



## Φύση και λειτουργίες των μοντέλων στη διδασκαλία και στη χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών

**Δεβελάκη Μ.**

Φυσικός, Dr. Phil., Σχολική Σύμβουλος φυσικών επιστημών, develaki@otenet.gr

Οι βασισμένες στα μοντέλα διδακτικές προσεγγίσεις αποτελούν μία βασική κατεύθυνση έρευνας και εφαρμογών στη Διδακτική των Φυσικών επιστημών. Το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο αντλείται από τη φιλοσοφία της επιστήμης. Αναφερόμαστε συνοπτικά σε κάποια βασικά σημεία της μοντελο-θεωρητικής άποψης, καθώς και σε δυνατότητες αξιοποίησής της στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Δίνουμε επίσης μερικά παραδείγματα αξιοποίησης των δυνατοτήτων που δίνουν για την κατανόηση της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων τα σχολικά βιβλία και κυρίως τα εκπαιδευτικά λογισμικά. Θεωρούμε ότι η κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου σημαίνει κατά πολύ την κατανόηση της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων, και από την άποψη αυτή η διδασκαλία με μοντέλα ή/και για τα μοντέλα αφορά και συνεισφέρει σε όλες τις μορφές διδακτικών προσεγγίσεων που υιοθετούνται.

### Εισαγωγή

Η κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου και η άσκηση των μαθητών στον επιστημονικό τρόπο σκέψης ανήκει στους πρωταρχικούς σκοπούς της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Ζητούμενο αποτελεί βέβαια η μετάδοση εύστοχων αντιλήψεων για τη φύση της επιστήμης, για τη διαμόρφωση των οποίων η Διδακτική των φυσικών επιστημών στηρίζεται παραδοσιακά στις θέσεις της φιλοσοφίας. Στη φιλοσοφία της επιστήμης, αναπτύχθηκαν κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα η αντίληψη του κλασσικού και του Λογικού Εμπειρισμού, όπου βασικά η επιστήμη αντιλαμβάνεται να κινείται και να καθορίζεται από την εμπειρία των αισθήσεων και τον κλασσικό πειραματισμό, οι ιστορικο-δυναμικές φιλοσοφικές προσεγγίσεις που αναδεικνύουν τον καθοδηγητικό ρόλο των θεωριών και επισημαίνουν την κοινωνική διάσταση της επιστήμης, και εν συνεχεία, η μοντελο-θεωρητική άποψη που αναδεικνύει τον πρωταγωνιστικό ρόλο των μοντέλων και της μοντελοποίησης στην επιστημονική έρευνα (βλ. π.χ. Suppe 1977, Giere 1999).

Η εξέλιξη αυτή δεν αποτυπώνεται ικανοποιητικά στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών, η οποία στην πράξη, όπως δείχνουν οι σχετικές έρευνες, εξακολουθεί να περιορίζεται σε εμπειριστικές απόψεις και στο ανεπαρκές για να αντιπροσωπεύσει την πολυδιάστατη μέθοδο της σύγχρονης επιστήμης υποθετικο-απαγωγικό μοντέλο του Λογικού Εμπειρισμού (βλ. Δεβελάκη 2007b). Σε επίπεδο πλαισίων σπουδών γίνεται βέβαια αναφορά στα μοντέλα και τη μοντελοποίηση, αν και συχνά, κυρίως στα παλαιότερα, με ελλείψεις, ασάφειες ή και σύγχυση ως προς τη σχετική ορολογία (βλ. Justi & Gilbert 2003, Δεβελάκη 2008). Επίσης και στη Διδακτική των φυσικών επιστημών, η βασισμένη στα μοντέλα διδασκαλία καθώς και ο προβληματισμός για τους τρόπους και τα περιβάλλοντα της αποτελεσματικής προώθησής της (χρήση νέων τεχνολογιών, δημιουργία λογισμικών, επιμόρφωση εκπαιδευτικών κλπ.) αποτελούν μια βασική κατεύθυνση θεωρητικής και εμπειρικής έρευνας. Επιπλέον, η ανάπτυξη και η χρήση εκπαιδευτικών λογισμικών προωθεί και εφαρμόζει στην πράξη τη διδασκαλία βάσει μοντέλων, εφόσον οι σημαντικότερες διδακτικές εφαρμογές τους αποτελούν αναπαραστάσεις επιστημονικών μοντέλων και δραστηριότητες βάσει μοντέλων.

Στην εργασία αυτή αναφερόμαστε αρχικά σε βασικά σημεία της μοντελο-θεωρητικής άποψης που αφορούν το θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση και διδασκαλία των μοντέλων, καθώς και σε δυνατότητες αξιοποίησής της για τη βελτίωση της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών. Επισημαίνουμε μερικά σημεία που θα πρέπει κατά τη γνώμη μας να μεταφέρονται στη διδασκαλία, και που αφορούν συγκεκριμένα τη φύση των μοντέλων (ενδιαφερόμαστε κυρίως για τα θεωρητικά ή μαθηματικά μοντέλα), την κατασκευή, εξέλιξη και τις λειτουργίες των μοντέλων (π.χ. τις προγνωστικές λειτουργίες). Δίνουμε επίσης μερικά παραδείγματα αξιοποίησης των δυνατοτήτων που δίνει προς την κατεύθυνση αυτή η χρήση των εκπαιδευτικών λογισμικών που διατίθενται σήμερα και προωθούνται στα ελληνικά σχολεία.

