

Ασημίνα Μ. Κοντογεωργίου - Παπανικολάου

Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των
Επικοινωνιών

στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Ένα παράδειγμα: Η ποιοτική διδακτική προσέγγιση του Κβαντικού

Ατομικού Μοντέλου

Ασημίνα Μ. Κοντογεωργίου

Οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Ένα παράδειγμα: Η ποιοτική διδακτική προσέγγιση του Κβαντικού Ατομικού Μοντέλου

Εκδότης: Ασημίνα Κοντογεωργίου – Παπανικολάου

Άνω Λεχώνια

Βόλος

38500

ISBN: 978-960-92999-0-9

Εισαγωγή

Σήμερα οι Τεχνολογίες της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) αποτελούν για τους νέους μέρος της καθημερινής τους ζωής. Ως μελλοντικοί ενήλικες θα ενταχθούν στην Κοινωνία της Πληροφορίας (information society), η οποία προϋποθέτει νέες γνώσεις, δεξιότητες και μεθόδους πρόσβασης στην εργασία. Επομένως, είναι λογικό να αξιοποιήσουμε τις πολύπλευρες δυνατότητες των ΤΠΕ για την κατάκτηση και διάδοση της πληροφορίας και της γνώσης, την έκφραση της προσωπικής άποψης και για την επικοινωνία και αλληλεπίδραση με άλλους ανθρώπους σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στην ενσωμάτωση των ΤΠΕ στα σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης, έτσι ώστε οι μαθητές και φοιτητές να τις χρησιμοποιούν με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, ιδιαίτερα για να δημιουργηθούν αναπαραστάσεις για αφηρημένες έννοιες (Johnassen 2003). Επίσης, είναι γεγονός ότι ο υπολογιστής μπορεί να δημιουργήσει το έναυσμα για μεταβολές στις διδακτικές πρακτικές και δημιουργία καινοτόμων προσεγγίσεων, που έχουν ως συνέπεια βαθιές αλλαγές στο σύνολο των παραδοσιακών μαθησιακών περιβαλλόντων (Salomon 1996). Ακόμη μπορεί να επιδράσει καταλυτικά στον σχεδιασμό καινοτόμων αναλυτικών προγραμμάτων και να οδηγήσει στη συνεργασία όλων των ειδικών για την αναμόρφωση των διδακτικών πρακτικών.

Αν και οι ΤΠΕ χρησιμοποιούνται ως διδακτικά εργαλεία ευρέως στην εκπαίδευση σε όλον τον κόσμο, υπάρχουν ακόμη πολύ μεγάλες δυνατότητες για να αναπτυχθούν καινοτόμες παιδαγωγικές πρακτικές με την αξιοποίησή τους (Kankaanranta 2005, Kozma 2003). Από την άλλη πλευρά είναι απαραίτητο να στηριχθούμε στη γνώση για την ανάπτυξη της ανθρώπινης νόησης και κάθε είδους δεξιοτήτων που αφορούν στη μάθηση, ώστε να κατανοήσουμε τις ανάγκες για τις οποίες διαφορετικές διδακτικές στρατηγικές πρέπει να αναπτυχθούν απευθυνόμενες σε διαφορετικούς διδασκόμενους, διαφορετικά περιβάλλοντα και διαφορετικές κοινωνικές ομάδες.

Η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή προσφέρει πολύ μεγάλες δυνατότητες στον σχεδιασμό νέων εκπαιδευτικών περιβαλλόντων και για τις Φυσικές Επιστήμες (ΦΕ). Τα τελευταία χρόνια οι δυνατότητες αυτές έχουν αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό, όμως η βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου εκπαιδευτικού λογισμικού είναι ένα ζήτημα που παραμένει ακόμη διεθνώς υπό συζήτηση, μεταξύ όλων των πλευρών που εμπλέκονται είτε στην παραγωγή του, είτε στην αξιοποίησή του.

Στο βιβλίο αυτό διερευνώνται οι άξονες σχεδιασμού εκπαιδευτικού λογισμικού με βάση τις αρχές του εποικοδομητισμού, δίνοντας έμφαση στην οπτικοποίηση σε εικονικό περιβάλλον και μελετώντας την αίσθηση της παρουσίας και την επίδρασή της στα μαθησιακά αποτελέσματα. Επίσης, γίνεται βιβλιογραφική μελέτη της ποιοτικής προσέγγισης των αρχών της κβαντικής θεωρίας μέσω της οπτικής αναπαράστασης του Κβαντικού Ατομικού Μοντέλου (ΚΑΜ) με την αξιοποίηση των ΤΠΕ και επιχειρείται κριτική θεώρηση των προσπαθειών αυτών. Τα συμπεράσματα, που διατυπώνονται στο τέλος του κεφαλαίου, συνδυάζονται με την καταγραφή των νοητικών παραστάσεων των διδασκόμενων για το γνωστικό αυτό αντικείμενο όπως καταγράφονται στη διεθνή και την ελληνική βιβλιογραφία

1. Επιδράσεις των θεωριών μάθησης στη σχεδίαση πληροφορικών περιβαλλόντων

Η συγκρότηση των μηχανισμών με τους οποίους ο άνθρωπος προσεγγίζει τη γνώση απασχόλησε και συνεχίζει να απασχολεί τη Φιλοσοφία, την Επιστημολογία, την Ψυχολογία και τη Διδακτική των Φυσικών ή άλλων Επιστημών. Οι θεωρίες μάθησης, που έχουν γνωρίσει αλματώδη ανάπτυξη, επηρεάζουν καθοριστικά τον τρόπο ενσωμάτωσης της εκπαιδευτικής τεχνολογίας στην διδακτική πρακτική και ταξινομούνται συνήθως σε τρεις κατηγορίες: Το συμπεριφορισμό (behaviourism), τον εποικοδομητισμό (constructivism) και τις κοινωνικοπολιτισμικές θεωρίες μάθησης.

- Ο συμπεριφορισμός δίνει έμφαση στην αναμετάδοση της πληροφορίας και στην τροποποίηση της συμπεριφοράς του μαθητή, η οποία θεωρείται προβλέψιμη και εξαρτώμενη από τη διδασκαλία.
- Ο εποικοδομητισμός αναγνωρίζει ότι τα παιδιά έρχονται στο σχολείο με προϋπάρχουσες γνώσεις. Στο σχολείο πρέπει να οικοδομηθούν νέες γνώσεις συμβατές με τις επιστημονικές αξιοποιώντας αυτές που ήδη κατέχουν. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στο γνωστικό σύστημα των εκπαιδευομένων, στη δομή και τη λειτουργία του, θεωρώντας ότι η μάθηση συνίσταται στην τροποποίηση των γνώσεων.
- Οι κοινωνικοπολιτισμικές θεωρίες μάθησης υποστηρίζουν ότι δεν υπάρχει μαθησιακή δραστηριότητα έξω από το κοινωνικό, ιστορικό και πολιτισμικό πλαίσιο μέσα στο οποίο διαδραματίζεται.

