

Μοντέλα και κόσμοι στους εικονικούς χώρους

Δημήτρης Ψύλλος

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
psillos@eled.auth.gr

Περίληψη. Η εργαστηριακή μελέτη των φυσικών φαινομένων, η κατανόηση των επιστημονικών μοντέλων και η σύνδεση των φυσικών φαινομένων με τα επιστημονικά μοντέλα αποτελούν βασικό σκοπό της διδασκαλίας και της μάθησης των Φυσικών Επιστημών. Πολύχρονες έρευνες δείχνουν ότι, στο κλασικό εργαστήριο, το βάρος των δραστηριοτήτων των μαθητών/φοιτητών επικεντρώνεται συχνά στο χειρισμό των οργάνων και των διατάξεων, χωρίς να δίνεται σημασία στη διαδικασία, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικά εμπόδια στη σύνδεση των φυσικών φαινομένων με τις αντίστοιχες επιστημονικές θεωρίες και μοντέλα. Τα "εικονικά εργαστήρια" (virtual laboratories) προσομοιώνουν στην οθόνη του υπολογιστή εργαστήρια Φυσικών Επιστημών, φαινόμενα ή πειράματα, αξιοποιώντας την τεχνική αλληλεπίδρασης, τον άμεσο χειρισμό των αντικειμένων, την οπτικοποίηση των φυσικών ποσοτήτων και τη δυνατότητα εμφάνισης διασυνδεδεμένων πολλαπλών αναπαραστάσεων και μοντέλων της εξέλιξης ενός φαινομένου. Στην εργασία παρουσιάζονται χαρακτηριστικά των εικονικών εργαστηρίων και αναλύονται δύο παραδείγματα εφαρμογής στη περιοχή της Θερμότητας και της Οπτικής, τα οποία έχουμε αναπτύξει με στόχο να αντιμετωπισθούν τεχνικοί και διδακτικοί περιορισμοί του κλασικού εργαστηρίου, να προωθηθεί η κατανόηση των επιστημονικών μοντέλων και η δημιουργία δεσμών με τα εικονιζόμενα αντικείμενα και φαινόμενα. Αναφέρονται επίσης επιλεγμένα αποτελέσματα από την αλληλεπίδραση των μαθητών με τα εικονικά εργαστήρια.

Εισαγωγή

Στις συζητήσεις της επιστημονικής και εκπαιδευτικής κοινότητας, η γνώση των επιστημονικών αναπαραστάσεων του υλικού κόσμου αποτελούσε και αποτελεί αντικείμενο διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών ώστε οι μαθητές να κατανοήσουν έννοιες, θεωρίες και μοντέλα, όπως και τα κριτήρια επιλογής και εφαρμογής τους στο κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον (Bybee & Champagne 2000, Project 2061). Η επιστήμη όμως δε συγκροτείται μόνο από τις αναπαραστάσεις του υλικού κόσμου αλλά εμπεριέχει και μεθόδους παρέμβασης στον υλικό κόσμο, ειδικά στο εργαστήριο όπου επιδιώκεται από τους επιστήμονες η διερεύνηση και η συμφωνία των πειραματικών δεδομένων με τα αντίστοιχα θεωρητικά μοντέλα. Αυτή η παρεμβατική πρακτική στο εργαστήριο αποτελεί μέρος της επιστημονικής παράδοσης και ένα ιδιαίτερο γνώρισμα της εσωτερικής λογικής των εργαστηριακών επιστημών, το οποίο επιτρέπει την αλληλεπίδραση των υλικών οντοτήτων με τις θεωρητικές προτάσεις και τις διακρίνει από άλλους τομείς του επιστητού (Τσελφές 2002). Η κατανόηση της παρεμβατικής διάστασης της επιστήμης στο εκπαιδευτικό πλαίσιο αποτελεί αντικείμενο συζήτησης στην επιστημονική και εκπαιδευτική κοινότητα, θέσεων και αντιπαραθέσεων (Psillos & Niedderrer 2002).

Στην εργασία αυτή δεχόμαστε ότι με τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών οι μαθητές πρέπει να γνωρίσουν, να εξοικειωθούν και να κατανοήσουν όψεις της επιστημονικής διερεύνησης, χωρίς βέβαια αυτό να σημαίνει ότι οι μαθητές θα είναι «οι μικροί επιστήμονες», μια θέση η οποία έχει υποστεί σημαντική κριτική. Ο διερευνητικός χαρακτήρας είναι

συνυφασμένος αφενός μεν με την κατανόηση και εφαρμογή επιστημονικών μοντέλων, αφετέρου δε με τη χρήση εργαστηριακών πρακτικών μέσα από τις οποίες οι μαθητές εμπλέκονται σε μια ουσιαστική παρατήρηση και παρέμβαση στον υλικό κόσμο, συνδέοντας τα υπό μελέτη φαινόμενα με τις θεωρητικές τους αναπαραστάσεις.

Η ραγδαία ανάπτυξη των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας και οι εφαρμογές τους στη διδασκαλία και τη μάθηση των Φυσικών Επιστημών δημιουργούν νέα ισχυρά μαθησιακά περιβάλλοντα, οι δυνατότητες και οι παροχές των οποίων σχετικά με τη διερεύνηση και κατανόηση των μοντέλων, των διαδικασιών μοντελοποίησης και των εργαστηριακών πρακτικών μελετώνται τόσο διεθνώς όσο και στη χώρα μας (Ψύλλος & Μπισδικιάν 2004, Webb 2005). Στο πλαίσιο αυτό, στην παρούσα εργασία συζητούμε τις παροχές των εικονικών εργαστηρίων στη διασύνδεση θεωρητικών μοντέλων και υλικού κόσμου από τους μαθητές.

Πραγματικά και Εικονικά Εργαστήρια

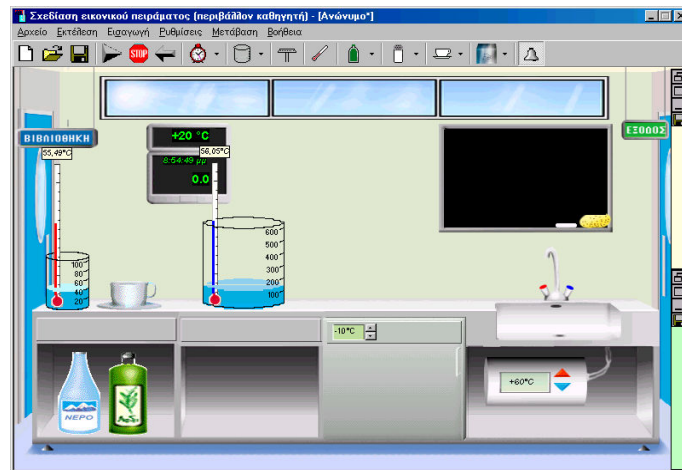
Πολλές έρευνες έχουν γίνει σχετικά με την αποτελεσματικότητα της εργαστηριακής εργασίας, κατά την οποία οι μαθητές αλληλεπιδρούν με πραγματικά πειράματα και εργαστηριακές διατάξεις, διερευνούν φαινόμενα με στόχο την απόκτηση γνώσεων πάνω σε φυσικές έννοιες, νόμους και φαινόμενα, αλλά και την ανάπτυξη των επιστημονικών δεξιοτήτων. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι συχνά το βάρος των δραστηριοτήτων των μαθητών κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής εργασίας επικεντρώνεται στο χειρισμό των οργάνων και των διατάξεων. Ως αποτέλεσμα δημιουργούνται σημαντικά εμπόδια στη σύνδεση των φυσικών φαινομένων με τις αντίστοιχες επιστημονικές θεωρίες και μοντέλα και μειώνεται η αποτελεσματικότητα της εκπαιδευτικής διαδικασίας εις όφελος μιας μηχανιστικής προσέγγισης στις επιστημονικές γνώσεις και μεθοδολογίες (Niedderer et. al. 2003).