### 1. Συνοπτική παρουσίαση βασικών σημείων της μοντελο-θεωρητικής άποψης

Τα μοντέλα προκύπτουν με τις λειτουργίες της αφαίρεσης και της εξιδανίκευσης, και αποτελούν κατά κάποιο τρόπο εξιδανικευμένα υποκατάστατα φυσικών αντικειμένων ή και συστημάτων αντικειμένων και των αλληλεπιδράσεών τους (ορίζονται π.χ. ήλιοι με σημειακή μάζα, ομογενή πεδία, η ύπαρξη βαρυτικών μόνο αλληλεπιδράσεων κ.ο.κ., βλ. π.χ. Nola 2004). Τα μοντέλα αποτελούν κατά συνέπεια φανταστικές οντότητες, υποστηρίζεται όμως ότι πετυχαίνουν, μερικές φορές τουλάχιστον, να αναπαριστούν τα πραγματικά συστήματα, ως προς ορισμένες βέβαια μόνο απόψεις και σε ορισμένο βαθμό (Giere 1999, Nola 2004).

Με τα μοντέλα πετυχαίνονται καταρχήν οι απαραίτητες μαθηματικές απλοποιήσεις για την εφαρμογή της θεωρίας στη σύνθετη πραγματικότητα, και αποσκοπείται η περιγραφή και ερμηνεία των φυσικών φαινομένων, κατά τρόπο συμβατό με τη θεωρία και το πείραμα, αλλά και η εξαγωγή προγνώσεων και νέων δεδομένων που οδηγούν σε ανακαλύψεις και νέες εφαρμογές (ερμηνευτικές, προγνωστικές και εφευρητικές λειτουργίες των μοντέλων).

Διακρίνουμε διάφορα είδη μοντέλων ανάλογα με τις λειτουργίες τους και τον τρόπο που παριστάνονται, π.χ. νοητικά, οπτικά (εικόνες, διαγράμματα), θεωρητικά/μαθηματικά, ή φυσικής κλίμακας μοντέλα. Τα πιο βασικά και αποδοτικά είναι τα θεωρητικά ή μαθηματικά μοντέλα, στα οποία κυρίως αναφερόμαστε παρακάτω, επειδή είναι απαραίτητα για την αντιμετώπιση πιο σύνθετων προβλημάτων (π.χ. με μη γραμμική σχέση μεταβλητών, βλ. Grandy 2003), και επειδή από την επεξεργασία της μαθηματικής δομής τους προκύπτουν προγνώσεις ή και νέες ενδιαφέρουσες ιδιότητες και συμπεριφορές, που αναζητούνται, συχνά μέσω τεχνολογικών παρεμβάσεων, και στα φυσικά συστήματα τα οποία αντιπροσωπεύουν. Τα νοητικά και οπτικά μοντέλα θα λέγαμε ότι συνήθως αποτελούν οπτικοποίηση όψεων και ιδεών ενός θεωρητικού μοντέλου, και η δημιουργία τους μπορεί να προηγείται της δημιουργίας του θεωρητικού μοντέλου/θεωρίας (βλ. Nersessian 2005).

Βασιζόμενοι κυρίως στη στρουκτουραλιστική ανάλυση και στη γνωστική προσέγγιση του Giere (1988, 1999), θεωρούμε ότι ένα θεωρητικό ή μαθηματικό μοντέλο μιας θεωρίας είναι κάθε μαθηματική δομή συνόλων στοιχείων, που εκπληρώνει τα αξιώματα της θεωρίας (π.χ.  $F=ma$  για τα μοντέλα της Νευτώνειας Μηχανικής) μαζί με ορισμένες επιπλέον ειδικές μαθηματικές συναρτήσεις (π.χ.  $F=-Dx$  για το μοντέλο του αρμονικού ταλαντωτή). Οι συναρτήσεις αυτές ορίζονται ανάλογα με την τάξη των φυσικών συστημάτων που αποσκοπεί να αναπαραστήσει το μοντέλο και με τις εξιδανικεύσεις που έγιναν για τα συστήματα αυτά κατά τη διαδικασία της μοντελοποίησής τους (Develaki 2007a). Με την περαιτέρω εξειδίκευση των ειδικών συναρτήσεων προκύπτουν νέα μοντέλα για την πιστότερη αναπαράσταση του φαινομένου ή για την αντιπροσώπευση περισσότερων κατηγοριών φαινομένων. Π.χ. από το μοντέλο του αρμονικού ταλαντωτή ( $F=ma$  και  $F=-Dx$ ) προκύπτουν με περαιτέρω εξειδίκευση της συνάρτησης  $F=-Dx$  τα μοντέλα για τις φθίνουσες ή τις εξαναγκασμένες ταλαντώσεις, κ.ο.κ. (Giere, 1988, 1999; βλ. και σχήμα 1). Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν, στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης θεωρίας, σύνολα ή οικογένειες θεωρητικών μοντέλων, όπου τα θεωρητικά



μοντέλα αντιπροσωπεύουν και χειρίζονται μία μόνο συγκεκριμένη τάξη φαινομένων (π.χ. την πτώση των σωμάτων), ενώ μια γενική θεωρία, μέσω των μοντέλων της, ερμηνεύει με ενοποιητικό τρόπο περισσότερες και διαφορετικές τάξεις φαινομένων (π.χ. η κλασική Μηχανική ενοποιεί στην ερμηνευτική της εμβέλεια τις πτώσεις των σωμάτων, τις κινήσεις των εκκρεμών, τις κινήσεις των πλανητών κ.α.)