Οι κυριότερες συστηματικές προτάσεις σύμφωνα με τις αρχές μάθησης του συμπεριφορισμού ήταν της προγραμματισμένης διδασκαλίας του Skinner (1954, 1968) και της διακλαδισμένης οργάνωσης του Crowder. Σύμφωνα με την πρώτη η μάθηση προχωρά γραμμικά χωρίς διακλαδώσεις. Οι προτεινόμενες από τον Skinner ‘διδασκτικές μηχανές’, δίνουν τη δυνατότητα μιας περισσότερο επιτυχημένης μάθησης από ότι η κοινή διδασκαλία, διότι παρακολουθούν και ενισχύουν τα μικρά νοητικά βήματα του μαθητή, κατά την παρουσίαση ενός οποιουδήποτε γνωστικού αντικειμένου.

Η εμφάνιση του υπολογιστή στην δεκαετία του 70 συνιστά νέα εξέλιξη των δύο βασικών προτάσεων του συμπεριφορισμού που είχαν πιο πριν εγκαταλειφθεί. Η διδασκαλία με τη βοήθεια υπολογιστή (Computer Assisted Instruction, CAI) στην αρχική της μορφή δεν ήταν παρά η υπολογιστική υλοποίηση του προγραμματισμένου

ηλεκτρονικού βιβλίου μέσω ερωτήσεων πολλαπλών επιλογών (multiple choice), συνδυάζοντας την ιδέα των διδακτικών μηχανών με τη διακλαδισμένη οργάνωση της γνώσης.

Στην σύγχρονη εκδοχή του μιλάμε για τα προγράμματα διδασκαλίας με τη βοήθεια υπολογιστή τα οποία σχεδιάζονται με βάση το ‘μοντέλο’ του διδακτικού σχεδιασμού (Instructional Design) του Gagné, με κύρια στάδιά του την αξιολόγηση αναγκών, την επιλογή διδακτικών μεθόδων και υλικού, και την αξιολόγηση του μαθητή.

Η αποτυχία της εφαρμογής του συμπεριφορισμού στην διδακτική πρακτική απέδειξε ότι για την κατανόηση της ανάπτυξης των γνωστικών δεξιοτήτων, είναι απαραίτητο να μελετηθούν στον ίδιο τον άνθρωπο όλες οι νοητικές διεργασίες, που οδηγούν από την αντίληψη στη μάθηση και κατ’ επέκταση στην εφαρμογή των αποκτηθέντων γνώσεων. Η γνωστική ψυχολογία και η γνωστική επιστήμη φαίνεται να προσφέρουν λύσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

Οι κοινωνικοπολιτισμικές θεωρίες περιλαμβάνουν την ανακαλυπτική μάθηση του Bruner, την εγκαθιδρυμένη μάθηση (situated learning), την κοινωνικοπολιτισμική θεωρία του Vigotsky, και τη θεωρία της δραστηριότητας (activity theory) (Κόμης και Μικρόπουλος 2002). Εντάσσονται δε όλες στον κοινωνικό εποικοδομητισμό.

2. Εκπαιδευτικό λογισμικό

Η εισαγωγή και η ένταξη των ΤΠΕ στην εκπαίδευση έχει συνδεθεί με την ανάπτυξη των υπολογιστών και των λογισμικών καθώς και με την εξέλιξη των διαφόρων ψυχολογικών και παιδαγωγικών θεωριών για τη διδασκαλία και τη μάθηση, όπως προκύπτει από την προηγούμενη παράγραφο. Όλες οι προσεγγίσεις συμφωνούν, παρά τις σημαντικές διαφορές τους, στο ότι η παιδαγωγική αξιοποίηση της πληροφορικής συνιστά το σημείο συνάντησης μιας ψυχολογικής πραγματικότητας (ένα υποκείμενο που μαθαίνει), ενός θεσμικού περιβάλλοντος (το σχολείο για παράδειγμα) και μιας τεχνολογικής πραγματικότητας (ο υπολογιστής, οι γλώσσες προγραμματισμού και άλλα είδη λογισμικού) διαμέσου ενός περιεχομένου που πρέπει να προσκτηθεί (οι γνώσεις) (Mendelsohn 1992).

Τοποθετώντας στο πλαίσιο αυτό τη μαθησιακή εμπειρία του μαθητή κατά την αλληλεπίδρασή του με τον υπολογιστή είναι προφανές ότι δεν μπορεί να θεωρηθεί απλά ως μια σχέση ανθρώπου – μηχανής. Είναι απαραίτητο να κατανοηθεί στο ευρύτερο πλαίσιο της συνάντησης ανθρώπων, μηχανών, διαθέσιμων λογισμικών, προγραμμάτων, πολιτιστικών, κοινωνικών και εκπαιδευτικών περιβαλλόντων μέσα στα οποία εγγράφονται και όλες οι δραστηριότητες των αναλυτικών προγραμμάτων. Οι νέοι ρόλοι των διδασκόμενων και των δασκάλων οδηγούν στην ανάπτυξη νέων στρατηγικών μάθησης. Ταυτόχρονα δίνεται έμφαση στον κοινωνικό προσανατολισμό των νέων αυτών ρόλων μέσα από τη συνεργασία, τη συλλογική εργασία, τη χρήση ιστορικών και κοινωνικο-πολιτισμικών εργαλείων και τη διαπραγμάτευση της γνώσης (Χρονάκη 2004) σε συμφωνία και με τις αρχές του κοινωνικού εποικοδομητισμού. Βεβαίως, σε ένα μαθησιακό περιβάλλον, το οποίο στηρίζεται στην αλληλεπίδραση μαθητή υπολογιστή ουσιαστική είναι η συμβολή του χρησιμοποιούμενου εκπαιδευτικού λογισμικού.

Εκπαιδευτικό λογισμικό θεωρείται το λογισμικό που εμπεριέχει διδακτικούς στόχους, ολοκληρωμένα εκπαιδευτικά σενάρια, διεπιφάνεια (interface) και μεταφορές ή αλληγορίες με παιδαγωγική σημασία και κυρίως στοχεύει στην επίτευξη συγκεκριμένων θετικών μαθησιακών αποτελεσμάτων (Duffy et al. 1991, Μικρόπουλος 2003).