Η διεθνής εμπειρία και έρευνα έχει δείξει ότι η προσέγγιση της μελέτης ενός θέματος με τη βοήθεια υπολογιστή και εφαρμογών πολυμέσων μπορεί να ξεπεράσει, ως ένα βαθμό, τεχνικούς και διδακτικούς περιορισμούς του πραγματικού εργαστηρίου (Sassi 2001). Τα "εικονικά εργαστήρια" (virtual laboratories), όπως αποκαλούνται, προσομοιώνουν, με εικονικό και λειτουργικό τρόπο, εργαστήρια Φυσικών Επιστημών, οντότητες και διαδικασίες, αντικείμενα, όργανα και πειράματα, στην οθόνη του υπολογιστή (Ψύλλος & Μπισδικιάν 2004, Kocijancic & O' Sullivan 2004). Τα "Εικονικά Εργαστήρια" αποτελούν μικρόκοσμους με:

- αντικείμενα που μπορούν να αλληλεπιδρούν
- εικονικά όργανα - συσκευές για τη μέτρηση και καταγραφή των αποτελεσμάτων των εικονικών πειραμάτων.

Τα εικονικά εργαστήρια αξιοποιούν τη δυναμική που παρέχει η σύγχρονη τεχνολογία πολυμέσων με βασικό χαρακτηριστικό την τεχνική αλληλεπίδρασης και τον άμεσο και αληθοφανή χειρισμό των αντικειμένων και παραμέτρων.

Παράδειγμα ολοκληρωμένου εικονικού εργαστηρίου, το οποίο χρησιμοποιείται στα σχολεία, είναι το λογισμικό «Σ.Ε.Π.». Αυτό εμπεριέχει δύο εργαστήρια της «Θερμότητας» και της «Θερμοδυναμικής» για την υποστήριξη της εργαστηριακής διδασκαλίας των θερμικών φαινομένων. Αντιπροσωπευτική οθόνη του εργαστηρίου Θερμότητας παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Ο σχεδιασμός και τα χαρακτηριστικά του Σ.Ε.Π. έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά σε άλλες εργασίες (Ψύλλος κ.ά. 2000, Λεύκος κ.ά. 2005). Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας είναι ενδιαφέρον να συζητηθούν οι αντιδράσεις των μαθητών σε ορισμένες παροχές του εργαστηρίου οι οποίες ενεργούν ως διευκολυντές στην αποκατάσταση δεσμών μεταξύ των μοντέλων και των φαινομένων.

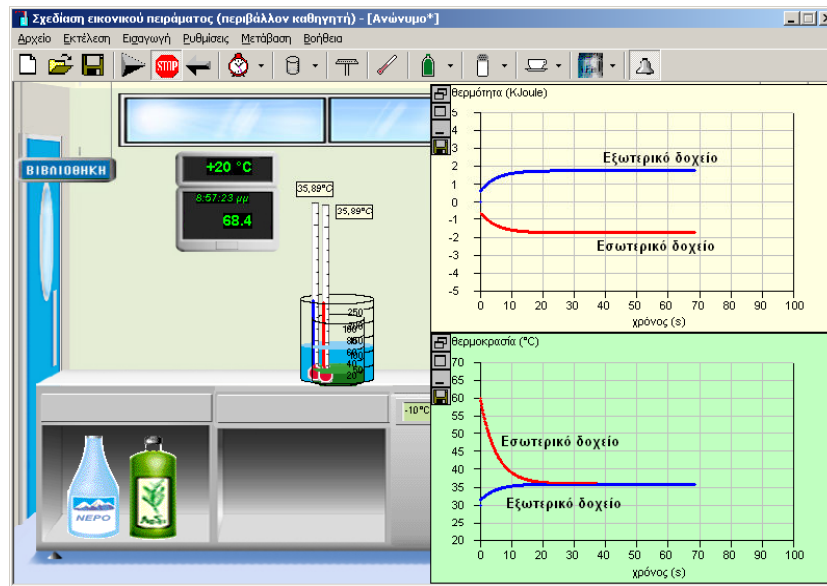


Σχήμα 1: Το εικονικό εργαστήριο Θερμότητας του Σ.Ε.Π.

Ένα από τα στοιχεία των εικονικών εργαστηρίων που συντελεί στην κατανόηση από τους μαθητές των φαινομένων είναι η αληθοφάνεια τόσο του χώρου και των οργάνων όσο και των χειρισμών και διαδικασιών. Στην περίπτωση του εργαστηρίου Θερμότητας, αληθοφάνεια υπάρχει στην αναπαράσταση τόσο του χώρου του εργαστηρίου (υπάρχει ο πάγκος εργασίας, τα αποθηκευτικά ντουλάπια, η μπάρα εργαλείων) όσο και των οργάνων (γκαζάκι, φλόγα, θερμόμετρο, δοχεία). Οι διαδικασίες για το στήσιμο της πειραματικής διάταξης είναι ανάλογες με τις πραγματικές. Για παράδειγμα, για να ανάψεις το γκαζάκι πρέπει να πατήσεις ένα κουμπί, για να βάλεις το θερμόμετρο μέσα στο δοχείο πρέπει να το σηκώσεις και να το σύρεις μέχρι το δοχείο. Μαθητές Γυμνασίου, όπως παρατηρήθηκε στις εφαρμογές, δεν είχαν κανένα πρόβλημα να χειριστούν το Εικονικό Εργαστήριο από την πρώτη τους επαφή (Αντωνιάδου κ.ά. 2002). Η αληθοφάνεια φάνηκε ότι διευκόλυνε τους μαθητές στην εύκολη προσαρμογή τους στο εικονικό εργαστηριακό περιβάλλον.

Στα εικονικά εργαστήρια ενσωματώνονται κατά κανόνα ως ειδικά μέσα μετάδοσης πληροφοριών, κατά τη μελέτη των φυσικών φαινομένων, οι διασυνδεδεμένες πολλαπλές αναπαραστάσεις της εξέλιξης ενός φαινομένου και οι συμβολικές γραφικές παραστάσεις των μεταβολών στα μεγέθη (Kocijancic & O' Sullivan 2004).