Κατά τον Giere, οι θεωρίες ουσιαστικά είναι σύνολα μοντέλων, όπου τα αξιώματα της θεωρίας είναι αληθή (ισχύουν απολύτως, εξ ορισμού, μόνο για τα μοντέλα της, όχι όμως με την ίδια ακρίβεια και για τα πραγματικά συστήματα, και υπό την έννοια αυτή δεν αποτελούν συμπαντικούς νόμους, ή φυσικούς νόμους, όπως συνήθως αποκαλούνται (Giere 1999).

Η αποδοχή, βελτίωση ή απόρριψη των μοντέλων βασίζεται σε μια συνεχή διαδικασία αλληλεπίδρασης μεταξύ θεωρητικοποίησης και εμπειρικών ελέγχων, και αποτελεί ένα ξεχωριστό ζήτημα (βλ. π.χ. Nola 2004, Koronen 2007).

## **2. Η μοντελο-θεωρητική άποψη σε διδακτικό πλαίσιο – Διδασκαλία βάσει μοντέλων**

Η μοντελο-θεωρητική άποψη βρίσκει μεγάλη απήχηση στη Διδακτική των φυσικών επιστημών και η διδασκαλία με μοντέλα ή/και για τα μοντέλα αποτελεί μία καθιερωμένη διδακτική προσέγγιση για την οποία υπάρχουν και αναπτύσσονται συγκεκριμένες προτάσεις εφαρμογής και προώθησής της. Αιτιολογούνται οι συνέπειες και οι δυνατότητες συμβολής της μοντελο-θεωρητικής άποψης στην αναθεώρηση των σκοπών της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, στον σχεδιασμό των προγραμμάτων σπουδών, και στην εκπαίδευση και τους ρόλους των εκπαιδευτικών (π.χ. Matthews 1994, Aduriz-Bravo & Izquierdo 2005, Grandy 2003, Develaki 2007a ). Υπάρχουν προτάσεις και προβληματισμός για τη χρήση των μαθηματικών μοντέλων στη φυσική (Grandy 2003), για την καταλληλότητα περισσότερο οπτικοποιημένων ή περισσότερο αφηρημένων μοντέλων ανάλογα με το διδακτέο περιεχόμενο και την ηλικία των μαθητών (π.χ. Fischler & Lichtfeld 1992, Develaki 2007a), και γίνονται επίσης έρευνες των αντιλήψεων των εκπαιδευτικών για τα μοντέλα και τη μοντελοποίηση (π.χ. Justi & Gilbert 2003). Προτείνεται η κατασκευή-εξαγωγή απλών μοντέλων (όπως π.χ. το οπτικό σωματιδιακό μοντέλο, ή το μαθηματικό μοντέλο της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης) από τους ίδιους τους μαθητές, με αφηρητά οικεία σε αυτούς φαινόμενα, ή τη χρήση λογισμικών, και επισημαίνονται οι αλλαγές που συνεπάγεται η διδασκαλία βάσει μοντέλων (π.χ. Halloun 1998, Halloun 2004). Μία εναλλακτική και ενδεχομένως αποδοτικότερη κατά τη γνώμη μας δυνατότητα για τις συνθήκες που επικρατούν στις τελευταίες τάξεις του Λυκείου (συνθετότερα μαθηματικά μοντέλα και περιορισμένος χρόνος για υποχρεωτική διδακτέα ύλη) θα ήταν η διδασκαλία των επιστημονικών μοντέλων από τον εκπαιδευτικό, χωρίς να προηγείται κάθε φορά η κατασκευή-εξαγωγή τους από τους μαθητές. Στην περίπτωση αυτή, τα διδακτέα θέματα (π.χ. ταλαντώσεις, κρούσεις, κύματα) παρουσιάζονται και διδάσκονται ως μοντέλα της νευτώνειας μηχανικής, σε συσχέτιση και σε αντιδιαστολή με τα πραγματικά συστήματα, και με έμφαση εν συνεχεία στην εξάσκηση των φοιτητών με την ερμηνευτική, προγνωστική και εφευρετική λειτουργία των μοντέλων, με την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος και με άλλες παρόμοιες δεξιότητες εφαρμογής και αξιοποίησης των μοντέλων, ώστε να συνειδητοποιείται τελικά, γιατί τα μοντέλα είναι τόσο βασικά στη γνωστική διαδικασία της επιστήμης. Επίσης, για την κατανόηση της φύσης της επιστημονικής μεθόδου υποστηρίζεται η αποτελεσματικότητα της άμεσης διδασκαλίας για τα μοντέλα.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε μερικές προτάσεις (1) για την αξιοποίηση της μοντελο-θεωρητικής άποψης στη διδασκαλία, και (2) για την προώθηση στην τάξη της κατανόησης της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων (επιστημονική μέθοδος).

