάφορα μοντέλα, που είναι (Astolfi κ.α, 1992):

α) Η αναπαράσταση ενός συστήματος.

Κάθε σύστημα αποτελείται από συγκεκριμένα στοιχεία που συσχετίζονται μεταξύ τους και καθορίζει το αντικείμενο μελέτης του επιστήμονα που το ορίζει. Η μελέτη του συστήματος μπορεί να οδηγήσει στην επινόηση μιας υποθετικής αναπαράστασης όπου ο μελετητής έχει απαλείψει ή και τροποποιήσει κάποιες λεπτομέρειες του συστήματος με σκοπό να επιλύσει συγκεκριμένα και μόνο προβλήματα. Έτσι η πραγματικότητα γίνεται αντιληπτή διαμέσου μιας αναπαράστασης που αποδίδει ορισμένες μόνο πλευρές της.

β) Η ερμηνεία.

Μια από τις βασικές επιδιώξεις των επιστημόνων που χρησιμοποιούν μοντέλα είναι η ερμηνεία ενός φαινομένου, μιας δομής ή μιας διαδικασίας. Αν και η κατασκευή ενός μοντέλου δεν υπόσχεται πάντα και την ερμηνεία της πραγματικότητας, αρκετές φορές ένα καλοσχεδιασμένο μοντέλο μπορεί να αναδείξει και να συσχετίσει διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν ένα φαινόμενο.

γ) Η πρόβλεψη.

Τα τελευταία χρόνια πολλά μοντέλα κατασκευάζονται από τους επιστήμονες με σκοπό να προβλέψουν την εξέλιξη διαφόρων φαινομένων, με ποιο χαρακτηριστικά τα μετεωρολογικά μοντέλα. Ένα από τα δυνατά σημεία των μοντέλων είναι ότι μπορούν να επιτρέπουν την πρόβλεψη της εξέλιξης ενός συστήματος και των μεταβολών του, χωρίς να είναι αναγκαίο να παρατηρήσει κανείς την ίδια την πραγματικότητα. Οι προβλέψεις αυτές αποκτούν ακόμα μεγαλύτερο ενδιαφέρον όταν είναι δυνατή η αντιπαραβολή τους με το πραγματικό φαινόμενο ή διαδικασία.

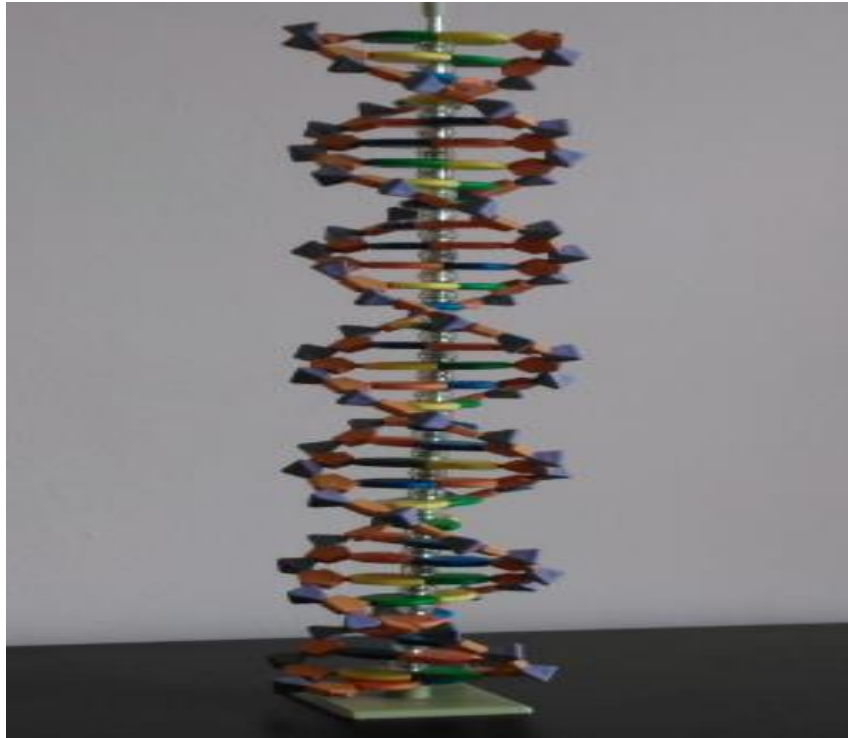
Θα πρέπει όμως να σημειωθεί, ότι ένα μοντέλο μπορεί να επιτελεί μια ή περισσότερες από τις παραπάνω λειτουργίες.