Τη χρονική εξέλιξη ενός φαινομένου μπορούμε να την αντιληφθούμε μέσα από τα ορατά αποτελέσματά του. Για παράδειγμα στην περιοχή της μηχανικής, η κίνηση των σωμάτων είναι ορατή και έτσι και η χρονική εξέλιξη του πειράματος γίνεται εύκολα αντιληπτή. Στην περιοχή της θερμότητας, οι αλλαγές στη φυσική κατάσταση των σωμάτων, η διαστολή των σωμάτων ή η ερυθροπύρωση του σιδήρου κατά τη θέρμανση, είναι παραδείγματα όπου τα αποτελέσματα της χρονικής εξέλιξης των φαινομένων είναι ορατά. Στη διδασκαλία πολλών θερμικών φαινομένων και νόμων, όπως π.χ. του νόμου της θερμιδομετρίας, μέσω της θέρμανσης των σωμάτων αναδεικνύονται οι παράγοντες που υπεισέρχονται στη σχέση, δεν υπάρχουν ορατές ενδείξεις κατά τη χρονική εξέλιξη του φαινομένου παρά μόνο θερμοκρασιακές αλλαγές. Αποτελέσματα από τη συστηματική παρατήρηση των μαθητών στην τάξη έδειξαν ότι μπορούσαν να αντιληφθούν την άνοδο της θερμοκρασίας του σώματος που θερμαινόταν από την ψηφιακή ένδειξη του θερμομέτρου, την κίνηση του υδραργύρου στο θερμόμετρο και την κατασκευή της γραφικής παράστασης της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο (Petridou et al. 2005).



Σχήμα 2: Δυνατότητες του εικονικού εργαστηρίου: δύο δοχεία αλληλεπιδρούν θερμικά μεταξύ τους. Απεικονίζεται συγχρονικά, σε ανεξάρτητα παράθυρα, η μεταβολή στη θερμοκρασία και οι μεταβολές στη θερμότητα που ανταλλάσσεται.

Κατά τη μελέτη της θερμικής ισορροπίας στο εργαστήριο Θερμότητας, τα ερευνητικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι μαθητές παρακολουθούσαν συνέχεια κατά τη διάρκεια της θέρμανσης των σωμάτων τη γραφική παράσταση. Αυτό επιτυγχάνεται και με την ενασχόληση των μαθητών με τη γραφική παράσταση της θερμοκρασίας σε σχέση με τον χρόνο, όπου παίρνουν τιμές θερμοκρασίας για διάφορα χρονικά διαστήματα. Η κατασκευή της γραφικής παράστασης ταυτόχρονα με τη χρονική εξέλιξη του πειράματος έδινε στους μαθητές την εικόνα της χρονικής εξέλιξης του φαινομένου της θέρμανσης. Με τη συγχρονική γραφική απεικόνιση σε ανεξάρτητο παράθυρο, ο μαθητής μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα τη χρονική εξέλιξη των μεγεθών του πειράματος και έτσι να διευκολυνθεί η σύνδεση ανάμεσα στη θεωρία και στο φαινόμενο (Σχήμα 2).

Ένα ενδογενές χαρακτηριστικό του πραγματικού εργαστηρίου είναι η περιορισμένη δυνατότητα δημιουργίας δυναμικών καταστάσεων, μέσω των οποίων είναι δυνατός ο ευέλικτος συνδυασμός πολλών μεταβλητών, έτσι ώστε οι μαθητές να μπορούν να διερευνήσουν τις φυσικές ποσότητες που επηρεάζουν την εξέλιξη των υπό μελέτη φαινομένων. Στα εικονικά εργαστήρια η τεχνική αλληλεπίδρασης επεκτείνεται περιλαμβάνοντας τη δυνατότητα παραμετροποίησης των φυσικών μεγεθών. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι αλληλεπιδραστικές προσομοιώσεις φαινομένων βοηθούν τους μαθητές να χειριστούν τις συνθήκες εξέλιξης ενός φαινομένου, να μεταβάλλουν τις μεταβλητές που το επηρεάζουν και να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα αυτών των χειρισμών (Jimogiannis & Komis 2001). Κατά τη μελέτη της Θερμιδομετρίας στο εργαστήριο Θερμότητας, οι μαθητές μπόρεσαν να διερευνήσουν τη θέρμανση ως προς τις παραμέτρους της μεταβολής της θερμοκρασίας, της μάζας και του υλικού. Το στοιχείο της παραμετροποίησης έδωσε τη δυνατότητα να μελετηθούν μαζί και οι τρεις παράγοντες που υπεισέρχονται στη σχέση της θερμιδομετρίας, με αποτέλεσμα την απόκτηση ολοκληρωμένης εικόνας από τον μαθητή (Petridou et al. 2005).

Η ολιστική αφενός και η τοπική αφετέρου αντίληψη των φαινομένων και των θεωρητικών μοντέλων διευκολύνονται από τη δυνατότητα χρονικής διαχείρισης της εξέλιξης των εικονικών πειραμάτων σε τρεις τουλάχιστον κατευθύνσεις. Κατ' αρχήν το στοιχείο της επιτάχυνσης του χρόνου στο ασφυκτικό πλαίσιο του σχολικού χρόνου δίνει τη δυνατότητα απόκτησης ολοκληρωμένης εικόνας των φαινομένων. Επιπλέον η χρονική διαχείριση

συνεπάγεται και την εύχρηστη δυνατότητα επανάληψης μέρους ή όλου του πειράματος. Στην περίπτωση του εργαστηρίου Θερμότητας συνδυάζεται το «πάγωμα» της χρονικής εξέλιξης του πειράματος με την επανεκκίνησή του. Για παράδειγμα, σε φύλλο εργασίας σχετικό με τη θερμιδομετρία υπάρχουν κρίσιμα σημεία όπου ζητείται από τους μαθητές να σταματήσουν προσωρινά το πείραμα για να πάρουν τιμές από τη γραφική παράσταση και να αναλογιστούν τι και γιατί συμβαίνει. Ένα παράδειγμα κρίσιμου σημείου είναι η χρονική στιγμή οπότε ένα από δύο δοχεία που περιέχουν διαφορετικό υγρό, καθώς αυτά θερμαίνονται, φτάνει στην ζητούμενη θερμοκρασία πρώτο. Έτσι οι μαθητές βλέπουν καθαρά ότι τα υγρά δεν χρειάζονται τον ίδιο χρόνο για να φτάσουν στην ίδια θερμοκρασία και έχουν τη δυνατότητα με την προτροπή του εκπαιδευτικού να στοχάζονται σχετικά με αυτό το δεδομένο τη στιγμή που συμβαίνει στο πείραμα. Αυτό το «ξάφνιασμα» κατά τη διάρκεια του πειράματος φάνηκε από τις παρατηρήσεις στην τάξη ότι παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία μάθησης. Το σταμάτημα του χρόνου ωστόσο δεν θα ήταν από μόνο του τόσο δυνατό στοιχείο, γιατί δεν θα μπορούσε ο μαθητής να έχει πρόσβαση στη χρονική εξέλιξη του πειράματος μέχρι εκείνη τη στιγμή αν δεν υπήρχε η παροχή της επανεκκίνησης και της συγχρονικής καταγραφής.