### 2.1 Συνεκτική διάρθρωση των διδακτέων θεμάτων

Στο σχήμα 1 αξιοποιούμε τη μοντελο-θεωρητική άποψη για τη δόμηση τυπικών διδακτέων θεμάτων, όπως π.χ. οι ευθύγραμμες και καμπυλόγραμμες κινήσεις, οι ταλαντώσεις διαφόρων ειδών κ.λ.π., έτσι ώστε να δίνεται περισσότερο νόημα στην επιστημονική γνώση, και να διευκολύνεται η διδασκαλία και η εκμάθησή της (Δεβελάκη 2006, Develaki 2007a). Τα θέματα παρουσιάζονται ως θεωρητικά μοντέλα της ίδιας θεωρίας, μαζί με τον τρόπο κατασκευής τους και την περιοχή εμπειρικών εφαρμογών τους, με τρόπο ώστε αφενός να συσχετίζονται μεταξύ τους και αφετέρου να αναδεικνύουν τη δομή και την ερμηνευτική εμβέλεια της θεωρίας στην οποία ανήκουν.

**Σχήμα 1:** Διδακτέα θέματα της Φυσικής ως θεωρητικά μοντέλα της νευτώνειας θεωρίας  
 Διδακτέα περιεχόμενα της Φυσικής ως θεωρητικά μοντέλα της Κλασικής Μηχανικής  
 $\Sigma F=ma$  (κοινό για όλα τα μοντέλα)

Εξαγωγή μοντέλου Αξιώματα + ειδικές συναρτήσεις	Θεωρητικό μοντέλο	Εμπειρικές εφαρμογές; προγνώσεις
$\Sigma F = ma$ και:		
$\Sigma F = 0$ Αποσκοπύονται: αντικείμενα με σταθερή ταχύτητα και ευθύγραμμη τροχιά; Εξιδανικεύσεις: υλικά σημεία, π.χ. χωρίς αλληλεπιδράσεις	→ Ευθύγραμμη ομαλή κίνηση ή ακινησία ( $v=ct$ , ή $v=0$ , $x=vt$ )	↔ π.χ. ακίνητα αντικείμενα ή αντικείμενα σε ελεύθερο διαστημικό χώρο
$\Sigma F = k$ Αποσκοπύονται: αντικείμενα με επιτάχυνση σε ευθύγραμμη τροχιά; Εξιδανικεύσεις: υλικά σημεία, π.χ. σε ομογενές βαρυτικό πεδίο	→ <b>Ευθύγρ. ομαλά επιταχ. κίνηση</b> ( $\Delta v=at$ , $\Delta s=v_0t+1/2 at^2$ κ.α.)	↔ π.χ. αντικείμενα που πέφτουν κατακόρυφα ή σε κεκλιμένα επίπεδα
$\Sigma F = k/r^2$ Αποσκοπύονται: αντικείμενα σε καμπύλες τροχιές; Εξιδανικεύσεις: π.χ. 2 υλικά σημεία, με μόνο την αμοιβαία βαρυτική τους δύναμη	→ <b>ομαλή κυκλική (ή ελλειπτ.) κίνηση</b> ( $a_k=v^2/r$ , $T=2\pi R/v$ κλπ.)	↔ π.χ. σύστημα γης-σελήνης, ηλίου-γης κλπ. Προγνώσεις: δορυφόροι, ταχύτητα διαφυγής, νέοι πλανήτες
$\Sigma F = -Dx$ Αποσκοπύονται: ταλαντούμενα φυσικά συστήματα; Εξιδανικεύσεις: υλικά σημεία, έλλειψη τριβών κλπ.	→ <b>Αρμονικός ταλαντωτής</b> ( $s=s_m \sin \omega t$ , κ.α.)  ↓ ↓	↔ φυσικά εκκρεμή, ελατήρια, ράβδοι Προγνώσεις: σταθερή περίοδος, ρολόγια
	<b>φθίνουσα ταλάντωση</b> $F(x,v)=-Dx-F_1(v)$	<b>εξαναγκασμένη ταλάντωση</b> $F(x,t)=-Dx+F_2(t)$
	<b>Φθίνουσα και εξαναγκασμένη ταλάντωση</b> $F(x,v,t) = -Dx -F_1(v) -F_2(t)$ Συζευγμένα, χαστικά εκκρεμή κ.ο.κ.	

#### Παράγωγα μοντέλα

π.χ. Βολές: σύνθεση μοντέλων της ευθύγραμμης και της επιταχυνόμενης κίνησης

Στο σχήμα αυτό συνοψίζονται επιπλέον τα βασικά χαρακτηριστικά των μοντέλων και της μοντελοποίησης: η μαθηματική δομή των θεωρητικών μοντέλων, οι κανόνες κατασκευής τους, οι εφαρμογές και οι προγνώσεις των μοντέλων, η σχέση των μοντέλων με τη θεωρία και τον πραγματικό κόσμο. Το σχήμα μπορεί να εφαρμοστεί για τη διάρθρωση και άλλων περιοχών, π.χ. για θέματα της εισαγωγικής Κβαντομηχανικής (Develaki 2007a).