Τα είδη των μοντέλων

Ο Parkinson (Parkinson, 2002) διακρίνει τέσσερα είδη μοντέλων:

A. Τα μοντέλα κλίμακας.

Στα μοντέλα αυτά αναπαρίστανται κυρίως δομές και συστήματα σε μια κλίμακα διαφορετική από την πραγματική. Για παράδειγμα αν πρόκειται για γεωλογικές δομές η κλίμακα του μοντέλου αφορά σε σμίκρυνση της αντίστοιχης πραγματικής δομής, ενώ αν αφορά σε μια βιολογική δομή π.χ το ανθρώπινο αυτί το «μοντέλο του αυτιού» αφορά σε μεγέθυνση (Εικόνες 1 και 2).



Εικόνα 1: Μοντέλο DNA – μεγέθυνση πραγματικής δομής.



Εικόνα 2: Μοντέλο Ηλιακού Συστήματος – σμίκρυνση πραγματικής δομής.

Β. Τα μοντέλα αναλογίας ή φυσικά μοντέλα.

Σε αυτά τα μοντέλα είναι σημαντικό να καθοριστούν με ακρίβεια οι αντιστοιχίες όρο προ όρο ανάμεσα στο σύστημα και το μοντέλο που το αναπαριστά. Για

παράδειγμα στο «μοντέλο των σκληρών σφαιρών» που είναι ένα ατομικό μοντέλο, τα άτομα απεικονίζονται ως σκληρές σφαίρες (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Μοντέλο σκληρών σφαιρών.

Γ. Τα θεωρητικά μοντέλα.

Τα μοντέλα αυτά έχουν το χαρακτηριστικό ότι ενσωματώνουν μια σειρά εμπειρικών δεδομένων, θεωρητικών υποθέσεων, υψηλού επιπέδου αφαιρετική σκέψη, γενικεύσεις σύνθετων διαδικασιών, έμπνευση και φαντασία. Τα θεωρητικά μοντέλα συνοδεύονται συχνά από μαθηματική ανάλυση.

Δ. Τα μαθηματικά μοντέλα.

Αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν μαθηματικές συναρτήσεις με σταθερές και μεταβλητές, οι οποίες περιγράφουν την εξέλιξη ενός φαινομένου. Τα μαθηματικά μοντέλα αποτελούν αναντικατάστατο εργαλείο των Φυσικών Επιστημών και συνήθως αναφέρονται σε ιδανικές καταστάσεις. Τα φυσικά και θεωρητικά μοντέλα σχεδόν πάντα συνδέονται με τα μαθηματικά μοντέλα διότι εκφράζονται μέσω αυτών.

Θα πρέπει βέβαια να σημειώσουμε ότι κατά τη μελέτη ή διδασκαλία ενός φαινομένου, μιας δομής κλπ. μπορούν να συνυπάρχουν κάποια από τα παραπάνω μοντέλα. Η πιο συχνή και ενδιαφέρουσα συνύπαρξη μοντέλων είναι του φυσικού και μαθηματικού μοντέλου.

Η διαδικασία της μοντελοποίησης

Η μοντελοποίηση περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες επινόησης, κατασκευής και χρήσης ενός μοντέλου με σκοπό να επιτελέσει μια ή περισσότερες από τις

λειτουργίες που προαναφέρθηκαν. Το είδος του μοντέλου καθορίζει τις περισσότερες φορές και τον τρόπο κατασκευής του.

A. Δημιουργία μοντέλου κλίμακας.

Ο σκοπός ενός μοντέλου κλίμακας είναι κυρίως απεικονιστικός και για αυτό ο δημιουργός του μοντέλου εστιάζει κυρίως στη ρεαλιστική αναπαράσταση μιας δομής ή ενός φαινομένου σε δύο ή τρεις διαστάσεις. Δεδομένου ότι υπάρχει απόλυτη σχηματική αντιστοιχία μεταξύ του μοντέλου και του συστήματος, αυτό που επιχειρείται είναι η σωστή επιλογή κλίμακας ώστε αφενός να υπάρξει η επιθυμητή μεγέθυνση ή σμίκρυνση του συστήματος και αφετέρου αν χρειαστεί να μπορούν να γίνουν με τη βοήθεια του μοντέλου και υπολογισμοί. Βέβαια αυτό δεν είναι πάντα εφικτό και έτσι ο μοντελιστής μπορεί να περιοριστεί μόνο σε μια ποιοτική απεικόνιση του συστήματος όπως για παράδειγμα το μοντέλο του ηλιοκεντρικού συστήματος με έμφαση στη διάταξη των πλανητών (Χαλκιά, 2012).