Συνδέοντας τα μοντέλα με τους εικονικούς κόσμους

Πρόσφατα υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον στην επιστημονική και εκπαιδευτική κοινότητα για τη χρήση των μοντέλων και της μοντελοποίησης, ιδιαίτερα με την εφαρμογή των Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνίας στη διδασκαλία και τη μάθηση των Φυσικών Επιστημών (Cullin & Crawford 2003, Crawford & Cullin 2004.). Σύμφωνα με τους Gilbert & Boulter (1998), μοντέλο είναι μια αναπαράσταση μιας ιδέας, ενός αντικειμένου, ενός γεγονότος, μιας διαδικασίας ή ενός συστήματος. Τα μοντέλα αποτελούν βασικό στοιχείο της αναπαραστασιακής διάστασης της επιστήμης, και είναι ένα κύριο μεθοδολογικό εργαλείο της επιστημονικής έρευνας. Όλες οι έρευνες τονίζουν τη σπουδαιότητα των μοντέλων ως διδακτικά εργαλεία και την ικανότητά τους, αν αξιοποιούνται, να συμβάλλουν στη γνωστική εξέλιξη του μαθητή. Τα μοντέλα και οι εξωτερικές αναπαραστάσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να αποσαφηνίσουν πτυχές μιας επιστημονικής εξήγησης, οι οποίες δεν είναι φανερές όταν η εξήγηση δίνεται με γραπτό ή προφορικό λόγο ή μαθηματικούς τύπους. Οι οπτικές ιδιότητες ενός μοντέλου είναι χρήσιμες για την κατανόηση μιας επιστημονικής ερμηνείας, απομνημονεύονται δε πιο εύκολα (Vosniadou et al. 2001).

Η εκμάθηση των μοντέλων και η εφαρμογή τους συνιστούν μια ουσιαστική διαδικασία μάθησης. Διδακτικές προσεγγίσεις που βασίζονται σε μάθηση για τα μοντέλα ή με τα μοντέλα εμπλέκουν τους μαθητές σε αυθεντικές πρακτικές χρήσης των μοντέλων ως εργαλεία για την περιγραφή, την ερμηνεία, τη διερεύνηση, την πρόβλεψη και εν τέλει την εποικοδόμηση της γνώσης. Η χρήση των μοντέλων μπορεί να δημιουργεί «σκαλωσιές» στους μαθητές για να κατανοήσουν τα φυσικά φαινόμενα ή τα σύνθετα συστήματα αλλά επίσης διευκολύνει και την κατανόηση στοιχείων της φύσης της επιστήμης. Διδασκαλία βασισμένη στα μοντέλα είναι αυτή που προωθεί την αξιοποίηση και αναθεώρηση των νοητικών μοντέλων των μαθητών για τα φαινόμενα και στην οποία η ανάπτυξη ενός αποδεκτού επιστημονικού μοντέλου γίνεται με την ενοποίηση πληροφοριών για τη δομή, τη λειτουργία και τον αιτιολογικό μηχανισμό του φαινομένου.

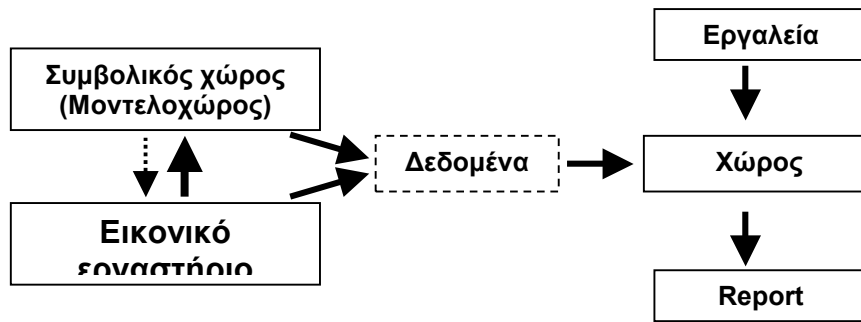
Μερικοί ερευνητές έχουν εστιάσει το ενδιαφέρον τους στις ιδέες που έχουν οι μαθητές για την έννοια και τη χρήση των μοντέλων (Grosslight et al. 1991, Treagust et al. 2002). Άλλοι έχουν ως στόχο να μάθουν οι μαθητές μια συγκεκριμένη θεματική ενότητα με χρήση μοντέλων, ή να μάθουν για την έννοια και φύση των μοντέλων (Saari & Viiri 2001) και προτείνουν ότι ο μαθητής από την αρχή της μάθησής του θα πρέπει να μαθαίνει για τα μοντέλα. Ιδιαίτερο είναι το ενδιαφέρον των ερευνητών στο σχεδιασμό και την εφαρμογή μιας

διδασκαλίας βασισμένη στα μοντέλα. Στη μάθηση με μοντελοποίηση, οι μαθητές χρειάζεται να κατασκευάσουν ένα μοντέλο του οποίου η λειτουργία είναι παρόμοια με το υπό μελέτη πραγματικό σύστημα. Πολλά λογισμικά έχουν αναπτυχθεί με τα οποία οι μαθητές εμπλέκονται σε διαδικασίες κατασκευής κυρίως ποιοτικών μοντέλων (Δημητρακοπούλου 2004). Εκτός από την οικοδόμηση των μοντέλων, υπάρχει η μάθηση από τα μοντέλα η οποία βασίζεται στις αλληλεπιδράσεις των μαθητών με αυτά. Κατά τη διάρκεια της μαθησιακής διαδικασίας, οι μαθητές διερευνούν αλλαγές στα μοντέλα ή αντιστοιχούν αλλαγές στα φαινόμενα με τις αλλαγές στα μοντέλα όταν αλλάζουν οι μεταβλητές που υπεισέρχονται και επηρεάζουν το φαινόμενο, όπως η απόσταση αντικειμένου φακού.