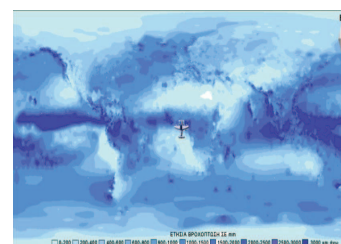
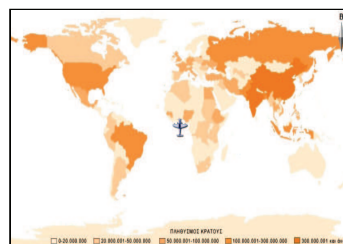
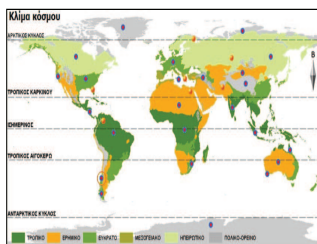


## 2.2 Φύση και λειτουργίες των μοντέλων στη διδασκαλία

Η κατανόηση της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων προτείνεται να γίνεται είτε σε ειδικές για το σκοπό αυτό ενότητες είτε να ενσωματώνεται στη διδασκαλία. Μία συνδυαστική πρόταση είναι, εφόσον έχει προηγηθεί κάποιος σταθμός άμεσης διδασκαλίας για τα μοντέλα, ως θεωρητική βάση για μελλοντικές συσχετίσεις, να προωθείται εν συνεχεία η κατανόηση της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων ενσωματωμένα στη διδασκαλία με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων που δίνουν προς την κατεύθυνση αυτή τα σχολικά βιβλία και κυρίως τα εκπαιδευτικά λογισμικά, κατά τον χειρισμό των διαφόρων διδακτέων θεμάτων. Αναφέρουμε δειγματικά μερικά παραδείγματα:

**Η αναλογία χαρτών και μοντέλων:** Η κατανόηση και η χρήση των χαρτών στη διδασκαλία δίνουν μία πολύ καλή ευκαιρία για την κατανόηση, με αναλογία, της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων και της μοντελοποίησης γενικότερα. Οι ποικίλοι χάρτες (π.χ. σχήμα 2 από το λογισμικό 'Γεωλογία-Γεωγραφία Α-Β γυμνασίου') αντιπροσωπεύουν τον πλανήτη από διαφορετικές απόψεις, π.χ. ως προς την κατανομή της βλάστησης, του κλίματος, της βροχόπτωσης. Σε όλες τις περιπτώσεις οι αντιπροσωπεύσεις είναι αφαιρετικές και εξιδανικευτικές, αντιπροσωπεύονται δηλαδή με εξιδανικευμένο και συμβολικό τρόπο ορισμένα χαρακτηριστικά του πλανήτη και παραλείπονται πολλά άλλα, ενώ οι διαδικασίες αφαίρεσης και εξιδανίκευσης γίνονται ανάλογα με την οπτική προσέγγιση και τα ενδιαφέροντα και τις ανάγκες του κατασκευαστή και των χρηστών των χαρτών.

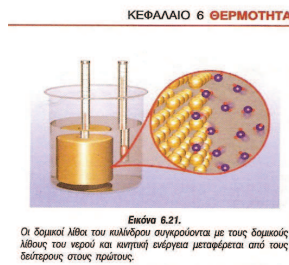
Σχήμα 2: Χάρτες του πλανήτη



Ανάλογη διαδικασία ακολουθείται και στην επιστήμη (επιλέγεται π.χ. η ταχύτητα κατά την κινηματική προσέγγιση των φαινομένων, ενώ αγνοούνται πλήθος άλλων χαρακτηριστικών), αν και στην επιστημονική μοντελοποίηση, οι γνωστικές και μεθοδολογικές διαδικασίες έχουν βέβαια εξελιχθεί και επεκταθεί (Giere 1999) (επιδιώκονται ερμηνείες, εμπειρικοί έλεγχοι των μοντέλων, εξαγωγή προγνώσεων κ.α.).

**Αντιπαράθεση μοντέλων και πραγματικών συστημάτων:** Στη διδασκαλία με μοντέλα, ή και για τα μοντέλα, η παρουσίαση και η χρήση των μοντέλων μιας θεωρίας θα πρέπει να γίνεται σε συσχέτιση και αντιδιαστολή με τα πραγματικά συστήματα που αναπαριστούν τα μοντέλα. Ένα καλό μοντέλο θα πρέπει να αναπαράγει καταστάσεις ανάλογες με αυτές που παρατηρούνται στο φυσικό κόσμο (ερμηνεία), δεν ταυτίζεται όμως, ούτε αποτελεί αντικαθρεπτισμό ή αναλογία του πραγματικού συστήματος που εκπροσωπεί.

