

## **Μετρήσεις, Ανάλυση Δεδομένων και Μαθηματική Μοντελοποίηση - Μια εργαστηριακή πρόταση για μελλοντικούς εκπαιδευτικούς**

**Ευριπίδης Χατζηκρανιώτης, Μαρία Τσακίρη**  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/κης, Τμήμα Φυσικής  
evris@physics.auth.gr

**Περίληψη.** Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών υπάρχει συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον και διαρκής έρευνα όσον αφορά την κατανόηση εκ μέρους των εκπαιδευτικών του κεντρικού ρόλου των μοντέλων στη διδασκαλία της Φυσικής καθώς και των προθέσεων τους σχετικά με τη χρήση δραστηριοτήτων μοντελοποίησης στη διάρκεια της διδασκαλίας τους. Σε αυτήν την εργασία παρουσιάζουμε το σχεδιασμό σειράς μαθημάτων που προσφέρεται σε μελλοντικούς διδάσκοντες Φυσικής, που εισάγει τους φοιτητές-εκπαιδευτικούς στους τρόπους χρήσης και ενσωμάτωσης σύγχρονων εργαλείων ΤΠΕ (μέτρηση/συλλογή δεδομένων, προηγμένη ανάλυση δεδομένων και τεχνικές μοντελοποίησης) στη διδασκαλία της φυσικής. Παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα εφαρμογής της σειράς μαθημάτων στους τελειόφοιτους φοιτητές Φυσικής.

### **Εισαγωγή**

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον να ερευνηθεί η κατανόηση των δασκάλων γύρω από τον κεντρικό ρόλο των μοντέλων στη διδακτική της Φυσικής και γύρω από τις προθέσεις τους ως προς τη χρήση τους στην διδακτική διαδικασία (VanDriel 2002, Redfors 2003, Sperandeo-Mineo 2003, Crawford 2004). Σειρά μελετών έχουν αναδείξει τη σημασία της εκπαίδευσης μελλοντικών δασκάλων στην υλοποίηση δραστηριοτήτων μοντελοποίησης, με αποτέλεσμα την βελτίωση των πεποιθήσεών τους και των ικανοτήτων τους στη χρήση των μοντέλων κατά την διάρκεια της διδασκαλίας (Hestenes 1996, Justi 2002, Wells 1995).

Λαμβάνοντας αυτό υπόψη, σχεδιάστηκε, στο τμήμα Φυσικής ΑΠΘ, μια εργαστηριακή σειρά μαθημάτων που εισάγει τους σπουδαστές στους τρόπους και τα σύγχρονα εργαλεία ΤΠΕ στη διδασκαλία της Φυσικής. Οι φοιτητές-μελλοντικοί καθηγητές, εισήχθησαν συστηματικά στην εφαρμογή των τεχνικών MBL και βίντεο-μέτρησης (VBL) για συλλογή δεδομένων, στην προηγμένη ανάλυση δεδομένων καθώς και στις διαδικασίες μαθηματικής μοντελοποίησης για την περιγραφή, την επεξεργασία και την εξήγηση των πειραματικών στοιχείων τους. Κατόπιν, μετά την παραπάνω θεωρητική εισαγωγή-παρουσίαση, ανατέθηκε στους φοιτητές να σχεδιάσουν, να υλοποιήσουν και να παρουσιάσουν μια πλήρη μελέτη επιλεγμένων φαινομένων από τη Γενική Φυσική, εφαρμόζοντας εργαλεία και τεχνικές των ΤΠΕ, από τις μετρήσεις και την ανάλυση των δεδομένων ως τη δημιουργία του μοντέλου που περιγράφει το φαινόμενο και το συσχετισμό αυτού του μοντέλου με τα πειραματικά δεδομένα. Όλοι κλήθηκαν να δουλέψουν με φαινόμενα που ήξεραν ήδη καλά, προσπαθώντας να διαμορφώσουν τους τρόπους καλύτερης ερμηνείας τους και παρουσιάσής τους στην τάξη.

Πολλές δημοσιεύσεις έχουν προτείνει την αποτελεσματικότητα της ανεξάρτητης χρήσης των μετρήσεων με MBL (Thornton 1999), της συλλογής δεδομένων με VBL (Beichner 1999), της ανάλυσης δεδομένων (Ryder 2000, Rogers 2001) και της μοντελοποίησης (Wells 1995, Hestenes 1996, Justi 2002, Redfors 2003, Crawford 2004) και

έχουν αναδείξει τις ιδέες διδασκόντων και φοιτητών σχετικά με τη χρήση αυτών των διαδικασιών στη διδασκαλία (VanDriel 2002, Justi 2002, Sperandeo-Mineo 2003). Πρόσφατες εργασίες έχουν παρουσιάσει την προστιθέμενη αξία που προκύπτει από τη συνδυασμένη χρήση των μετρήσεων και της μοντελοποίησης στη διδασκαλία (Schecker, 1998).