Η μοντελοποίηση προϋποθέτει τη δημιουργία ενός νοητικού πλαισίου που θα επιτρέψει στον εκπαιδευόμενο να συνειδητοποιήσει τη διαφορά ανάμεσα στην πραγματικότητα και το μοντέλο. Ένα σημαντικό όμως εύρημα των ερευνών είναι ότι μαθητές αλλά και οι φοιτητές θεωρούν ότι το μοντέλο είναι πιστή αναπαράσταση αντικειμένων ή ότι είναι τα βήματα που ακολουθεί ένας ερευνητής ή μια μέθοδος διδασκαλίας ή ένα πρότυπο μιας διαδικασίας (Grosslight et al. 1991, Windschitl & Thompson 2006). Η τάση αυτή φαίνεται ότι ενισχύεται και από την παρουσίαση των μοντέλων στα εκπαιδευτικά υλικά. Ανάλυση των εικονοποιήσεων σε βιβλία και λογισμικά αναδεικνύει ότι οι υπάρχουσες αναπαραστάσεις φαινομένων απεικονίζουν συνήθως ένα υβριδικό χώρο, όπου συνυπάρχει η εικονοποίηση των πραγματικών αντικειμένων μαζί με τις συμβολικές τους αναπαραστάσεις. Για παράδειγμα, τα σχολικά βιβλία ή τα λογισμικά που αναφέρονται στο κεφάλαιο της Γεωμετρικής Οπτικής, απεικονίζουν συνήθως ένα υβριδικό χώρο, όπου συνυπάρχει η εικονοποίηση των πραγματικών αντικειμένων μαζί με τα μοντέλα των ακτίνων και των παραγόμενων ειδώλων (Hatzikarniotis et al. 2007). Ο αναγνώστης του βιβλίου ή ο παρατηρητής της οθόνης μπορεί να «δει» τα πραγματικά αντικείμενα, τα είδωλά τους (ως «καθρέπτης»), τις ακτίνες ακόμη και τα φανταστικά είδωλα. Θεωρούμε ότι οι επιλογές αυτές έχουν συμβάλει στη δημιουργία ισχυρών παρανοήσεων από τους μαθητές σχετικά με τη φύση του φωτός και τα φαινόμενα οπτικής, οι οποίες αναφέρονται αναλυτικά στη βιβλιογραφία (Μίχας 2005).

Ο καθορισμός συστηματικών αντιστοιχίσεων μεταξύ του πραγματικού συστήματος και του μοντέλου που επιχειρεί να αναπαραστήσει το σύστημα αποτελεί στοιχείο της μάθησης από τα μοντέλα και σύνδεσης των επιστημονικών αναπαραστάσεων με τον πραγματικό κόσμο. Αυτές οι διασυνδέσεις προβάλλονται ως εκπαιδευτικός στόχος και αποτελούν αντικείμενο μελέτης των ερευνητών της Διδακτικής των ΦΕ και των πληροφορικών.

Στο πλαίσιο αυτό σχεδιάστηκε και αναπτύσσεται το εικονικό εργαστήριο Γεωμετρικής Οπτικής. Βασική επιλογή, κατά το σχεδιασμό του λογισμικού, είναι ο διαχωρισμός του εικονικού εργαστηρίου, που αποδίδει με αληθοφάνεια τα αντικείμενα και τα φαινόμενα, από τη συμβολική τους αναπαράσταση. Ταυτόχρονα υπάρχει ένας συζευγμένος μεν αλλά διακριτός συμβολικός χώρος, όπου αναπαρίστανται, σύμφωνα με τα ισχύοντα επιστημονικά μοντέλα, οι ακτίνες φωτός και η διάδοσή τους σε οπτικά μέσα, η εστίασή τους και ο σχηματισμός των ειδώλων. Στο Σχήμα 3 απεικονίζονται οι βασικές σχεδιαστικές δομές του εργαστηρίου Γεωμετρικής Οπτικής. Το καινοτομικό στοιχείο είναι η διάκριση αλλά και η σύζευξη των εικονοποιήσεων των αντικειμένων και φαινομένων του πραγματικού κόσμου με τις συμβολικές αναπαραστάσεις τους και οι ιδιαίτεροι χώροι επεξεργασίας των δεδομένων.



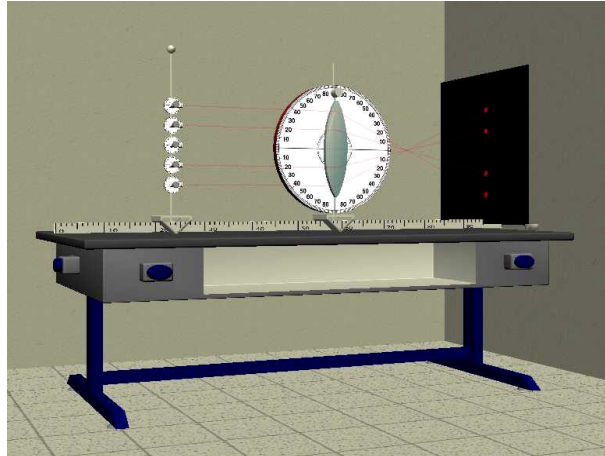
Σχήμα 3. Οι διακριτοί και συζευγμένοι χώροι στο Εικονικό Εργαστήριο Οπτικής.

Το εικονικό εργαστήριο Οπτικής είναι σε εξέλιξη και αναπτύσσεται ως μέρος ενός σύνθετου ανοικτού μαθησιακού περιβάλλοντος του «Α.ΜΑ.Π.» (Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον, όπως έχουμε παρουσιάσει σε άλλες εργασίες (Μπισδικιάν κ.ά. 2006, Hatzikraniotis et al. 2007). Το "Εικονικό Εργαστήριο Γεωμετρικής Οπτικής" του έργου Α.ΜΑ.Π. - όπως είχαν αναπτυχθεί και τα εργαστήρια στο Σ.Ε.Π. - αποτελεί ένα μικρόκοσμο με:

- αντικείμενα που μπορούν να αλληλεπιδρούν οπτικά: φωτεινές πηγές – μέσα διάδοσης, ενεργά στοιχεία (φακοί - κάτοπτρα - φίλτρα), και
- εικονικά όργανα-συσκευές για τη μέτρηση και καταγραφή των εικονικών πειραμάτων.

Ως επέκταση του έργου Σ.Ε.Π., στο έργο ΑΜ.Α.Π. εισάγουμε ενισχυμένη την οπτική απεικόνιση του κάθε εργαστηρίου. Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, μας ενδιαφέρει ότι υιοθετώντας τη γλώσσα java3D, τα εργαστήρια ομοιάζουν οπτικά με πραγματικά: τόσο το εργαστήριο ως σύνολο όσο και τα αντικείμενα στο κάθε εργαστήριο έχουν περισσότερο έντονη την τρισδιάστατη υφή. Το λογισμικό περιλαμβάνει πολλαπλούς χώρους και αντίστοιχα παράθυρα εργασίας για την πολύπλευρη προσέγγιση και μελέτη των οπτικών φαινομένων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 και όπως έχουμε αναπτύξει σε προηγούμενες εργασίες. Ο χρήστης, σε άμεση αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, μπορεί να συνθέτει, να παρακολουθεί και να κατευθύνει την εκτέλεση ενός εικονικού πειράματος, να πραγματοποιεί μετρήσεις με εικονικά όργανα κ.λπ.