Συνήθως όμως στη σχεδίαση του λογισμικού που χρησιμοποιείται για εκπαιδευτικούς σκοπούς δεν έχει δοθεί βαρύτητα σε αυτά τα χαρακτηριστικά. Ο όρος ‘εκπαιδευτικό λογισμικό’ συμπεριλαμβάνει και πακέτα εφαρμογών επιμορφωτικού, εγκυκλοπαιδικού και ψυχαγωγικού τύπου, που συχνά αναφέρεται με τον Αμερικανικό νεολογισμό (edu-tainment), που προκύπτει από το συνδυασμό των λέξεων εκπαίδευση (edu-cation) και διασκέδαση (enter-tainment) (Μικρόπουλος 2003). Στον Πίνακα 1 περιλαμβάνονται συνολικά οι κατηγορίες και υποκατηγορίες εκπαιδευτικού λογισμικού σε συσχετισμό με τις ψυχολογικές θεωρίες (Κόμης κ.ά. 2004).

Όμως οι ευκολίες που παρέχει η τεχνολογία για την ανάπτυξη εφαρμογών ακόμα και από μη ειδικούς έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση, χρήση και κατάχρηση εφαρμογών που βασίζονται κυρίως σε υπερμεσικά περιβάλλοντα και στις υπηρεσίες που προσφέρουν οι επικοινωνίες σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης χωρίς να πληρούν τα κριτήρια και τους στόχους που θέτουν τα πληροφορικά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Μικρόπουλος 2003).

Πίνακας 1: Κατηγορίες και υποκατηγορίες εκπαιδευτικού λογισμικού και ψυχολογικές θεωρίες.

<p style="text-align: center;">Συστήματα Καθοδήγησης και Διδασκαλίας (<i>Θεωρίες του Συμπεριφορισμού</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Λογισμικό Εξάσκησης και Πρακτικής • Λογισμικό Καθοδήγησης ή Διδασκαλίας • Εκπαιδευτικά Παιχνίδια • Λογισμικό Πολυμέσων • Έμπειρα Διδακτικά Συστήματα (<i>θεωρία επεξεργασίας της πληροφορίας</i>) 	<p style="text-align: center;">Συστήματα Μάθησης μέσω Ανακάλυψης, Διερεύνησης και Οικοδόμησης (<i>Θεωρίες του εποικοδομισμού και του κοινωνικού εποικοδομισμού</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Εφαρμογές Υπερμέσων • Εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας • Συστήματα Οπτικοποίησης • Συστήματα Εννοιολογικής Χαρτογράφησης • Εφαρμογές Προσομοίωσης • Εφαρμογές Μοντελοποίησης • Εργαστήρια Βασισμένα σε Υπολογιστή • Συσκευές Σύνδεσης με το Περιβάλλον • Συστήματα Ρομποτικής (τύπου Lego) • Μικρόκοσμοι • Προγραμματιστικά Περιβάλλοντα (τύπου Logo) 	<p style="text-align: center;">Συστήματα Έκφρασης, Αναζήτησης και Επικοινωνίας της Πληροφορίας (<i>Κοινωνικοπολιτισμικές θεωρίες</i>)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Εφαρμογές Διαδικτύου • Εργαλεία Διαδικτύου για Συνεργασία και Επικοινωνία • Ψηφιακές Εγκυκλοπαίδειες και Λεξικά • Λογισμικό Γενικής Χρήσης (εφαρμογές γραφείου, κ.λ.π.)
--	---	---

3. Σχεδίαση εκπαιδευτικού λογισμικού σύμφωνα με τη θεωρία του εποικοδομητισμού

Όπως αναφέρθηκε, η θεωρία του εποικοδομητισμού υποστηρίζει ότι η γνώση κατασκευάζεται από το μαθητή χρησιμοποιώντας ως αφετηρία τις προσωπικές του εμπειρίες και νοητικές παραστάσεις και δεν είναι ένα σύνολο από γεγονότα, έννοιες και νόμους που έχουν ανακαλυφθεί (Rezaei and Katz 2002). Επομένως, οι διδασκόμενοι κατανοούν τα γνωστικά αντικείμενα σύμφωνα με το δικό τους τρόπο και δημιουργούν την προσωπική τους γνώση, που όπως αποδεικνύεται είναι συχνά διαφορετική από την επιστημονική. Η θεωρία βασίστηκε στις ιδέες φιλοσόφων όπως οι John Dewey, Jean Piaget, Thomas Kuhn, Lev Vygotsky, Jerome Bruner, και Ernst von Glasersfeld (Rezaei and Katz 2002).

Ο Piaget, έθεσε τα θεμέλια της Γενετικής Επιστημολογίας και η θεωρία του παραμένει, παρά τις ισχυρές κριτικές που δέχτηκε, ένα ισχυρό εργαλείο για τη μελέτη της ανάπτυξης της νοημοσύνης (Ραβάνης 2004). Είναι ο κύριος εκπρόσωπος της προσωπικής οικοδόμησης της γνώσης και δημιουργός του δομικού εποικοδομητισμού, κατά τον οποίο βασικές έννοιες αποτελούν η αφομοίωση, η συμμόρφωση, η προσαρμογή και το σχήμα. Στις απόψεις του Piaget βασίστηκε και αναπτύχθηκε η θεωρία της γλώσσας προγραμματισμού Logo, με εμπνευστή της τον Papert. Ο Papert (1991) πρότεινε τη ‘δομική’ (constructionist) προσέγγιση της μάθησης με υπολογιστή, με τη δημιουργία περιβαλλόντων όπου οι διδασκόμενοι χειρίζονται αντικείμενα και μαθαίνουν με φυσικό τρόπο (Μπέλλου 2003α). Ένας από τους πλέον σύγχρονους τρόπος υλοποίησης των αρχών του εποικοδομητισμού φαίνεται να είναι η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality) (Μικρόπουλος 2003).

Οι δύο πιο σημαντικές τάσεις του εποικοδομητισμού είναι ο ριζοσπαστικός και ο κοινωνικός εποικοδομητισμός. Ο πρώτος με κύριο εκπρόσωπο τον Von Glasersfeld (1995) και ο δεύτερος κυρίως όσον αφορά την Διδακτική των ΦΕ την Driver (Driver 1983, Driver et al. 1996). Παρά το γεγονός ότι η ριζοσπαστική και η κοινωνική προοπτική του εποικοδομητισμού προσεγγίζουν με διαφορετικό τρόπο την διαδικασία της μάθησης ο Ernest (1995) καταλήγει στη διατύπωση των ακόλουθων κοινών θεμελιωδών αξόνων:

- Η γνώση στο σύνολό της δημιουργεί πάντα θέματα προς συζήτηση, όχι μόνο η υποκειμενική γνώση του μαθητή, αλλά και η μαθηματική και λογική γνώση.

- Οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις απαιτείται να είναι προσεκτικές και ευέλικτες, διότι δεν υπάρχει ένας μοναδικός δρόμος που οδηγεί στην αλήθεια.
- Στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος δεν πρέπει να βρίσκονται μόνο οι γνώσεις του μαθητή, αλλά και τα 'πιστεύω' του και οι αντιλήψεις του για τη γνώση.
- Για τους διδάσκοντες και την εκπαίδευσή τους το ενδιαφέρον μας δεν θα πρέπει να εστιάζεται μόνο στη γνώση της ύλης που θα διδάξουν και στις ικανότητές τους να εντοπίζουν τις δυσκολίες των διδασκομένων, αλλά και στα 'πιστεύω' τους, στις αντιλήψεις τους και στις προσωπικές τους θεωρίες για την διδακτέα ύλη, τη διδασκαλία και τη μάθηση.
- Αν και έχουμε την τάση να μαθαίνουμε από τους άλλους ερμηνεύοντας τη γλώσσα και τις πράξεις τους, μέσω των δικών μας εννοιολογικών κατασκευών, οι άλλοι έχουν την δική τους άποψη για την πραγματικότητα που είναι ανεξάρτητη από τη δική μας. Οι πραγματικότητες των άλλων και δικές μας συνυπάρχουν παράλληλα και εμείς προσπαθούμε να τις κατανοήσουμε, αλλά ποτέ δεν θα πρέπει να τις θεωρήσουμε ως μόνιμες.
- Η συνειδητοποίηση της κοινωνικής οικοδόμησης της γνώσης υποδεικνύει ότι πρέπει να δοθεί παιδαγωγικά έμφαση στη συζήτηση, τη συνεργασία, την διαπραγμάτευση και την από κοινού προσπάθεια για την ερμηνεία των εννοιών (shared meanings).

Ο εποικοδομητισμός συνιστά σήμερα ένα από τα κυρίαρχα μοντέλα στο σχεδιασμό σύγχρονου εκπαιδευτικού λογισμικού, αν και έχει πολλές φορές κατακριθεί διότι μεταξύ των άλλων δίνει βαρύτητα στη διαδικασία και όχι μόνο στο περιεχόμενο της γνώσης (Harding and Vining 1997). Ακόμη θεωρεί, όπως διατυπώνεται και πιο πάνω από τον Ernest, ότι η επιστημονική γνώση είναι εύθραυστη και υποκειμένη σε αλλαγές, επομένως δεν αποτελεί αναλλοίωτο τμήμα της επιστήμης. Επιπλέον, σήμερα, με τις σύγχρονες τεχνολογίες της πληροφορίας διαθέτουμε τα εργαλεία για άμεση πρόσβαση στη καινούρια γνώση (Rezaei1 and Katz 2002). Βεβαίως, όπως επισημαίνουν οι Harding and Vining (1997), σπάνια μεταφέρεται η γνώση στους διδασκόμενους πριν να είναι πλήρως αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα.

Όσον αφορά στη σχεδίαση μαθησιακών περιβαλλόντων με τη βοήθεια υπολογιστή σύμφωνα με την εποικοδομητική προσέγγιση και όπως προκύπτει από τους κατευθυντήριους άξονες, που διατυπώθηκαν πιο πάνω, προτείνονται επτά βασικές αρχές σχεδίασης (Boyle 1997):

1. Παροχή εμπειριών σχετικά με τη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης
2. Παροχή εμπειριών και εκτίμηση πολλαπλών προοπτικών
3. Ενσωμάτωση της μάθησης σε ρεαλιστικά περιβάλλοντα τα οποία σχετίζονται άμεσα με τον πραγματικό κόσμο
4. Ενθάρρυνση των απόψεων και της έκφρασής τους στη μαθησιακή διαδικασία
5. Εμπέδωση της μάθησης μέσω κοινωνικής εμπειρίας
6. Ενθάρρυνση της χρήσης πολλαπλών μορφών αναπαράστασης
7. Ενθάρρυνση της αυτοσυναίσθησης στη διαδικασία οικοδόμησης της γνώσης.

Οι σύγχρονες τάσεις στη σχεδίαση του εκπαιδευτικού λογισμικού συμβαδίζουν με τις σύγχρονες προσεγγίσεις στη διδασκαλία των ΦΕ. Και οι δύο τομείς προτείνουν τον εποικοδομητισμό ως θεωρητική βάση για την οικοδόμηση των εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες και στην υλοποίηση εκπαιδευτικών περιβαλλόντων με θετικά μαθησιακά αποτελέσματα (Μπέλλου 2003α).

4. Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Οι ΤΠΕ προωθούν την επιστημονική ανάπτυξη και ταυτόχρονα συνεισφέρουν στην ανάπτυξη της έρευνας για τη διδασκαλία επανακαθορίζοντας τους διδακτικούς στόχους, που αφορούν στις ΦΕ. Η κατανόηση των βασικών εννοιών από μαθητές και σπουδαστές απασχολεί διαρκώς τους διδάσκοντες, ιδιαίτερα δε τα τελευταία χρόνια που φαίνεται ότι το ενδιαφέρον των νέων για τις ΦΕ μειώνεται διαρκώς σε διεθνές επίπεδο.

Στο πλαίσιο της προσπάθειας να βελτιώσουν τις μεθόδους διδασκαλίας ερευνητές της Διδακτικής των ΦΕ, αλλά και διδάσκοντες σε όλες τις εκπαιδευτικές βαθμίδες, έστρεψαν το ενδιαφέρον τους πριν από τρεις σχεδόν δεκαετίες προς την χρήση των υπολογιστών και τη διερεύνηση των επιδράσεων της χρήσης τους στη διδασκαλία. Οι προσπάθειές τους κατευθύνθηκαν προς την ενίσχυση του ρόλου της τεχνολογίας και τη δημιουργία εκπαιδευτικών περιβαλλόντων προσαρμοσμένων στη διδασκαλία συγκεκριμένων γνωστικών αντικειμένων καθώς και τις ιδιαιτερότητες των διδασκόμενων – χρηστών.

Σήμερα, εντάσσουμε τις ΤΠΕ στην εκπαίδευση και ειδικότερα στη διδασκαλία των ΦΕ διότι:

- Η χρήση των ΤΠΕ έχει αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο οι επιστήμονες εργάζονται και αναπτύσσουν τα γνωστικά τους πεδία. Οι δυνατότητες των γρήγορων υπολογισμών, της επεξεργασίας συμβόλων, της παραγωγής εικόνων, της μοντελοποίησης και της προσομοίωσης φαινομένων, της ενσύρματης και ασύρματης επικοινωνίας έχουν μετατρέψει τον υπολογιστή σε βασικό εργαλείο κάθε φυσικού επιστήμονα. Επιπλέον, οι διδασκόμενοι έχουν μια καλύτερη, πιστότερη αλλά και πιο ενδιαφέρουσα εικόνα των επιστημονικών δραστηριοτήτων συμμετέχοντας σε δραστηριότητες που αξιοποιούν τις ΤΠΕ (John and Bagotte la Velle 2004).
- Έχουν αναπτυχθεί εκπαιδευτικά λογισμικά με βασική υπόθεση την υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας. Μερικά από τα χαρακτηριστικά τους είναι τα ακόλουθα (Bransford et al. 2000):
 - φέρνουν στην τάξη προβλήματα του πραγματικού κόσμου, που συναρπάζουν τους μαθητές και ταυτόχρονα σχετίζονται άμεσα με το αναλυτικό πρόγραμμα,
 - προσφέρουν εργαλεία που διευκολύνουν τη μάθηση,