Στην παρούσα εργασία επεκτείνουμε το σχήμα μετρήσεις-μοντελοποίηση, εισάγοντας ως ενδιάμεσο βήμα την ανάλυση δεδομένων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται ο σχεδιασμός της ολοκληρωμένης σειράς εργαστηριακών μαθημάτων και η υλοποίηση της σε φοιτητές του Τμήματος Φυσικής, μελλοντικούς εκπαιδευτικούς, και συζητούμε τα αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής.

## Περιγραφή της έρευνας

Σκοπός της μελέτης ήταν να ερευνήσουμε αν οι φοιτητές-μελλοντικοί εκπαιδευτικοί μπορούν:

- να ολοκληρώσουν εργαστηριακές ασκήσεις που συνδυάζουν το πείραμα με την ανάλυση δεδομένων και τη μαθηματική μοντελοποίηση
- να κατασκευάσουν μοντέλα, να συσχετίσουν τα θεωρητικά αποτελέσματα με τα πειραματικά δεδομένα και να κάνουν μικρές διορθώσεις στο αρχικά προταθέν μοντέλο
- να κάνουν σαφή διάκριση ανάμεσα στην ανάλυση δεδομένων και τη μαθηματική μοντελοποίηση

Όσον αφορά τις δύο διαφορετικές τεχνικές μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της έρευνας (MBL – VBL), θέλαμε να διαπιστώσουμε ποια από τις δύο είναι:

- καταλληλότερη για την εισαγωγή στη μοντελοποίηση
- αποτελεσματικότερη στη βαθύτερη κατανόηση των φαινομένων

Δεδομένου ότι η "ανάλυση δεδομένων" μπορεί να θεωρηθεί ως "μοντελοποίηση", πρέπει να διαφοροποιήσουμε σε αυτό το σημείο το περιεχόμενο που δίνεται στους δύο όρους στην παρούσα εργασία. Με τον όρο "ανάλυση δεδομένων" αναφερόμαστε στη διαδικασία της συστηματικής εφαρμογής μαθηματικών εργαλείων (πίνακες, διαγράμματα, γραφικές παραστάσεις) και συναρτήσεων (fitting καμπύλης, συσχέτιση καμπύλης) για την οργάνωση και την εξέταση των πειραματικών δεδομένων (Rogers 2001). Ενώ με τον όρο "μαθηματική μοντελοποίηση" (numerical modeling) αναφερόμαστε στη διαδικασία δημιουργίας ενός μοντέλου που περιγράφει, εξηγεί και προβλέπει το πραγματικό υπό εξέταση φαινόμενο. Με το μοντέλο αυτό αναπαρίσταται η συμπεριφορά του φαινομένου καθώς λαμβάνονται υπ' όψιν κατά την δημιουργία του όλες οι ιδιότητες και οι αλληλεπιδράσεις του με το περιβάλλον (Schecker 1998, Treagust 2002, Etkina 2006). Για τη δημιουργία τέτοιων μοντέλων οι φοιτητές κάνουν χρήση θεμελιωδών εννοιών και νόμων της φυσικής που χαρακτηρίζονται με ποσοτικές σχέσεις οι παράμετροι των οποίων καθορίζονται πειραματικά. Για παράδειγμα, για το φαινόμενο της επιταχυνόμενης κίνησης, η διαδικασία της ανάλυσης δεδομένων προβλέπει την προσαρμογή των πειραματικών τιμών με μια εξίσωση 2<sup>ου</sup> βαθμού, και την απόδοση των συντελεστών που προσδιορίζονται στην αρχική θέση ( $s_0$ ) την ταχύτητα ( $v$ ) και την επιτάχυνση ( $\gamma$ ), όπως σχηματικά παρουσιάζεται στην εικόνα 1.

$$\begin{array}{ccc}
 y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 & \text{Αρχικές τιμές} & S_0, V_0, F, m \\
 \downarrow \quad \updownarrow \quad \updownarrow \quad \downarrow & & \\
 s = s_0 + v \cdot t + \frac{1}{2} \gamma \cdot t^2 & \text{επαναλαμβανόμενες πράξεις} & \left\{ \begin{array}{l} a = F / m \\ v \leftarrow v + a \cdot dt \\ s \leftarrow s + v \cdot dt \end{array} \right.
 \end{array}$$

(α)

(β)