Το πρώτο βασικό στοιχείο του λογισμικού είναι το εικονικό εργαστήριο – Κόσμος. Ο «Κόσμος» επικοινωνεί με άλλα παράλληλα περιβάλλοντα συμβολικής απεικόνισης και χώρου ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων. Κάθε παράθυρο μπορεί να αποκρύπτεται ή να εμφανίζεται σε προκαθορισμένα μεγέθη. Στο παράθυρο του «Κόσμου» πραγματοποιείται η σύνθεση και ρύθμιση των πειραματικών διατάξεων. Το περιβάλλον είναι ανοικτό. Για το σκοπό αυτό διατίθεται αποθήκη εικονικών αντικειμένων, οργάνων και συσκευών. Από τη στιγμή της επιλογής, της εισόδου και της μετακίνησής τους (drag) στον εργαστηριακό πάγκο και με την ενεργοποίηση μιας φωτεινής πηγής ή άλλου οργάνου, η φυσική συμπεριφορά (λειτουργία) των αντικειμένων θα είναι συνεχής. Η μορφή των αντικειμένων και η εμφάνιση των φαινομένων είναι αληθοφανής και τρισδιάστατη όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.

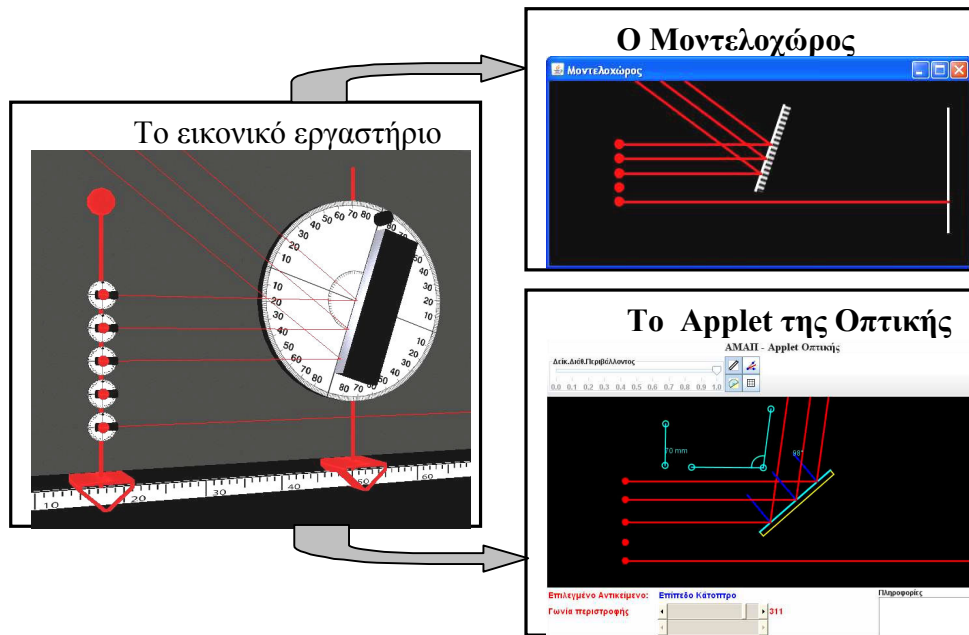


Σχήμα 3. Ο εργαστηριακός πάγκος της Γεωμετρικής Οπτικής.

Το δεύτερο βασικό στοιχείο του λογισμικού είναι ο Μοντελοχώρος όπου εμφανίζεται η σχηματική αναπαράσταση της πειραματικής διάταξης (μοντέλο του πειράματος). Το μοντέλο του πειράματος δεν αποτελεί στατική εικόνα, αλλά είναι δυναμικά συνδεδεμένο με το πείραμα (κοινή μαθηματική μηχανή). Αυτό που ενδιαφέρει στην εργασία είναι ότι η απεικόνιση μεταβάλλεται δυναμικά, καθώς ο χρήστης συνθέτει, τροποποιεί ή αναπροσαρμόζει την πειραματική διάταξη. Η μεταβολή αυτή γίνεται σε πραγματικό χρόνο.

Ο Μοντελοχώρος επεκτείνεται και συσχετίζεται με applet, το οποίο μπορεί να «εξάγεται» από τη μαθηματική μηχανή του εργαστηρίου, με απλούστερα 2D γραφικά. Τα applet μπορούν να λειτουργούν αυτοτελώς, ως διερευνησεις σε προκαθορισμένη εργαστηριακή διάταξη, απλοποιημένη ως προς τα γραφικά του εργαστηρίου. Μπορεί όμως να αποτελεί τη βάση ώστε ο μαθητής να επεκτείνει τη μελέτη του σε καταστάσεις που δεν θα ήταν ρεαλιστικές ως χειρισμοί σ' ένα πραγματικό εργαστηριακό «χώρο», όπως π.χ. τι θα γίνει αν μεταβάλλω συνεχώς, ως ένα όριο, το πάχος ενός ή περισσότερων από τους φακούς.

Στο Σχήμα 5 απεικονίζονται οθόνες από όλο το περιβάλλον του εικονικού εργαστηρίου Γεωμετρικής Οπτικής. Στο αριστερό μέρος δείχνεται ο εργαστηριακός πάγκος ο οποίος περιλαμβάνει πολλαπλές φωτεινές πηγές λάσερ που μπορεί να αναβοσβήνουν διαδοχικά, καθώς και γωνιομετρικό δίσκο στον οποίο στερεώνεται κάτοπτρο. Ο δίσκος μπορεί να περιστρέφεται ώστε να αλλάζει η γωνία πρόσπτωσης. Στο δεξί μέρος της εικόνας απεικονίζεται ο διακριτός αλλά και διασυνδεδεμένος Μοντελοχώρος, στον οποίο τα αντικείμενα απεικονίζονται συμβολικά. Σημαντική παροχή του λογισμικού είναι ότι ο Μοντελοχώρος μπορεί να εξάγει το σχετικό applet, όπως απεικονίζεται στο δεξί κάτω μέρος του σχήματος. Αξιοποιώντας τις σχετικές δυνατότητες της Java, προσφέρουμε στο μαθητή τη δυνατότητα να εκτελέσει διερευνητική εργασία όχι μόνο στο εικονιζόμενο πραγματικό κόσμο αλλά και στον χώρο των μοντέλων, δηλαδή να αλληλεπιδράσει και να μάθει από τα μοντέλα της Γεωμετρικής Οπτικής.



Σχήμα 5. Διασύνδεση κόσμου και μοντέλων στη μελέτη της ανάκλασης.

Οι μαθητές μπορεί να αλλάζουν κάτοπτρα, να τα τοποθετούν στο γωνιομετρικό δίσκο, να αλλάζουν την απόσταση των πηγών από το κάτοπτρο και να παρατηρούν συγχρονικά αυτές τις αλλαγές στο Μοντελοχώρο, όπου μπορούν να πάρουν μετρήσεις γωνιών και αποστάσεων. Η απεικόνιση του εργαστηριακού πειράματος ως μοντέλο βοηθά τους μαθητές να συνδέσουν την εικόνα ενός «ρεαλιστικού κόσμου» (εργαστήριο) με τα επιστημονικά μοντέλα και τις σχηματικές αναπαραστάσεις τους, αλλά και να παρατηρήσουν τις διαφορές του πραγματικού από το μοντέλο του, δηλαδή να μη ταυτίσουν το μοντέλο με τον υλικό κόσμο.

Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή υποστηρίχθηκε ότι στα εικονικά εργαστήρια οι μαθητευόμενοι έχουν τη δυνατότητα να προσομιώνουν με αληθοφάνεια αντικείμενα, φαινόμενα και την εξέλιξή τους, καθώς και πειραματικές διαδικασίες. Στα εικονικά εργαστήρια, τα μεγέθη απεικονίζονται με πολλαπλούς τρόπους, ενώ υπάρχει η δυνατότητα να διασυνδεθούν συμβολικές αναπαραστάσεις και μοντέλα των υπό μελέτη φαινομένων. Στο εργαστήριο Σ.Ε.Π. η έμφαση είναι στη χρονική εξέλιξη και στις αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις λόγω της φύσης των θερμικών φαινομένων. Στο εργαστήριο της Γεωμετρικής Οπτικής υπάρχει διακριτός Μοντελοχώρος. Λόγω της φύσης του αντικειμένου, η έμφαση είναι στις χωρικές μεταβολές των φαινομένων.

Αποδίδουμε στο "εικονικό εργαστήριο" ένα χαρακτήρα συμπληρωματικό των κλασικών πρακτικών μελέτης του πραγματικού κόσμου, από τον οποίο προέρχονται οι εμπειρίες των μαθητών και η αίσθηση των φαινομένων, με στόχο την αντιμετώπιση των περιορισμών των κλασικών εργαστηριακών πρακτικών, την ακριβή αναπαράσταση και την ενίσχυση της παραμετρικής προσέγγισης των εννοιών και των φαινομένων. Στο εικονικό εργαστήριο, η εξέλιξη των φαινομένων και η αντίστοιχη εξέλιξη των θεωρητικών αναπαραστάσεων δημιουργούν ένα τεχνολογικά εμπλουτισμένο περιβάλλον, το οποίο υποστηρίζει τη διασύνδεση των υπό μελέτη φυσικών φαινομένων με τα επιστημονικά μοντέλα. Οι συγχρονικές αναπαραστάσεις είτε γραφημάτων είτε χωρικών μεταβολών φαίνεται ότι ενεργούν ως σκαλωσιές στους μαθητές για την ερμηνεία των δεδομένων και των ποιοτικών μεταβολών (Vreman & de Jong 2004).

Στο εικονικό εργαστήριο οι μαθητές έχουν δυνατότητες ευκολότερης συλλογής και καταγραφής δεδομένων ή εκτέλεσης άλλων μηχανιστικών διαδικασιών. Το βάρος επομένως της διδακτικής διαδικασίας μετατοπίζεται, εν δυνάμει, προς την πλευρά της παρατήρησης, της ερμηνείας και της συζήτησης μεταξύ των μαθητών, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται οι διερευνητικές και αναλυτικές τους ικανότητες (Linn 2003). Εκτός από τις μελέτες μας στην περιοχή της θερμότητας που αναφέραμε παραπάνω, άλλοι ερευνητές διαπιστώνουν ότι όταν οι μαθητές εργάζονται με προσομοιωμένα μοντέλα τότε συνδέουν τα παρατηρούμενα αντικείμενα με τη σχετική θεωρία (Buty et al. 2004).

Πρόσφατα διενεργούνται έρευνες στις οποίες συγκρίνονται αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση των γνώσεων σε περιοχές όπως η θερμότητα και ο ηλεκτρισμός, καθώς και πειραματικών διαδικασιών από μαθητές οι οποίοι έχουν συμμετάσχει σε εργαστηριακές διδασκαλίες με πραγματικά και εικονικά εργαστήρια. Φαίνεται ότι τα γνωστικά ή ακόμα και τα διαδικαστικά αποτελέσματα των συμμετεχόντων μαθητών σε εικονική πειραματική εργασία δεν υστερούν από την πραγματική και μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις συγκριτικά υπερτερούν (Triona & Klahr 2003, Finkelstein et al. 2005, Zacharia & Evagorou 2005, Ολυμπίου κ.ά. 200.). Βέβαια δεν είναι μόνο το μαθησιακό περιβάλλον που επηρεάζει τα αποτελέσματα αλλά και η ένταξή τους στις κατάλληλες διδακτικές διαδικασίες.

Επισημαίνουμε τέλος ότι είναι δύσκολη η κατανόηση ότι το επιστημονικό μοντέλο είναι αναπαράσταση ενός αντικειμένου, ενός φαινομένου, μιας διαδικασίας, ενός συστήματος ή θεωριών (Gilbert et al. 2000) και ότι είναι ισχυρό εργαλείο για τον έλεγχο υποθέσεων. Επίσης είναι δύσκολη η συσχέτιση των αναπαραστάσεων με την πραγματικότητα και η δημιουργία των κατάλληλων δεσμών (Balachef 2004). Θεωρούμε ότι αποτελεί ένα βασικό σκοπό της διδασκαλίας των Φυσικών Επιστημών σύμφωνα με τη φύση τους, ο οποίος αποκτά νέα δυναμική με τη χρήση των πλούσιων μαθησιακών περιβαλλόντων που αναλύσαμε στην εργασία και αποτελούν αντικείμενο έρευνας και ανάπτυξης.

Ευχαριστίες

Ο συγγραφέας εκφράζει τις ευχαριστίες του στην υποστήριξη του ΙΤΥ για την ανάπτυξη του «Ανοικτού Μαθησιακού Περιβάλλοντος» (Α.ΜΑ.Π.) στο πλαίσιο του έργου «Χρυσαλλίδες», όπως και κατά το παρελθόν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του έργου Σ.Ε.Π.

Παραπομπές

- Δημητρακοπούλου, Α. (2004). Τρέχουσες και νέες τάσεις στις εφαρμογές των τεχνολογιών της πληροφορίας και των επικοινωνιών για τη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Στο Ι. Κεκές (επιμ.), Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση, Ζητήματα Σχεδιασμού και Εφαρμογών, Φιλοσοφικές-Κοινωνικές Προεκτάσεις, Ειδική Έκδοση Ένωσης Ελλήνων Φυσικών, Εκδόσεις Ατραπός, σσ. 201-248.
- Λεύκος, Ι., Ψύλλος, Δ., Χατζηκρανιώτης, Ε., Παπαδόπουλος, Α. (2005), Μια πρόταση για την εργαστηριακή υποστήριξη της διδασκαλίας της Θερμικής Ακτινοβολίας με συνδυασμένη χρήση εργαλείων ΤΠΕ, Γιαλαμά Α. Τζιμόπουλος Ν., Χλωρίδου Α. (επιμ.), Πρακτικά του 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου των Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ «Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και της Επικοινωνίας στη Διδακτική Πράξη», Σύρος, σσ. 114-120.
- Μίχας Π. (2005). Η διδακτική της Οπτικής μέσα από μια διαχρονική ματιά. Εκδόσεις «Τυπωθήτω», Γ. Δαρδάνος, Αθήνα.
- Μπισδικιάν, Γκ., Ψύλλος, Δ., Χατζηκρανιώτης Ε., & Μπάρμπας, Α. (2006). Ένα Ανοικτό Μαθησιακό Περιβάλλον (Α.ΜΑ.Π) στην περιοχή της Οπτικής. Στο Δ. Ψύλλος και Β. Δαγδιλέλης (επιμ.), 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση (Ε.Τ.Π.Ε.) «Οι Τεχνολογίες

της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση», σελ. 187-195. Θεσσαλονίκη: Μηχανισμός Εκδόσεων Πανεπιστημίου Μακεδονίας.