- δίνουν στους διδασκόμενους και τους διδάσκοντες τους ευκαιρίες για ανατροφοδότηση, επανεξέταση και επανάληψη των βασικών προς διδασκαλία εννοιών και αρχών,
 - δημιουργούν τοπικές και παγκόσμιες κοινωνίες, οι οποίες περιλαμβάνουν διδάσκοντες, διευθυντές, φοιτητές, γονείς και επιστήμονες,
 - διευρύνουν τις προοπτικές για μάθηση ακόμη και των διδασκόντων,
 - υποστηρίζουν την ανάπτυξη μεταγνωστικών δεξιοτήτων, επιτρέποντας στους διδασκόμενους να σκέφτονται συνολικά την πορεία των δραστηριοτήτων τους, τους συλλογισμούς και τις διαδικασίες που ενεργοποιήθηκαν.
- ➔ Οι ΤΠΕ είναι πλέον εργαλεία της καθημερινής μας ζωής, οπότε ένας από τους προφανείς στόχους των σύγχρονων προγραμμάτων εκπαίδευσης θα πρέπει να είναι η αξιοποίησή τους για εκπαιδευτικές δραστηριότητες από μικρή ηλικία και με φυσικό τρόπο. Προς την ίδια κατεύθυνση, οι σύγχρονες θεωρίες μάθησης έχουν εντείνει το ενδιαφέρον τους για την σημασία της χρήσης των ΤΠΕ για επικοινωνία, αλληλεπίδραση και συνεργασία διδασκόμενων και διδασκόντων μέσω των τεχνολογικών εφαρμογών, ενισχύοντας της οικοδόμησης της μάθησης μέσω της κοινωνικής αλληλεπίδρασης.

Τα δεδομένα υποδεικνύουν ότι μέχρι ενός σημείου, υπάρχει συσχετισμός μεταξύ του γνωστικού αντικειμένου ως παράδειγμα και του γνωστικού αντικειμένου ως εργαλείου στη διδακτική μεθοδολογία αναφερόμενα στην αξιοποίηση των ΤΠΕ. Για το λόγο αυτό οι καθηγητές των μαθηματικών και των ΦΕ φαίνεται να αποδέχονται πιο εύκολα την πρόκληση αυτή και ανεξάρτητα από την ηλικία ή την εμπειρία τους είναι πιο πρόθυμοι να εντάξουν τις ΤΠΕ στην διδασκαλία (John and Bagotte la Velle 2004). Έτσι μια μεγάλη ποικιλία εκπαιδευτικών λογισμικών για τις ΦΕ έχει εμφανισθεί για το σχεδιασμό νέων διδακτικών στρατηγικών. Από αυτά πιο κάτω αναφέρονται κυρίως όσα μπορούν να αποτελέσουν εργαλεία για την υλοποίηση της εποικοδομητικής θεωρίας μάθησης σύμφωνα με τον Πίνακα 1:

- Τα εργαλεία για λήψη και επεξεργασία δεδομένων, τα οποία εκτείνονται από τα απλά φύλλα εργασίας μέχρι τα πολύ προχωρημένα εργαστήρια μικροϋπολογιστών (Microcomputer Based Laboratories, MBL) και την ανάλυση βιντεοσκοπημένων (video analysis) φυσικών φαινομένων του πραγματικού κόσμου. Με τις μεθόδους αυτές οι διδασκόμενοι μπορούν από πολύ νωρίς να έρχονται σε επαφή με τα φυσικά φαινόμενα, για να συνειδητοποιήσουν ότι είναι πολύ περισσότερο πολύπλοκα από τα θεωρητικά τους μοντέλα και να αναπτύξουν τις δεξιότητες να πειραματίζονται και να επεξεργάζονται τα δεδομένα που προκύπτουν.
- Τα υπερμέσα (hypermedia) αποτελούν δυναμικά συστήματα αναζήτησης και ανάκτησης της πληροφορίας και ανάπτυξης εκπαιδευτικού υλικού (Μικρόπουλος 2003). Έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν την πληροφορία ως συνδυασμό ήχου, κειμένου (υπερκειμένου) και στατικής ή δυναμικής οπτικοποίησης, η οποία είναι πιθανόν να έχει προκύψει από την προσομοίωση του φυσικού φαινομένου και ταυτόχρονα επιτρέπουν στο μαθητή να μαθαίνει αλληλεπιδρώντας με το λογισμικό και επιλέγοντας την σειρά με την οποία θα λαμβάνει τις πληροφορίες. Οι πρώτες έρευνες όμως έδειξαν ότι αντί να ενθαρρύνουν τους χρήστες στη σύνδεση των εννοιών μεταξύ τους μάλλον τους δημιουργούσαν σύγχυση. Οι ερευνητές προσπάθησαν μελετώντας τις δυσκολίες τους και τις διαδρομές που ακολουθούσαν για να συλλέξουν πληροφορίες από τα υπερκείμενα και κατάφεραν να βελτιώσουν τα μαθησιακά αποτελέσματα (Linn 2003).
- Οι μοντελοποιήσεις, προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις θεωρούνται οι πλέον δόκιμες για την υποστήριξη της διδασκαλίας με υπολογιστή, ιδιαίτερα όταν προσφέρουν μεγάλα περιθώρια για μεταβολές των εμπλεκόμενων παραμέτρων (Κόμης και Μικρόπουλος 2002). Οι μικρόκοσμοι (microworlds) αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία προσομοιώσεων μιας ευρείας έκτασης φυσικών διεργασιών και νόμων από σύνθετα υπολογιστικά προγράμματα. Οι διδασκόμενοι μπορούν να αλληλεπιδρούν τοποθετώντας νέα στοιχεία στο μικρόκοσμο, αλλάζοντας παραμέτρους και παρατηρώντας τα αποτελέσματα (Esquembre 2001).

- Οι τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας θεωρούνται από τα ισχυρότερα μελλοντικά εκπαιδευτικά εργαλεία αφού η σχεδίαση συστημάτων εικονικής πραγματικότητας έχει στο κέντρο της τον άνθρωπο και όχι την τεχνολογία, προσαρμόζοντάς την στις φυσιολογικές δραστηριότητες του ανθρώπου (Μικρόπουλος 1998).
- Η τηλεματική και το Διαδίκτυο αξιοποιούν όλους τους προηγούμενους τύπους λογισμικού. Ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός εικονικών κοινοτήτων (virtual communities) δημιουργείται με κοινά ενδιαφέροντα, ο οποίος περιλαμβάνει υλικό από εκπαιδευτικά και ερευνητικά ιδρύματα. Η συνεργατική μάθηση υλοποιείται τόσο σε τοπικά, όσο και σε ευρύτερα δίκτυα. Συνδέονται επίσης με απομακρυσμένα εργαστήρια (remote laboratories) για τη συλλογή δεδομένων κατ' ευθείαν από πραγματικά πειράματα.