Σχήμα 3: Παραστάσεις σωματιδιακών μοντέλων

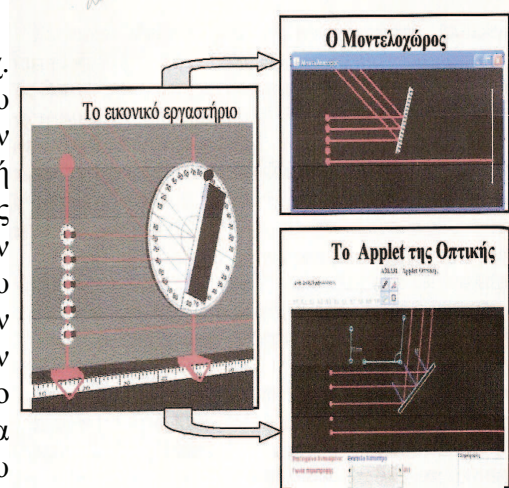


Κατά την παρουσίαση και τη χρήση τους, θα πρέπει να επισημαίνεται ότι οι εξισώσεις αποτελούν θεωρητικά μοντέλα, ότι δηλαδή ισχύουν για εξιδανικευμένες εκδοχές των φυσικών συστημάτων, όπως αυτές ορίστηκαν κατά τη μοντελοποίηση. Κυρίως κατά τη χρήση εικόνων (π.χ. στο σχήμα 3 από το βιβλίο Φυσικής Β Γυμνασίου και από το λογισμικό ‘Φυσική Β-Γ Γυμνασίου’), θα πρέπει να επισημαίνεται και να διευκρινίζεται η διαφορά αλλά και η σχέση μεταξύ μοντέλου και πραγματικού συστήματος. Π.χ. τα σωματιδιακά μοντέλα των εικόνων δεν απεικονίζουν το εσωτερικό των σωμάτων, δίνουν καταρχήν μια επιτυχημένη πρόταση για την ερμηνεία της συμπεριφορά τους.

Ο προβληματισμός αυτός λαμβάνεται υπόψη π.χ. στο σχεδιασμό του εικονικού εργαστηρίου Γεωμετρικής Οπτικής (optilab, σχήμα 4), όπου στον εικονικό ‘πειραματισμό’ αντιπαρατίθεται η οπτική παράσταση των επιστημόνων για το μοντέλο της γεωμετρικής οπτικής (βλ. Ψύλλος 2007), δίνοντας την ευκαιρία για συζήτηση της διαφοράς μεταξύ μοντέλου και φαινομένου. Οι μαθητές μπορούν να κάνουν αλλαγές στο εικονικό ‘πείραμα’ και να παρατηρούν συγχρόνως τις αντίστοιχες αλλαγές που δίνει το μοντέλο, και που ισχύουν βέβαια απολύτως μόνο για την εξιδανικευμένη εκδοχή της ανάκλασης που εκπροσωπεί το μοντέλο.

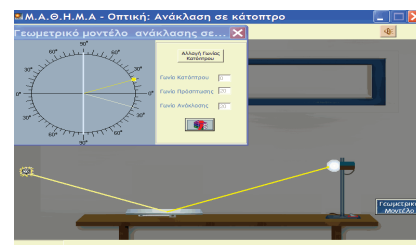
Σύγκριση μοντέλου και φαινομένου γίνεται επίσης στο λογισμικό ΜΑΘΗΜΑ. Δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης εικονικού πειραματισμού (π.χ. με αλλαγή γωνιών πρόσπτωσης) με τα δεδομένα που δίνει το μοντέλο για την περίπτωση βέβαια της εξιδανικευμένης ανάκλασης Αντίστροφα, από τα δεδομένα του μοντέλου σε πίνακες, οι μαθητές μπορούν να οδηγηθούν στη διατύπωση απλών μαθηματικών μοντέλων (π.χ.  $\theta_{\alpha} = \theta_{\pi}$ )

Σχήμα 4: Μοντέλο και φαινόμενο



Σχήμα 5. Διασύνδεση κόσμου και μοντέλων στη μελέτη της ανάκλασης

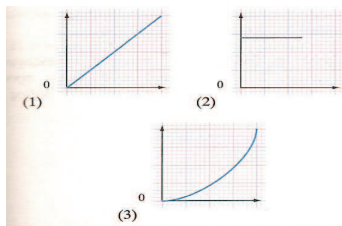
Σχήμα 5: ‘Πειραματισμός’ και μοντέλο



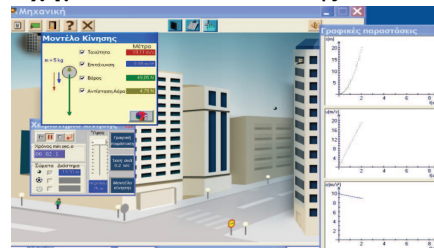


*Εξέλιξη/βελτίωση των μοντέλων - Συνόπαρξη πολλαπλών μοντέλων:* Όπως προαναφέραμε, εξειδικεύοντας οι επιστήμονες τη θεωρητική δομή της θεωρίας με την προσθήκη επιπλέον συναρτήσεων, δημιουργούν επιπλέον μοντέλα, που είτε αντιπροσωπεύουν πιστότερα το ίδιο φαινόμενο είτε αντιπροσωπεύουν νέες κατηγορίες φαινομένων. Η θέση αυτή αντανακλάται στις παραστάσεις των λογισμικών και δίνεται έτσι η ευκαιρία για σχετική συζήτηση.