**Εικόνα 1:** η διαδικασία ανάλυσης δεδομένων (α) και μαθηματικής μοντελοποίησης (β)

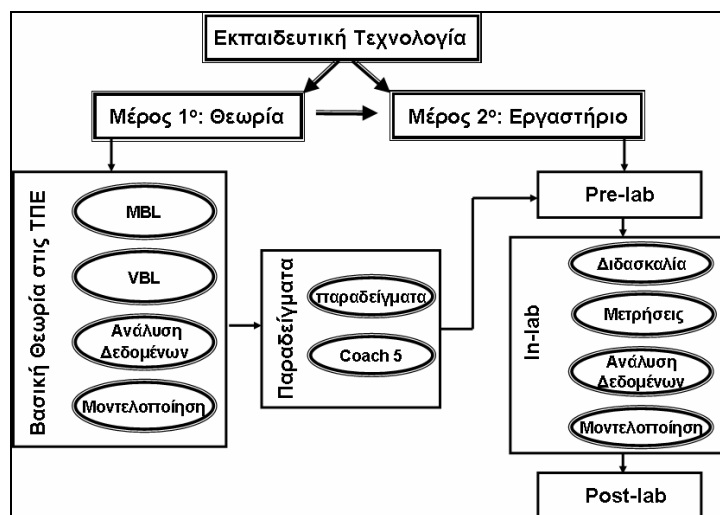
Αντίθετα, η διαδικασία της μαθηματικής μοντελοποίησης προβλέπει τη σύνθεση ενός μοντέλου κίνησης με βάση τους νόμους του Νεύτωνα ( $\mathbf{a}=\mathbf{F}/\mathbf{m}$ ) και τις σχέσεις ορισμού της ταχύτητας και της επιτάχυνσης. Το μοντέλο της κίνησης προσδιορίζεται από τις αρχικές τιμές των παραμέτρων ( $S_0, V_0, F, m$ ) και δημιουργείται από επαναλαμβανόμενες πράξεις, όπου σε κάθε βήμα χρόνου ( $dt$ ) επαναπροσδιορίζεται η νέα τιμή της ταχύτητας και της θέσης.

### Περιγραφή της διδακτικής σειράς

Το μάθημα όπου εφαρμόζεται αυτή η διδακτική σειρά απευθύνεται σε τελειόφοιτους του Τμήματος Φυσικής, Α.Π.Θ., μελλοντικούς καθηγητές Φυσικής (N=24) που ήταν μεν εξοικειωμένοι με τους υπολογιστές αλλά δεν είχαν καθόλου πρότερη εμπειρία στη χρήση των ΤΠΕ στη διδασκαλία. Είχε συνολική διάρκεια 12 εβδομάδες (εαρινό εξάμηνο), γίνονταν ένα εβδομαδιαίο μάθημα τρίωρης διάρκειας και ήταν διηρημένη σε 2 μέρη, το θεωρητικό και το εργαστηριακό, διάρκειας έξι εβδομάδων το καθένα. Και τα δύο αυτά τμήματα περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω (εικόνα 2).

Κατά τη διάρκεια των πρώτων έξι εβδομάδων οι φοιτητές παρακολουθούν μια σειρά θεωρητικών μαθημάτων που τους εισάγουν στα εργαλεία και τις τεχνικές της σύγχρονης Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας και τις μεθόδους αποτελεσματικής εφαρμογής τους στη διδασκαλία της Φυσικής. Το Θεωρητικό μέρος χωρίζεται περαιτέρω σε δύο επιμέρους τμήματα. Στο πρώτο εξ αυτών (4 εβδομάδες) δίνεται έμφαση στο βασικό θεωρητικό πλαίσιο και στα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για συλλογή δεδομένων με MBL, μετρήσεις με VBL, ανάλυση δεδομένων και μαθηματική (αριθμητική) μοντελοποίηση

Στο δεύτερο επιμέρους τμήμα (2 εβδομάδες) παρουσιάζονται στους φοιτητές αναλυτικά παραδείγματα των παραπάνω εργαλείων και εισάγονται λεπτομερώς στην χρήση του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος Coach 5. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει επιλεγεί διότι είναι απλό και φιλικό στον χρήστη και επιτρέπει τον συνδυασμό συλλογής δεδομένων με αισθητήρες ή βίντεο-μετρήσεων με ανάλυση δεδομένων και μαθηματική μοντελοποίηση σε πραγματικές πειραματικές συνθήκες (Rogers 2003).



Εικόνα 2: Ο σχεδιασμός της σειράς

Το δεύτερο μέρος της διδακτικής σειράς (εργαστηριακό μέρος), συνολικής διάρκειας έξι εβδομάδων επίσης, επιμερίζεται σε τρεις φάσεις: “pre-lab” (“προ-εργαστήριο” - 1 εβδομάδα), “in-lab” (“εργαστήριο” - 4 εβδομάδες) και “post-lab” (“μετα-εργαστήριο” - 1 εβδομάδα). Κατά τη διάρκεια της πρώτης εβδομάδας (pre-lab) οι φοιτητές χωρίστηκαν σε

ομάδες των δύο και επέλεξαν ένα θέμα δουλειάς από ένα σύνολο προταθέντων θεμάτων που μπορούσαν να δουλευτούν είτε με MBL ή με VBL τεχνική. Τα θέματα κάλυπταν τις θεματικές περιοχές της μηχανικής, των θερμικά φαινομένων και του ηλεκτρισμού (για MBL) και της κινηματικής (για MBL και για VBL). Το διδακτικό υλικό προετοιμάστηκε και διανεμήθηκε στις ομάδες κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, και τους διατέθηκε σε cd αλλά και μέσω της ιστοσελίδας του μαθήματος.