Όλες οι προηγούμενες προσεγγίσεις και τεχνολογίες σύμφωνα με τον Papert (1991) μπορούν να υλοποιούνται σε ανοικτά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα, τα οποία είναι κατ' εξοχήν εργαλεία για την ανάπτυξη νοητικών δεξιοτήτων υψηλού επιπέδου και για την οικοδόμηση της γνώσης. Από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασης του χρήστη με αυτά και η μη γραμμική παρουσίαση της πληροφορίας, τα οποία φαίνεται να συνεισφέρουν θετικά στη μαθησιακή διαδικασία (Byrne 1996, Cerpni et al. 2006, Durey and Journeaux 1989, Esquembre 2001). Με αυτόν τον τρόπο οι διδασκόμενοι και οι φοιτητές θα μπορούν να (Jimoyiannis and Komis 2001):

- αναπτύξουν τη δυνατότητα κατανόησης των φαινομένων και των φυσικών νόμων δια μέσου της διατύπωσης του ελέγχου των υποθέσεών τους
- απομονώνουν και να επεξεργάζονται τις διάφορες παραμέτρους, ώστε να κατανοούν τις σχέσεις μεταξύ εννοιών, μεταβλητών και φαινομένων
- εφαρμόζουν μια ποικιλία αναπαραστάσεων (στατικών και δυναμικών οπτικοποιήσεων, γραφημάτων, αριθμητικών δεδομένων), που είναι χρήσιμες για την κατανόηση των εμπλεκόμενων εννοιών, σχέσεων και διαδικασιών
- διερευνούν φαινόμενα, τα οποία δε θα ήταν δυνατό να αναπαραχθούν στην τάξη ή το εργαστήριο.

Συνεχείς μελέτες έδειξαν ότι οι υπολογιστές έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν τις επιδόσεις των διδασκομένων, αλλά μόνο στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν κατάλληλα σαν μέρος μιας ολοκληρωμένης διδακτικής παρέμβασης (Esquembre 2001, Linn 2003, Baggott La Velle all. 2003, Μικρόπουλος 2003, Καλκάνης 2004). Τα διαφορετικά μαθησιακά περιβάλλοντα αποκάλυψαν με σαφήνεια την ανάγκη υλοποίησης ερευνών στην τάξη για την επίτευξη καθορισμένων μαθησιακών στόχων όπως η νοητική αλλαγή, η κατανόηση της φύσης της επιστημονικής έρευνας και η εξοικείωση με τα πειραματικά δεδομένα.

Ενώ όμως στην επιστημονική κοινότητα οι ΤΠΕ αξιοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό, όσο αφορά στην υλοποίηση των ερευνών αλλά και στην καθημερινή πρακτική τους, παρατηρείται μια μεγάλη καθυστέρηση στην ενσωμάτωσή τους στη σχολική πραγματικότητα για τη διδασκαλία των ΦΕ παρά τις μεγάλες επενδύσεις σε χρήματα, χρόνο και ανθρώπινο δυναμικό. Η Baggott La Velle και οι συνεργάτες της (2003) υποστηρίζουν ότι οι γνώσεις των εκπαιδευτικών πρέπει να αναμορφωθούν ώστε να γίνουν παιδαγωγικά αποτελεσματικές. Στο πλαίσιο αξιοποίησης των ΤΠΕ για τις ΦΕ αυτό περιλαμβάνει:

- Προετοιμασία: Εξονυχιστική έρευνα και επιλογή του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί στη διδασκαλία. Γνωρίζοντας ποιες είναι οι διαθέσιμες εφαρμογές των ΤΠΕ θα πρέπει να επιλέγονται κάθε φορά οι κατάλληλες.
- Αναπαράσταση: Μελέτη για την καλύτερη ανάδειξη των σημαντικών εννοιών και αναπαράστασή τους μέσω αναλογιών, παραδειγμάτων κλπ.
- Επιλογή της διδακτικής μεθόδου: Επιλογή της στρατηγικής για την ενσωμάτωση των ΤΠΕ στη συγκεκριμένη διδακτική παρέμβαση, για παράδειγμα αν θα γίνει η αναπαράσταση ενός μοντέλου του μικρόκοσμου με τη χρήση τρισδιάστατης προσομοίωσης ή θα κατασκευαστεί με συναρμολόγηση πλαστικών μοντέλων (ball and sticks).
- Προσαρμογή (Διαφοροποίηση): Προσαρμογή των συγκεκριμένων εργαλείων στις ικανότητες και τα χαρακτηριστικά των διδασκομένων.

Από όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω γίνεται φανερό ότι ο ρόλος των ΤΠΕ στη διδασκαλία των ΦΕ δεν είναι ίδιος σε όλες τις περιπτώσεις και επομένως αντί για ένα γενικό σχεδιασμό, για τη διδασκαλία κάθε επιστημονικού θέματος απαιτείται η κατανόηση των συγκεκριμένων δυσκολιών των διδασκομένων για την ακριβή καθοδήγησή τους. Ανάλογα με τους διδακτικούς στόχους και εφ' όσον η ανακαλυπτική επιστημονική μέθοδος παίζει κεντρικό ρόλο, οι ΤΠΕ μπορεί να υποστηρίζουν τις δραστηριότητες στο εργαστήριο ή να το αντικαθιστούν από ένα εικονικό περιβάλλον. Επιπλέον δυναμικές προσομοιώσεις μπορούν να συνδέουν την επιστημονική θεωρία με τις εφαρμογές της.

Μια διαφορετική πρακτική είναι να χρησιμοποιείται ο πλούτος των εφαρμογών που βρίσκονται στο Διαδίκτυο για να έρχονται σε επαφή οι διδασκόμενοι με επιστημονικά θέματα που θεωρούν περισσότερο ενδιαφέροντα από αυτά που περιέχονται στα σχολικά προγράμματα και συχνά θεωρούνται ανιαρά. Έτσι θα αποκτήσουν εμπειρία διαφορετικών προσεγγίσεων της επιστημονικής γνώσης, ώστε μελλοντικά να γίνουν επιστημονικά ενημερωμένοι πολίτες ή να επιλέξουν την επαγγελματική ενασχόληση με τις ΦΕ (McFarlane and Sakellariou 2002).