B. Δημιουργία φυσικού μοντέλου.

Η δημιουργία ή η διδακτική αξιοποίηση ενός φυσικού μοντέλου ξεκινάει από τις νοητικές παραστάσεις που αποκτά από το εμπειρικό επίπεδο ο μοντελιστής ή ο διδασκόμενος αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η επινόηση και η κατασκευή του μοντέλου που θα αναπαριστά το σύστημα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να καθοριστούν αυστηρά οι σχέσεις ισομορφισμού μεταξύ του μοντέλου και του συστήματος δηλαδή να καθοριστούν οι αντιστοιχίες όρο προς όρο ανάμεσα στο σύστημα και στο μοντέλο (Host, 1989). Οι σχέσεις ισομορφισμού καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου και επιτρέπουν στους χρήστες του να προσδιορίσουν με επιτυχία ποια φαινόμενα και ποιες καταστάσεις του συστήματος μπορούν να περιγραφούν, να ερμηνευθούν ή και να προβλεφθούν. Πέρα από τα παραπάνω, η σαφής αντιστοιχία μεταξύ των στοιχείων του μοντέλου και του συστήματος βοηθά τον διδασκόμενο να διακρίνει ανάμεσα στο μοντέλο και την πραγματικότητα.

Η δημιουργία των φυσικών μοντέλων γίνεται συνήθως επαγωγικά (Host, 1989). Η κατασκευή ξεκινάει από μια απλή συνήθως ιδέα και μετά από σύγκριση του μοντέλου με τα εμπειρικά δεδομένα, το μοντέλο εμπλουτίζεται ή και τροποποιείται μερικώς μέχρι να πάρει την τελική του μορφή. Η κατασκευή του μοντέλου σε αυτή την περίπτωση είναι μια δυναμική διαδικασία με συνεχείς διαλόγους μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικότητας.

Γ. Δημιουργία θεωρητικού μοντέλου.

Η δημιουργία ενός θεωρητικού μοντέλου γίνεται συνήθως παραγωγικά (Host, 1989), δηλαδή το μοντέλο τίθεται αξιωματικά ως προϊόν της ανθρώπινης διάνοησης και της αφαιρετικής σκέψης και στη συνέχεια ελέγχεται πειραματικά. Ο μοντελιστής

σε αυτή την περίπτωση ξεκινάει από μια γενική θεώρηση του μοντέλου και στην πορεία καθορίζει τα επιμέρους χαρακτηριστικά του μοντέλου. Για παράδειγμα στην κινητική θεωρία των αερίων η αρχική θεώρηση είναι ότι τα μόρια του αερίου αντιστοιχούν σε σφαίρες που αναπηδούν συνεχώς μέσα σε ένα δοχείο και στη συνέχεια καθορίζονται οι λεπτομέρειες, όπως για παράδειγμα η ατομικότητα των μορίων του αερίου.

Δ. Δημιουργία μαθηματικού μοντέλου.

Η δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου ίσως έχει και την πιο πρακτική αξία αφού δίνει τη δυνατότητα της μαθηματικής περιγραφής του υπό μελέτη συστήματος ή και της πρόβλεψης όσον αφορά στην εξέλιξη ενός φαινομένου. Η μαθηματική μοντελοποίηση δεν είναι μια εύκολη διαδικασία και συνήθως συνοδεύει το φυσικό ή θεωρητικό μοντέλο. Έτσι απαιτείται από το μοντελιστή να σχεδιάσει ένα επιτυχημένο φυσικό (ή θεωρητικό) μοντέλο, να επιλέξει πιο μέρος του συστήματος θα μελετήσει μέσα από το μοντέλο και να καταστρώσει μια διαφορική εξίσωση που θα περιγράφει το αντίστοιχο φαινόμενο. Για παράδειγμα στην ελεύθερη πτώση ενός σώματος χρησιμοποιείται το μοντέλο του υλικού σημείου, όπου το σώμα αναπαρίσταται με ένα υλικό σημείο. Στο υλικό σημείο που εκτελεί ελεύθερη πτώση εφαρμόζεται ο 2^{ος} Νόμος του Νεύτωνα και καταστρώνεται η αντίστοιχη διαφορική εξίσωση, η λύση της οποίας οδηγεί στην εξίσωση κίνησης του υλικού σημείου. Η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων από την πτώση του σώματος με τα αποτελέσματα που προβλέπει η εξίσωση κίνησης που προκύπτει από τη μοντελοποίηση αποτελεί και την αξιολόγηση του μοντέλου.