Κατά τη διάρκεια της φάσης “in-lab”, η κάθε ομάδα παρακολούθησε ένα σεμινάριο-εξάσκηση στη λειτουργία και χρήση του λογισμικού Coach 5 και του αναγκαίου εργαστηριακού εξοπλισμού (1 εβδομάδα). Στις επόμενες 3 εβδομάδες, οι φοιτητές δουλεύοντας μόνοι στις ομάδες τους έπρεπε να:

- οργανώσουν και να υλοποιήσουν από την αρχή ένα πείραμα συγχρονικής καταγραφής δεδομένων (MBL) ή να επιλέξουν το κατάλληλο βίντεο (VBL) από μια συλλογή 150 διαθέσιμων (επιστημονική σειρά Pasco).
- προετοιμάσουν την ηλεκτρονική δραστηριότητα που θα τους επέτρεπε να συλλέξουν τα πειραματικά τους δεδομένα (μετρήσεις).
- αναλύσουν τα δεδομένα που συνέλεξαν (fitting καμπύλης).
- χτίσουν το δικό τους μοντέλο για να περιγράψουν το φαινόμενο.

Κατά τη διάρκεια της φάσης “post-lab”, ζητήθηκε από τους φοιτητές να προτείνουν τρόπους ενσωμάτωσης όλης αυτής της διαδικασίας στη διδασκαλία στην τάξη {μαθησιακός τύπος 2 κατά τον Stratford (Stratford, 1996)}, να ετοιμάσουν μια τυπική εργαστηριακή αναφορά από το σύνολο της εργασίας τους και να την παρουσιάσουν τελικά στο ακροατήριο.

### Εφαρμογή της σειράς μαθημάτων

Ο σχεδιασμός του μαθήματος προέβλεπε την επί τέσσερις εβδομάδες, τετράωρη κάθε φορά, απασχόληση κάθε ομάδας στο Εργαστήριο Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του Τμήματος Φυσικής. Στην αρχή της πρώτης συνόδου οι ομάδες συνεργάστηκαν με έναν εργαστηριακό βοηθό (ένας εκ των συγγραφέων) που τους έδωσε ένα πολύ λεπτομερές σεμινάριο-εξάσκηση στη χρήση του λογισμικού και του υλικού. Μετά από την πρώτη αυτή διδακτική σύνοδο οι φοιτητές εργάστηκαν μόνοι στις ομάδες τους αλλά ο βοηθός ήταν παρών κατά τη διάρκεια μεγαλύτερου μέρους της εργασίας τους, συζήτησε μαζί τους και τους βοήθησε σε οποιαδήποτε ζητήματα προέκυψαν σχετικά με τη Φυσική του θέματος, την πειραματική διαδικασία ή ότι άλλο. Όλες οι σύνοδοι καταγράφηκαν ηχητικά.

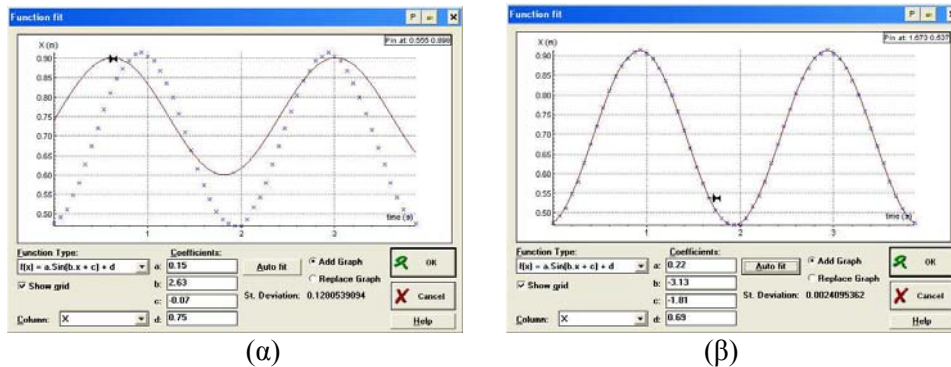
Τα δεδομένα της έρευνας συλλέχθηκαν από την ηχητική καταγραφή των συνόδων με όλες τις ομάδες καθώς και από τις επιτόπου σημειώσεις κατά τη διάρκεια των συνόδων. Πρόσθετες πηγές ερευνητικών δεδομένων αποτέλεσαν οι γραπτές αναφορές των ομάδων και οι τελικές παρουσιάσεις στο ακροατήριο.

### Αποτελέσματα και συζήτηση

Οι φοιτητές-μελλοντικοί εκπαιδευτικοί που παρακολούθησαν τη σειρά των μαθημάτων, είχαν τη αναμενόμενη για τελειόφοιτους φοιτητές του Τμήματος Φυσικής βασική θεωρητική γνώση. Όσον αφορά την εργασία τους κατά τη διάρκεια της φάσης του “προ-εργαστηρίου”, μελέτησαν το διδακτικό υλικό που τους διανεμήθηκε και προετοίμασαν ένα προσχέδιο του MBL-πειράματός τους ή επέλεξαν το καταλληλότερο βίντεο για τις δραστηριότητες VBL.