Στο σχήμα 6 δίνονται διαγραμματικές παραστάσεις για το τελείως εξιδανικευμένο μοντέλο της ελεύθερης πτώσης ( $F=w$ ), και για ένα λιγότερο εξιδανικευμένο μοντέλο (από το λογισμικό ΜΑΘΗΜΑ) που λαμβάνει υπόψη την αντίσταση του αέρα κατά την πτώση των σωμάτων ( $F = w + F(v)$ ). Τα μοντέλα για τη δεύτερη περίπτωση θα μπορούσαν να είναι περισσότερα, ανάλογα με τη μορφή της συνάρτησης  $F(v)$  για την αντίσταση του αέρα.

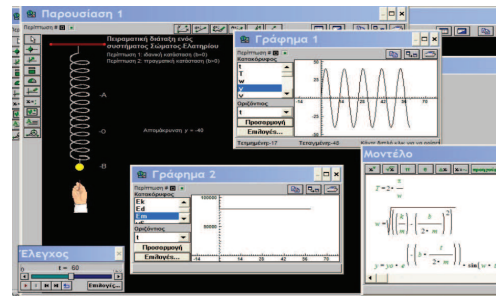
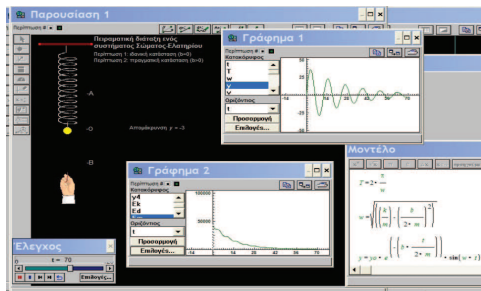


Σχήμα 6: Μοντέλο πτώσης στον αέρα



Στο σχήμα 7 δίνονται παραστάσεις του λογισμικού MODELLUS για τις αρμονικές και τις φθίνουσες ταλαντώσεις (παρόμοια δυνατότητα και για τις εξαναγκασμένες κλπ. ταλαντώσεις) που προκύπτουν με την εισαγωγή της μαθηματικής δομής των αντίστοιχων μοντέλων.

Σχήμα 7: Παραστάσεις μοντέλων αρμονικής και φθίνουσας ταλάντωσης

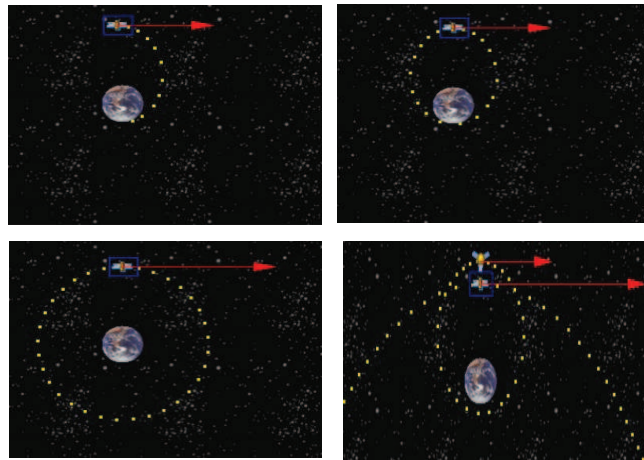
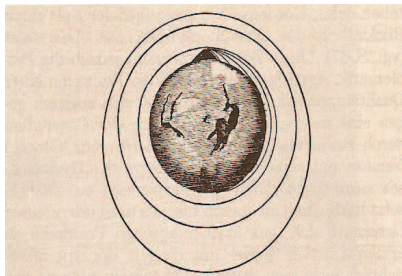


**Οι προγνωστικές λειτουργίες των μοντέλων:** Η εξάσκηση των μαθητών με τις ερμηνευτικές, και κυρίως τις προγνωστικές λειτουργίες των μοντέλων τους βοηθά να κατανοήσουν γιατί τα μοντέλα είναι τόσο βασικά για την επιστημονική έρευνα. (Στην παρούσα εργασία ενδιαφερόμαστε για τις προγνωστικές λειτουργίες.) Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι προβλέψεις της νευτώνειας βαρυτικής θεωρίας, όπως ο υπολογισμός της ταχύτητας διαφυγής από τη γη, οι μάζες των πλανητών κ.α., αλλά και η πρόβλεψη για τη δυνατότητα τεχνητών δορυφόρων ήδη από τον ίδιο τον Newton. Δυνατότητες συζήτησης για το θέμα δίνουν οι προσομοιώσεις π.χ. του λογισμικού ΓΑΙΑ II (σχήμα 8).





**Σχήμα 8:** Προσομοιώσεις βάσει του νευτώνειου βαρυτικού μοντέλου



### Σύνοψη

Στη συγκεκριμένη εργασία αναφερθήκαμε συνοπτικά σε βασικά σημεία της μοντελο-θεωρητικής άποψης της σύγχρονης φιλοσοφίας της επιστήμης, καθώς και σε δυνατότητες αξιοποίησης της στη διδασκαλία, π.χ. για τη συστηματοποίηση και νοηματοδότηση των μαθησιακών αντικειμένων και για την κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου. Δώσαμε δειγματικά μερικά παραδείγματα αξιοποίησης των ευκαιριών που δίνουν για την κατανόηση της φύσης και των λειτουργιών των μοντέλων τα σχολικά βιβλία και κυρίως τα εκπαιδευτικά λογισμικά.