5. Μοντέλα και διαδικασίες μοντελοποίησης

Το μοντέλο είναι προϊόν της ανθρώπινης σκέψης, το οποίο μας επιτρέπει να ασχοληθούμε με κάποιες όψεις ενός φαινομένου πολλές φορές απρόσιτες για διάφορες αιτίες στην εμπειρία μας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του συνιστούν μια αφηρημένη δομή (οποιοδήποτε μοντέλο του ατόμου) ή συγκεκριμένα αντικείμενα κατασκευασμένα κατ' αναλογία με το μελετώμενο αντικείμενο (τα μοντέλα των χημικών ενώσεων που αποτελούνται από μπαλάκια ενωμένα με ελατήρια), συνδέονται με μαθηματικές σχέσεις και με ερμηνευτικά σχήματα. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις μας επιτρέπουν να εργαζόμαστε πάνω σε κάτι άλλο εκτός της πραγματικότητας, που θα μπορούσε να την ερμηνεύσει (Druin 1988).

Σύμφωνα με την Druin (1988) αν και ένας ορισμός δεν μπορεί παρά να είναι φτωχός για μια τόσο πολυσήμαντη έννοια, το μοντέλο είναι 'κάτι' που υποκαθιστά την πραγματικότητα η οποία είναι πολύπλοκη, ή απροσπέλαστη από τις αισθήσεις μας, και που μας επιτρέπει να την κατανοήσουμε με την βοήθειά του, επειδή είναι πιο γνωστό ή πιο προσιτό στη γνώση. Όμως αυτό το υποκατάστατο καμιά φορά χρησιμοποιείται όχι απλά για να ερμηνεύσει μια διαδικασία, αλλά και για τον υπολογισμό κάποιων μεταβλητών, για την πρόβλεψη κάποιων συμπεριφορών, ενώ η ίδια η μελετώμενη πραγματικότητα παραμένει ένα 'μαύρο κουτί'.

Ως τέτοιο παράδειγμα 'μαύρου κουτιού' θα μπορούσαμε να προτείνουμε το άτομο της ύλης, διότι παρά τα διάφορα μοντέλα που έχουν κατασκευασθεί και γίνει αποδεκτά κατά την διάρκεια της εξέλιξης των ΦΕ παραμένει απρόσιτο στην ανθρώπινη εμπειρία. Εάν δεχθούμε ότι το πραγματικό αντικείμενο συμπεριφέρεται ή το πραγματικό φαινόμενο εξελίσσεται όπως ακριβώς προβλέπει το μοντέλο μπορεί να οδηγηθούμε σε παρανοήσεις. Το σημαντικό είναι να βρουν οι διδασκόμενοι με τη βοήθεια του διδάσκοντα, πότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ποια είναι τα όριά του.

Για τη δημιουργία ενός μοντέλου συχνά αφαιρούνται πολλά από τα χαρακτηριστικά του κόσμου της εμπειρίας μας που φαίνονται άσχετα με τα ερωτήματα στα οποία αναζητείται η απάντηση με την χρήση του. Με αυτή τη διαδικασία της απλοποίησης η προσοχή εστιάζεται στο φαινόμενο, στις βασικές οντότητες που συμμετέχουν σε αυτό, στις χωρικές και χρονικές σχέσεις τους, στις αιτίες αυτών των σχέσεων και τις πιθανές μεταβολές, οι οποίες θα προκληθούν από τις μεταβολές αυτών των οντοτήτων. Έτσι, οι απλουστευμένες αναπαραστάσεις – μοντέλα μπορούν να απομνημονευθούν καθώς πολλές φορές έχουν την μορφή μιας εικόνας και απαιτούν λιγότερη απομνημονευτική ικανότητα από το πρωτότυπο (Gilbert and Boulter 1998a). Σύμφωνα με τους Korzybski και Kendig (1942) το μοντέλο είναι σαν το χάρτη: αναπαριστά επιλεγμένα στοιχεία μιας περιοχής με δεδομένο ότι κανένας χάρτης ή μοντέλο δεν μπορούν να περιλάβουν όλα τα στοιχεία της πραγματικότητας που περιγράφουν.

Μοντελοποίηση (modelling) θεωρείται η διαδικασία δημιουργίας μοντέλων, δηλαδή η αναπαράσταση ενός αντικειμένου ή μιας κατάστασης μέσω διαδικασιών, που παρέχουν δυνατότητες χειρισμού των συνθηκών και των παραμέτρων της αναπαράστασης, με τελικό σκοπό τη μελέτη του αντικειμένου ή της κατάστασης (Futo and Gergely 1990).

Οι επιστήμονες, που ασχολούνται με τα μοντέλα και τις διαδικασίες μοντελοποίησης, αλλά και οι ερευνητές της Διδακτικής των ΦΕ θεωρούν ότι είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένα με τη διδασκαλία και τη μάθηση, απαραίτητα για να σκέφτεται και να εργάζεται κανείς επιστημονικά και ότι η επιστήμη δεν διαχωρίζεται από τα μοντέλα που χρησιμοποιεί, διότι είναι προϊόντα της και τα σημαντικότερα εργαλεία της (Gilbert and Boulter 1993, 2000, Linn 2003). Όταν πολλά φαινόμενα δεν μπορούν να αναπαραχθούν στην τάξη λόγω έλλειψης χρόνου, τεχνικών δυσκολιών ή επικινδυνότητας χρησιμοποιούνται μοντέλα αυτών των αντικειμένων ή των διαδικασιών. Κυρίως όμως η διαδικασία μοντελοποίησης είναι μία σημαντική στρατηγική εποικοδομητικής διδασκαλίας (Harrison and Treagust 1996).

Τα μοντέλα παρέχουν τα μέσα για διερεύνηση, περιγραφή και ερμηνεία επιστημονικών ιδεών και κάνουν την επιστημονική εργασία περισσότερο ενδιαφέρουσα. Για τους διδασκόμενους αυτό είναι πολύ σημαντικό διότι εμπλέκονται στην διαδικασία κατανόησης επιστημονικών ιδεών, οπότε τις βρίσκουν περισσότερο ενδιαφέρουσες και αποφασίζουν να ασχοληθούν με αυτές (Harrison and Treagust 2000).

Η δημιουργία ενός μοντέλου καθορίζεται κυρίως από τους στόχους των επιθυμητών γνωστικών και σχεδιαστικών δραστηριοτήτων. Με τις γνωστικές δραστηριότητες καθορίζεται το επίπεδο περιγραφής, διερεύνησης και ανάλυσης του υπό μελέτη αντικειμένου (διδακτικός μετασχηματισμός), ενώ με τις σχεδιαστικές δραστηριότητες δημιουργείται νέα πληροφορία που θα επηρεάσει το περιβάλλον (γνώση) (Μικρόπουλος 2003). Τα προβλήματα εμφανίζονται όταν ο σκοπός για τον οποίο δημιουργείται ένα μοντέλο δεν είναι συγκεκριμένοι, οπότε συχνά ταυτίζεται με την πραγματικότητα και υπέρτατο κριτήριο για την αξία του είναι η προσέγγισή του ή η ανταπόκρισή του σ' αυτήν (όπως συμφωνούμε να την ορίζουμε σε κάθε περίπτωση) (Κεκές 2004).