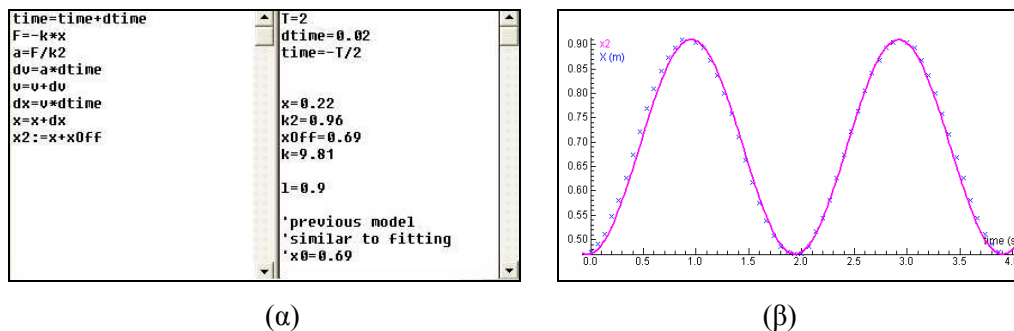
Κατά τη διάρκεια της κύριας εργαστηριακής φάσης (“in-lab”), όλες οι ομάδες (MBL και VBL) ολοκλήρωσαν το πρώτο μέρος της πειραματικής διαδικασίας (λήψη μετρήσεων και ανάλυση δεδομένων - fitting καμπύλης) χωρίς να αντιμετωπίσουν κανένα πρόβλημα (εικόνα 3). Οι φοιτητές πέρασαν εύκολα από τα Μαθηματικά στη Φυσική αντιστοιχώντας τους συντελεστές της συνάρτησης που περιέγραψε θεωρητικά την καμπύλη της πειραματικής

γραφικής παράστασης με τα φυσικά μεγέθη της εξίσωσης στην οποία υπακούει το φαινόμενο, που βέβαια ήταν λίγο ως πολύ αναμενόμενο από τελειόφοιτους του Τμήματος Φυσικής



**Εικόνα 3:** Ανάλυση Δεδομένων με το Coach 5: το παράθυρο fitting - αρχικό (α) και τελικό βήμα (β)

Όσον αφορά στη διαδικασία μαθηματικής μοντελοποίησης, οι φοιτητές κατά την πρώτη τους προσέγγιση στο πρόβλημα δημιούργησαν μάλλον ένα μοντέλο υπολογισμού βάσει της "τελικής εξίσωσης" (final equation) αντί του μοντέλου υπολογισμού από τις βασικές αρχές (first-principle). Για παράδειγμα στην επιταχυνόμενη κίνηση δημιούργησαν ένα μοντέλο που έκανε υπολογισμούς με την εξίσωση  $s = s_0 + v \cdot t + \frac{1}{2} \gamma \cdot t^2$ , αντί να υπολογίζει στηριγμένο στις βασικές αρχές, δηλαδή ότι η ταχύτητα είναι αποτέλεσμα της επιτάχυνσης, η μετατόπιση είναι αποτέλεσμα της ταχύτητας (βλ. εικόνα 1). Χρειάστηκε μακρά συζήτηση με τον εργαστηριακό βοηθό και κάποιες ανεπιτυχείς προσπάθειες ώσπου να κατανοήσουν οι φοιτητές ότι η μοντελοποίηση που στηρίζεται στις βασικές αρχές (first-principle modeling) δεν είναι το fitting μιας καμπύλης αλλά η δημιουργία και η επίλυση μιας σειράς θεμελιωδών εξισώσεων ώστε να προβλεφθεί και να περιγραφεί η συμπεριφορά ενός συστήματος (Jackson, 1996; Schecker, 1998).