Τα όρια εγκυρότητας των μοντέλων

Κάθε μοντέλο ως μια προσέγγιση του στόχου (σύστημα, φαινόμενο, διαδικασία κλπ) είναι έγκυρο για ένα ορισμένο εμπειρικό πεδίο αναφοράς, δηλαδή περιγράφει και εξηγεί ικανοποιητικά ορισμένα φαινόμενα, για τα οποία και επινοήθηκε (Σταυρίδη, 1995). Στη μοντελοποίηση δεν υπάρχει απόλυτη ταύτιση του μοντέλου με το στόχο. Αυτό όμως δεν είναι απαραίτητα κακό, αφού ό,τι χάνουμε σε ακρίβεια το κερδίζουμε σε εννοιολογική σαφήνεια (Coll, 2006). Κάποιες φορές ένα συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά και σε ένα ευρύτερο πεδίο αναφοράς. Συνήθως όμως η διεύρυνση του πεδίου αναφοράς σημαίνει και το τέλος της εγκυρότητας του μοντέλου (Σταυρίδου, 1995). Για παράδειγμα το σωματιδιακό μοντέλο περιγράφει ικανοποιητικά ένα εμπειρικό πεδίο αναφοράς που περιλαμβάνει φαινόμενα θερμικής διαστολής και συστολής των σωμάτων. Αν όμως διευρυνθεί το πεδίο αναφοράς ώστε να περιλάβει τα φάσματα απορρόφησης και εκπομπής των στοιχείων, το σωματιδιακό μοντέλο δεν είναι έγκυρο και ικανό να ερμηνεύσει τα φάσματα. Στη περίπτωση αυτή χρειάζεται ένα νέο ατομικό μοντέλο, το μοντέλο των ατομικών τροχιακών. Είναι σημαντικό επομένως να γνωρίζουμε σε

ποια ερωτήματα μπορεί να απαντήσει ένα μοντέλο, να γίνεται οικονομία στη χρήση του μοντέλου και να γίνεται σαφής διάκριση μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικότητας. Μόνο έτσι μπορεί να έχει θετικά διδακτικά αποτελέσματα η αξιοποίηση των μοντέλων. Η ανεξέλεγκτη χρήση ενός μοντέλου και η σύγχυση μεταξύ μοντέλου και πραγματικότητας μπορεί να οδηγήσει στα αντίθετα αποτελέσματα και να δομήσει σημαντικές εναλλακτικές αντιλήψεις στο μυαλό των μαθητών.

Ο τρόπος που αντιλαμβάνονται τα μοντέλα οι μαθητές είναι πολύ διαφορετικός από τον τρόπο που τα αντιλαμβάνονται οι επιστήμονες. Σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι οι περισσότεροι μαθητές θεωρούν τα μοντέλα φυσικά αντίγραφα της πραγματικότητας, αντί για εννοιολογικές αναπαραστάσεις (Χαλκιά, 2012). Για το λόγο αυτό, κατά τη διδασκαλία θα πρέπει να δίνεται έμφαση στους περιορισμούς κάθε μοντέλου παρά να εστιάζουμε στη γενίκευσή του (Schamp, 1990).

Επίλογος

Η κατάλληλη διδακτική αξιοποίηση των επιστημονικών μοντέλων και το διαδικασιών μοντελοποίησης μπορεί να συμβάλει καθοριστικά στη βελτίωση της μάθησης και της κατανόησης εννοιών και φαινομένων των Φυσικών Επιστημών. Επίσης μπορούν να συμβάλλουν και στην αναδόμηση λανθασμένων προϋπαρχουσών ιδεών των διδασκομένων. Άλλωστε αρκετές μελέτες όπως της Σταυρίδου (Σταυρίδου, 1995), συγκλίνουν προς αυτό το συμπέρασμα, αρκεί πάντα να καθορίζονται αυστηρά τα όρια εγκυρότητας του εκάστοτε μοντέλου.

Βιβλιογραφία

- Σταυρίδου, Ε. (1995). Μοντέλα Φυσικών Επιστημών και διαδικασίες μάθησης. Αθήνα: Σαββάλας.
- Χαλκιά, Κ. (2012). *Διδάσκοντας Φυσικές Επιστήμες*. Αθήνα: Πατάκης.
- Astolfi J. – P., Drouin A. – M. (1992). *La modelisation a l' ecole elementaire*. In J. – L. Martinand, J. – P. Astolfi et al., *Enseignement et apprentissage de la modelisation en sciences*, INRP, 55-117 .
- Coll, R. (2006). *The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching*. In P.J. Aubusson, A.G. Harisson & S.M. Ritchie (eds.) *Metaphor and Analogy in Science Education* (65-77). Springer.
- Drouin, A.-M. (1988). *Le modèle en questions*. ASTER 7, 1-20.
- Gilbert, S.W. (1991). *Model building and a definition of science*. Journal of Research in Science Teaching, 28, 73-79.

Host, V. (1989). *Systemes et modeles: quelques reperes bibliion-graphiques*. ASTER No8, 187-209.

Parkinson, J. (2002). *Reflective Teaching of Science*. London: Continuum.

Schamp, H.W. (1990). *Model misunderstandings: Teach the limitations*. *The Science Teacher*, 57(9), 16-19.

Wittgenstein, L. (1963). *Tractatus logico-philosophicus, with an introduction by Bertand Russell*. London: Kegan Paul, Trench, Trubner.