- Ολυμπίου Γ., Ζαχαρία Ζ., Παπαευριπίδου Μ. (2007). Διερεύνηση της βελτίωσης της εννοιολογικής κατανόησης προπτυχιακών φοιτητών για τη θερμότητα και τη θερμοκρασία μέσα από εικονικά και πραγματικά περιβάλλοντα πειραματισμού. Στο Κατσίκης Α., Κώτσης Κ., Μικρόπουλος Α., Τσαπαρλής Γ. (επιμ.), 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Διδακτικής Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση
- Παιδαγωγικό Ινστιτούτο (2003). Διαθεματικό Ενιαίο Πλαίσιο Προγραμμάτων Σπουδών (Δ.Ε.Π.Π.Σ.). Ιστοσελίδα Π.Ι. (pi-schools.gr).
- Τσελφές, Β. (2002). Δοκιμή και πλάνη: Το εργαστήριο στη διδασκαλία των ΦΕ, Αθήνα: Νήσος.
- Ψύλλος Δ, Αργυράκης Π, Βλαχάβας Ι, Χατζηκρανιώτης Ε, Μπισδικιάν Γκ, Ρεφανίδης Ι, Λεύκος Ι, Κορομπίλης Κ, Βράκας Δ, Γάλλος Λ, Πετρίδου Ε, Νικολαΐδης Ι, (2000). Σύνθετο Εικονικό Περιβάλλον για τη διδασκαλία Θερμότητας – Θερμοδυναμικής, Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΤΠΕ στην Εκπαίδευση, Πάτρα σσ. 331-340.
- Ψύλλος, Δ., Μπισδικιάν, Γκ. (2004). "Τεχνολογίες Πληροφόρησης στο διερευνητικό εργαστήριο Φυσικών Επιστημών" στο Βλαχάβας, Ι., Δαγδιλέλης Β., Ευαγγελίδης Γ., Παπαδόπουλος Γ., Σατρατζέμη Μ., Ψύλλος Δ. (επιμ.), Οι Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Ελληνική Εκπαίδευση: Απολογισμός και Προοπτικές. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη.
- Balacheff, N (2004). Knowledge the keystone of TELdesign, in Grioriady M. et al. (eds.) Proceedings of 4th Panhellenic Conference ICT in Education, pp, 4-15.
- Buty, C. (2002). Modelling in geometrical optics using a microcomputer. In D. Psillos and H. Niedderer (eds.), Teaching and learning in the science laboratory. Kluwer Dordrecht, pp. 231-242.
- Bybee, R. & Champagne, A. (2000). The National Science Education Standards. Science Teacher, 67(1), 54-55.
- Crawford, B. A., & Cullin, M. J. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. International Journal of Science Education, 26 (11), 1379 – 1401.
- Cullin, M., & Crawford, B. A. (2003). Using technology to support prospective science teachers in learning and teaching about scientific models. Contemporary Issues in Technology and Teacher Education, 2 (4), 409-426.
- de Jong T. et al. (1999). The integration of computer simulation and learning support: an example from the physics domain of collisions, Journal of Research in Science Teaching, 36, 597-615.
- Finkelstein N. D., Adams W. K., Keller C. J., Kohl P. B., Perkins K. K., Podolefsky N. S., Reid S., & LeMaster R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 1, 010103
- Gilbert, K. J., Boulter, J. C, & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.), Developing models in science education, Kluwer Academic Publishers, pp. 3-17.
- Grosslight, L., Unger, C., & Jay, E. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. Journal of Research in Science Teaching, 28, 799-822.
- Jimoyiannis. A. & Komis V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. Computers & Education, 36, 183-204.
- Justi, S. R., & Van Driel J. H. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing and understanding the process. International Journal of Science Education, 27, 549 - 573.

- Hatzikraniotis, E., Bisdikian, G., Barbas, A., & Psillos, D (2007). Optilab: design and development of an integrated virtual laboratory for teaching optics, Computer Based Learning in Science Conference, Crete.
- Justi, S. R., & Van Driel J. H. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modeling: promoting, characterizing and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27, 549-573.
- Kocijancic, S., & O' Sullivan, C. (2004). Real or virtual laboratories in science education: Is it really a dilemma? *Informatics in Education* 3, 2, 29-250.
- Linn M., C., (2003). Technology and science education: Starting points, research programs, and trends. *International Journal of Science Education*, 25, 727-758.
- Niedderer, H., Sander, F., Goldberg, F., Otero, V., Jorde, D., Slotta, J., Stroemme, A., Fisher, H.E., Hucke, L., Tiberghien, A., & Vince, J. (2003). Research about the use of information technology in science education. In: Psillos, D., Kariotoglou, P., Tselves, V., Hatzikraniotis, E., Fassoulopoulos, G., Kallery, M. (eds.), *Science Education Research in the Knowledge Based Society*. Dordrecht Kluwer Academic Publishers, pp. 300-312.
- Petridou, E., Psillos, D., Lefkos, I., Fournali, S., & Hatzikraniotis, E. (2005). Investigating the use of simulated laboratory for teaching aspects of calorimetry to secondary education students, CBLIS 2005, Slovakia .
- PROJECT 2061. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://www.project2061.org>.
- Psillos, D., & Niedderer, H. (2002) (eds.). *Teaching and learning in the science laboratory*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25, 1333-1352.
- Sassi, E. (2001). Computer supported lab-work in physics education: advantages and problems, in R. Pinto & S. Surinach (eds): *Proceedings of the International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000*, CD Production Calidos, Barcelona.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, L. T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24, 357-368.
- Triona, L. and Klahr, D. (2003). Point and click or grab and heft: Comparing the influence of physical and virtual instructional materials on elementary school students' ability to design experiments. *Cognition and Instruction*, 21, 149-173.
- Vosniadou S., Ioannides C., Dimitrakopoulou A., & Papademetriou E. (2001). Designing learning environment to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11, 381-419.
- Vreman-de Olde, C. & de Jong T. (2004). Student-generated assignments about electrical circuits in a computer simulation. *International Journal of Science Education*, 26, 859-873.
- Zacharia, Z., C., & Evagorou, M. (2005). Comparing the impact of virtual and real experiments on undergraduate student's conceptual understanding in physics. Presented in ESERA 2005 Conference "Contributions of research to enhancing students' interest in learning science".
- Webb, M.E. (2005). Affordances of ICT In science learning; implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education*, 27, 705-735.
- Windschitl, M., & Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: The impact of preservice instruction on teachers' understandings of model-based inquiry. *American Educational Research Journal*, 43, 783-835.