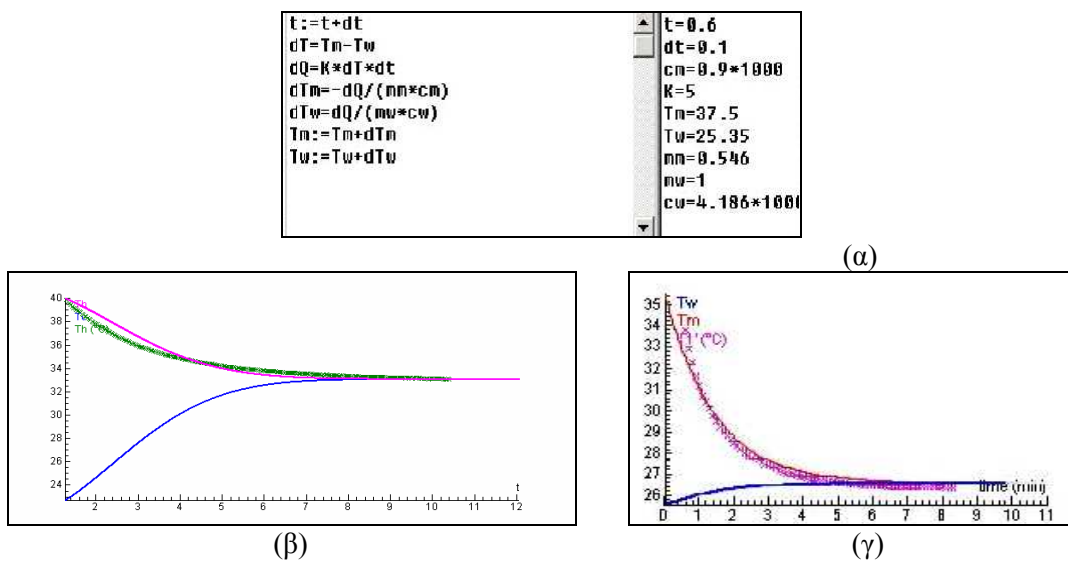


**Εικόνα 4:** Μοντελοποίηση με το Coach 5 (εκκρεμές, δραστηριότητα VBL):  
 (α) το μοντέλο που δημιούργησαν οι φοιτητές  
 (β) θεωρητική (συνεχής γραμμή) και πειραματική καμπύλη (σταυροί)

Οι απόψεις των του συνόλου φοιτητών σχετικά με τις δυο διαδικασίες μοντελοποίησης (ανάλυση δεδομένων και μαθηματική μοντελοποίηση) παρουσιάζονται κωδικοποιημένες στον Πίνακα Ι, συγκριτικά πριν και μετά το εργαστήριο. Όπως φαίνεται από τις απαντήσεις τους στον Πίνακα Ι, οι φοιτητές μετά το εργαστήριο είναι σε θέση να διακρίνουν τις δυο διεργασίες μοντελοποίησης, και να αποδώσουν το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

## Σύγκριση ομάδων MBL-VBL

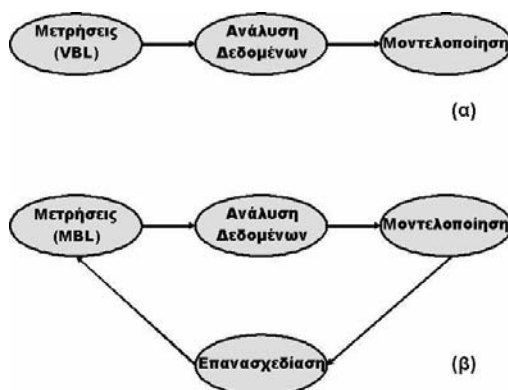
Όλες οι ομάδες-VBL εκτέλεσαν τις δραστηριότητες μοντελοποίησης χωρίς εμφανείς δυσκολίες. Τα αποτελέσματα των μοντέλων τους, δηλαδή οι θεωρητικά υπολογισμένες καμπύλες συνέπεσαν σε όλες τις περιπτώσεις σχεδόν άψογα με τις πειραματικές καμπύλες (εικόνα 4). Στην περίπτωση των ομάδων-MBL όμως παρατηρήθηκαν κάποια προβλήματα. Όταν οι ομάδες κατασκεύασαν τα μοντέλα τους επί των βασικών αρχών της φυσικής ("first-principle") και προσπάθησαν να συγκρίνουν τις εκ τούτων θεωρητικά υπολογισμένες καμπύλες με αυτές που πήραν από τα πειραματικά τους αποτελέσματα, παρατήρησαν μεγαλύτερες ή μικρότερες αποκλίσεις (σχ. 5) οφειλόμενες είτε στο ότι το πείραμα δεν σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε αρκετά προσεκτικά ή σε παράπλευρα φαινόμενα του συστήματος (π.χ. θερμικές απώλειες, τριβή, κλπ) που συνέβησαν ταυτόχρονα με το κύριο φαινόμενο και που δεν ελήφθησαν υπ' όψιν από τους φοιτητές κατά την κατασκευή του μοντέλου τους.



**Εικόνα 5:** Μοντελοποίηση με το Coach 5 (θερμική ισορροπία, δραστηριότητα MBL): Το μοντέλο (α) και τα διαγράμματα του αρχικού (β) και του ανασχεδιασμένου (γ) πειράματος

Οι παρατηρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της εργασίας των ομάδων δείχνουν ότι το "πρόβλημα" της απόκλισης μεταξύ δεδομένων και μοντέλου απέτελεσε μια χρήσιμη ώθηση που καθοδήγησε τις ομάδες που δούλευαν με την τεχνική MBL, σε μια βαθύτερη κατανόηση της διαδικασίας μοντελοποίησης (περιορισμοί του μοντέλου) καθώς και των παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για ένα καλύτερο σχεδιασμό του πειράματος. Στην πραγματικότητα, όλες οι ομάδες-MBL, ανασχεδίασαν και εκτέλεσαν εκ νέου το πείραμά τους για "καλύτερα αποτελέσματα", όπως ανέφεραν αυτολεξεί. Η διαφορά στην επίδραση της διαδικασίας μοντελοποίησης ανάμεσα στις ομάδες με τις δύο διαφορετικές τεχνικές λήψης μετρήσεων (MBL και VBL) απεικονίζεται στην εικόνα 6.