Πυρήνα της επιστημονικής έρευνας, σήμερα επιπλέον με την εκτεταμένη χρήση των υπολογιστών, αποτελεί η συνεχής δημιουργία, εφαρμογή και βελτίωση ή αναθεώρηση μοντέλων. Κατ' αναλογία, οι πρωταρχικοί σκοποί της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, η απόκτηση επιστημονικών γνώσεων και δεξιοτήτων, και η κατανόηση της φύσης της επιστήμης, παραπέμπουν αναγκαία στο θέμα των μοντέλων και της μοντελοποίησης. Από την άποψη αυτή, η διδασκαλία με μοντέλα και κυρίως η διδασκαλία για τα μοντέλα θεωρούμε ότι εμπλέκεται και συνεισφέρει σε όλες τις μορφές διδακτικών προσεγγίσεων που υιοθετούνται. Αλλά και πέραν αυτού, συνεισφέρει στην επαγγελματική ανάπτυξη των εκπαιδευτικών και στη μετάδοση εύστοχων αντιλήψεων για τη φύση της επιστημονικής μεθόδου στα πλαίσια του επιστημονικού εγγραμματισμού.

### Βιβλιογραφία

Δεβελάκη, Μ. (2006). 'Διάρθρωση περιεχομένων της Φυσικής υπό το πρίσμα της μοντελο-θεωρητικής άποψης'. Πρακτικά του 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου της Ε.ΔΙ.Φ.Ε., Βόλος, Απρίλιος 2006, εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, σελ. 579-586.

Δεβελάκη Μ. (2007b). 'Η συν-θεώρηση των γνωστικών, επιστημολογικών και κοινωνικών παραμέτρων της επιστήμης στη διευρυμένη φιλοσοφική αντίληψη για την επιστημονική μέθοδο και οι συνέπειές της στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών'. Πρακτικά του 4<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου 'Ιστορία, Φιλοσοφία και Διδασκαλία των Φυσικών επιστημών, Πάτρα, Οκτώβριος 2007, εκδ. Ωθηση, σελ. 197-208.

Δεβελάκη, Μ. (2008). 'Η Διεπιστημονικότητα/διαθεματικότητα και η φύση της επιστημονικής μεθόδου στα πλαίσια σπουδών και στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών'. Πρακτικά του 4<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου της Ε.ΔΙ.Φ.Ε., Θεσσαλονίκη, 9-11 Μαΐου 2008, εκδ. Χριστοδουλίδη, σελ. 193-199.





- Ψύλλος, Δ. (2007). Μοντέλα και κόσμοι στους εικονικούς χώρους. Πρακτικά του 5<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου 'Διδακτική Φυσικών Επιστημών και νέες τεχνολογίες', Ιωάννινα, 15-18 Μαρτίου, εκδ. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Utilizing the '3P-model' to Characterize the Discipline of Didactics of Science. *Science & Education*, 14(1), 29-41
- Develaki, M. (2007a). The Model-Based View of Scientific Theorie and the Structuring of School Science Programmes. *Science & Education*, Special Issue. Models in Science and in Science Education, 16/6-7, 725-749
- Fischler, H. & Lichtfeld, M. (1992). Modern Physics and Student's Concepts. *International Journal of Science Education*, 14, 181-190
- Giere, R. N. (1988). *Explaining Science. A Cognitive Approach*, Chicago, University of Chicago Press
- Gierre, R. N. (1999). *Science without Laws*. Chicago, University of Chicago Press
- Grandy R. E. (2003). What Are Models and Why Do We Need Them?, *Science & Education*, 12(8), 773-777
- Halloun I. A. (1998). Interactive Model-Based Education: An Alternative to Outcomes-Based Education in Physics, *South African journal of Science*, 94, 1-14
- Halloun, I. A. (2004). *Modelling Theory in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Izquierdo, M. & Adúriz-Bravo, A. (2001). Contributions of the Cognitive Model of Science to Didactics of Science, Fifth International Conference of the IHPST Group, Denver, 1-11
- Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1369-1386
- Koponen, I. T. (2007). Models and Modeling in Physics Education: A critical Re-analysis of Philosophical Underpinnings and Suggestions for revisions. *Science & Education*, 16 (6-7), 751-773
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching*. Routledge, New York-London
- Nersessian, N. (2005), How science works, *NSF Inquiry Conference Proceedings*, <http://www.ruf.rice.edu/~rgrandy/NSFConSced.html>.
- Nola, R. (2004). Pendula, Models, Constructivism and Reality. *Science & Education* 13 (4-5), 349-377
- Suppe, F. (1977). *The Structure of Scientific Theories*. 2nd Ed., Urbana: University of Illinois Press
- Suppe, F. (1977). *The Structure of Scientific Theories*. 2nd Ed., Urbana: University of Illinois Press.