Η ανάλυση των ερευνητικών δεδομένων που συγκεντρώθηκαν από τις τελικές γραπτές αναφορές και τις προφορικές παρουσιάσεις των ομάδων μας υπέδειξε ότι οι VBL-δραστηριότητες είναι κατάλληλες για την εισαγωγή των φοιτητών στη μοντελοποίηση, καθώς τα βιντεοσκοπημένα πειράματα είναι συνήθως προσεκτικά σχεδιασμένα, επιτρέποντας έτσι να επικεντρώσουν οι φοιτητές την προσοχή τους στη διαδικασία της μοντελοποίησης. Οι MBL-δραστηριότητες από την άλλη, μπορεί να θεωρηθεί ότι υπερέρχουν από τις VBL δεδομένου ότι δίνουν στους φοιτητές τη δυνατότητα να ξανασκεφτούν τα φαινόμενα και να επανασχεδιάσουν το πείραμά τους.



**Εικόνα 6:** Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας που ακολούθησαν οι φοιτητές (α) ομάδες-VBL και (β) ομάδες-MBL

**Πίνακας I:** απόψεις των φοιτητών σχετικά με τη διαδικασία «ανάλυσης δεδομένων» και «μαθηματικής μοντελοποίησης» πριν και μετά το εργαστήριο

	πριν από το εργαστήριο	μετά το εργαστήριο
Ανάλυση δεδομένων	<ul style="list-style-type: none"> <li>ο υπήρχε εξοικείωση στο πως εργάζονται</li> <li>ο μπορούσαν να περιγράψουν «τι είναι αυτό»</li> <li>ο δεν μπορούσαν να δώσουν σαφή ορισμό</li> <li>ο δεν μπορούσαν να δώσουν σκοπό</li> <li>ο δεν μπορούσαν να αξιολογήσουν τι προσφέρει</li> </ul>	<p>Την ορίζουν ως τη:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ο διαδικασία εξαγωγής μαθηματικών σχέσεων από τα πειραματικά δεδομένα με χρήση στατιστικής ανάλυσης ή ως τη</li> <li>ο διαδικασία που καταλήγει σε μαθηματική προσέγγιση της πειραματικής καμπύλης</li> </ul> <p>Σκοπός της:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ο να βγουν μαθηματικές σχέσεις που περιγράφουν το φαινόμενο</li> <li>ο να κατανοηθεί η σύνδεση πειραματικών τιμών με μαθηματικό φορμαλισμό χωρίς φυσικό περιεχόμενο</li> </ul> <p>Αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται μέσα από τη διαδικασία:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ο κατανόηση φυσικών νόμων</li> <li>ο σύνδεση φαινομένου - μαθηματικού φορμαλισμού</li> </ul>
Μαθηματική Μοντελοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> <li>ο οι περισσότεροι δεν ήξεραν τι είναι αυτό</li> <li>ο όσοι είχαν ακούσει τον όρο τον ταύτιζαν λίγο ως πολύ με το fitting</li> </ul>	<p>Την ορίζουν ως τη:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ο προσπάθεια αναπαράστασης του φαινομένου με χρήση εξισώσεων-νόμων της φυσικής</li> <li>ο απλουστευμένη σχέση που προβλέπει εξέλιξη (με περιορισμούς)</li> </ul> <p>Σκοπός της:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ο να αναπαραχθούν τα φαινόμενα βάσει εξισώσεων-αρχών</li> <li>ο να κατανοηθεί η σύνδεση πειραματικών τιμών με μαθηματικό φορμαλισμό μεν που όμως έχει φυσικό περιεχόμενο (τύποι –εξισώσεις - νόμοι)</li> </ul> <p>Αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται μέσα από τη διαδικασία:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ο βαθύτερη κατανόηση των βασικών αρχών και νόμων</li> </ul>

## Συμπεράσματα

Σε αυτή την εργασία καταδεικνύεται η αποτελεσματικότητα του σχήματος διαδοχής των τριών βημάτων που ακολουθήθηκαν στην εργαστηριακή άσκηση, δηλαδή της μέτρησης, ανάλυσης δεδομένων και μαθηματικής μοντελοποίησης. Οι φοιτητές φαίνεται να μπορούν να ολοκληρώσουν ικανοποιητικά και έγκαιρα τις ολοκληρωμένες εργαστηριακές ασκήσεις που συνδυάζουν τα πειράματα με την ανάλυση δεδομένων και τη μαθηματική μοντελοποίηση. Οι



φοιτητές-μελλοντικοί εκπαιδευτικοί, φαίνεται να μπορούν να χτίσουν τα δικά τους μοντέλα, να συσχετίσουν τα θεωρητικά υπολογισμένα δεδομένα με τα πειραματικά και να αναπροσαρμόσουν έπειτα το αρχικά προταθέν πείραμα ώστε «να ταιριάζουν καλύτερα τα θεωρητικά με τα πειραματικά αποτελέσματα».

Όσον αφορά τις δύο διαφορετικές τεχνικές μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία (MBL – VBL), οι VBL-δραστηριότητες εμφανίζονται καταλληλότερες για την εισαγωγή στη μοντελοποίηση ενώ οι MBL-δραστηριότητες μπορούν να αποδειχθούν αποδοτικότερες ώστε οι φοιτητές να επιτύχουν βαθύτερη κατανόηση, να συνειδητοποιήσουν ότι τα πραγματικά φαινόμενα δεν είναι ιδανικά όπως παρουσιάζονται στα εγχειρίδια και ότι πρέπει πάντα να εξετάζουν τις δευτερεύουσες-αλληλεπιδράσεις που εμφανίζει το κάθε σύστημα. Φαίνεται ότι οι αποκλίσεις μεταξύ των πειραματικών δεδομένων και των θεωρητικών υπολογισμών που γίνονται βάσει των μοντέλων, οι οποίες εμφανίζονται συχνότερα στα πειράματα με MBL απ' ό,τι στο VBL, μπορούν να αποδειχθούν πολύτιμη βοήθεια ώστε να σκεφθούν οι φοιτητές ένα τρόπο ή μέσο να αναπαριστούν κατά τη μοντελοποίηση την πραγματική συμπεριφορά ενός συστήματος (Jackson 1996), με τη βοήθεια ενός συνόλου εξισώσεων από βασικές αρχές, ή των περιορισμών του ίδιου του μοντέλου.

Με βάση την αξιολόγηση των μαγνητοφωνημένων συζητήσεων και των τελικών γραπτών αναφορών των ομάδων παρατηρούμε ότι όταν με την ολοκλήρωση του διευρυμένου σχήματος δουλειάς “μέτρηση – ανάλυση δεδομένων – μοντελοποίηση” οι φοιτητές φαίνεται να καταφέρνουν να επιτύχουν καλύτερη διάκριση ανάμεσα στις διαδικασίες της ανάλυσης δεδομένων και της μαθηματικής μοντελοποίησης.

### Παραπομπές

- Beichner, R.J. & Abbott, D.S. (1999). Video-Based Labs for Introductory Physics Courses, *Journal of College Science Teaching*, 29, 101-104.
- Crawford B.A. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science, *Int J. Science Education* 26, 1379-1401
- Etkina E., Warren A. & Gentile M. (2006). The Role of Models in Physics Instruction, *The Physics Teacher*, 44, 4-39.
- Hestenes, D. (1996). Modelling Methodology for Physics Teachers, *Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education* (College Park, August 1996)
- Jackson, S.L., Stratford, S.J., Krajcik, J., & Soloway, E. (1996). Making dynamic modelling accessible to pre-college science students. *Interactive Learning Environments*, 4, 233-257
- Justi R. & Gilbert J. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers, *Int. J. Science Education* 24, 369-387
- Redfors A., Holgersson I. & Niedderer H. (2003). On teacher students and the world of models in physics, *ESER*.
- Rogers, L.T. (2001). Graphs as bridges between mathematical description and experimental data. *The Development of Formal Thinking in Physics - Proceedings of the GIREP Seminar*, Udine.
- Ryder J. & Leach J. (2000). Interpreting experimental data: the views of upper secondary school and university science students, *Int. J. Science Education* 22, 1069-1084.
- Schecker, H. (1998). Integration of Experimenting and Modeling by Advanced Educational Technology: Examples from Nuclear Physics. In: Tobin, K. & Fraser, B.J. (eds.): *The International Handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer, Part I, 383-398.
- Sperandeo-Mineo R.M., Cerroni C. & Guastella I. (2003). Models in Physics: Perceptions Held by Prospective Physics Teachers, *Proceedings of the GIREP Seminar*, Udine..
- Stratford S. J. (1996). A Review of Computer-Based Model Research in Precollege Science Classrooms.



- Treagust David F., Chittleborough Gail & Mamiala Thapelo L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science, *Int. J. Science Education* 24, 357–368.
- Thornton, R.K. (1999). Using the Results of Research in Science Education to Improve Science Learning, *Proceedings of the International Conference on Science Education*, Nicosia, Cyprus.
- VanDriel J.H. & Verloop N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education, *Int. J. Science Education* 24, 1255–1272
- Wells, M., Hestenes, D. & Swackhamer, G. (1995). A modeling method for high school physics instruction, *American Journal of Physics*, 63, 606-619.