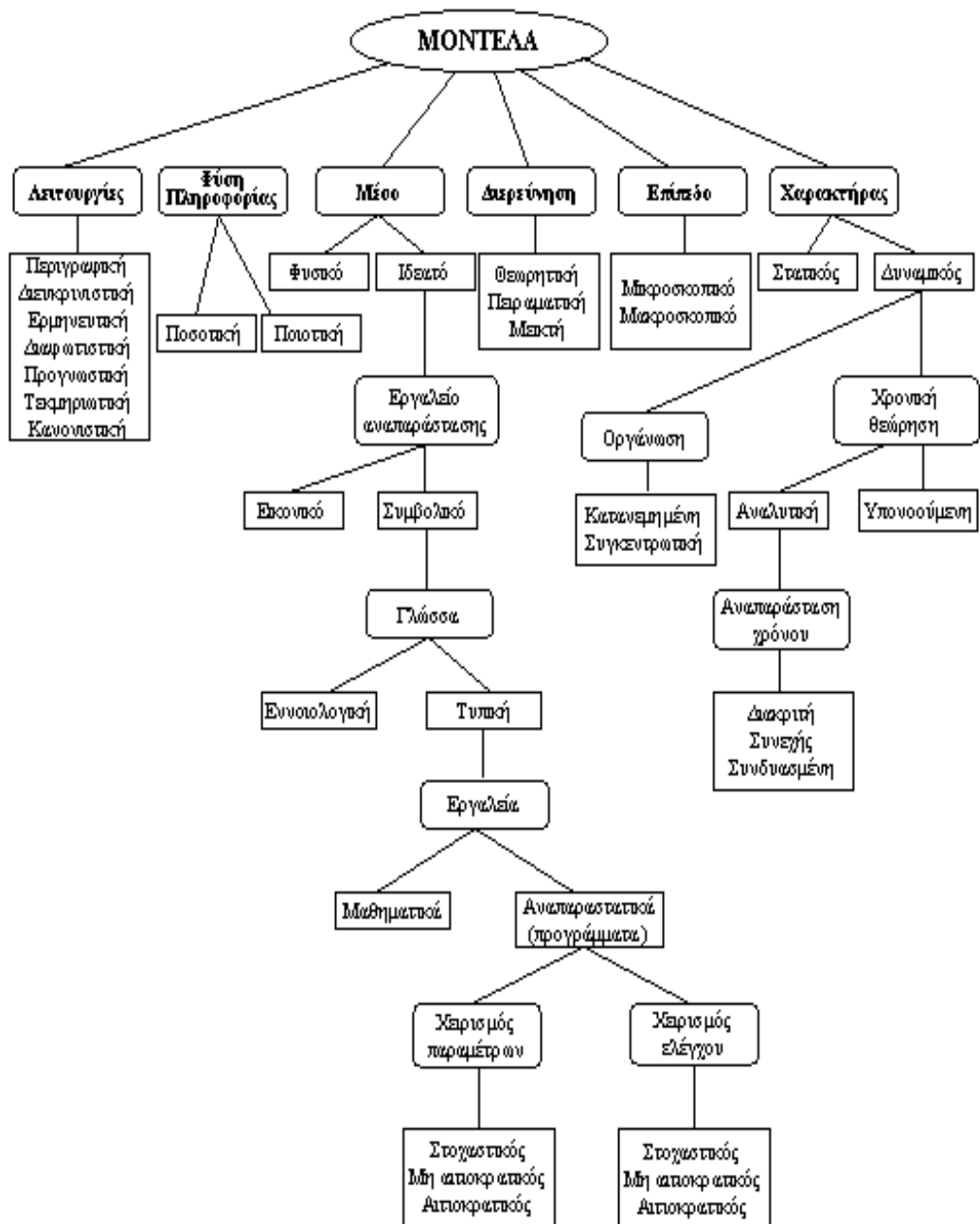
Η έρευνα έδειξε ότι οι περισσότεροι φοιτητές μπορούν να δημιουργούν μοντέλα, όταν καθοδηγούνται στη διάρκεια καλά σχεδιασμένων διδακτικών παρεμβάσεων ή υποστηρίζονται από το κατάλληλο εκπαιδευτικό λογισμικό. Αλλά, διατηρούν τις ιδέες τους για τη φύση του μοντέλου στηριζόμενοι στην προηγούμενη γνώση τους για τα μοντέλα της καθημερινής τους πρακτικής και δεν μπορούν να κατανοήσουν εύκολα, πώς προχωρά η επιστήμη με την βοήθεια των μοντέλων, ακόμη και όταν έρθει σε επαφή με μοντέλα του μικρόκοσμου (Linn 2003).

Μια περιεκτική μορφή ταξινόμησης των μοντέλων παρουσιάζεται διαγραμματικά στο σχήμα 3.1 (Μπέλλου 2003α). Την πρώτη κατηγορία ταξινόμησης αποτελούν οι κύριες λειτουργίες κάθε μοντέλου: η περιγραφική, η επεξηγηματική, η ερμηνευτική και η διαφωτιστική. Η δεύτερη κατηγοριοποίηση γίνεται σύμφωνα με τη φύση της πληροφορίας, την οποία αναπαριστούν και παρέχουν σε μία διαδικασία μοντελοποίησης, η οποία μπορεί να είναι ποσοτική ή ποιοτική. Η τρίτη κατηγοριοποίηση οργανώνεται σύμφωνα με το μέσο υλοποίησης ενός μοντέλου, που μπορεί να είναι φυσικό ή ιδεατό. Το εργαλείο αναπαράστασης ενός ιδεατού μοντέλου μπορεί να είναι απεικονιστικό, όπως η οπτική αναπαράσταση ενός ατομικού μοντέλου ή συμβολικό, όπως τα μαθηματικά μοντέλα. Οι ΤΠΕ υποστηρίζουν και τους τρεις τύπους των μέσων φυσικό, απεικονιστικό και συμβολικό, υλοποιώντας τα με τεχνικές στατικών ή κινούμενων γραφικών.

Ως προς τον τρόπο με τον οποίο μπορούν να διερευνηθούν τα μοντέλα για να παράγουν την απαιτούμενη πληροφορία, διακρίνονται σε *θεωρητικά, πειραματικά και μικτά*. Τα πρώτα μπορούν να διερευνηθούν με εργαλεία συγκεκριμένων θεωριών, που περιγράφονται από τυπικές γλώσσες. Τα εργαλεία μπορεί να είναι μαθηματικά ή αναπαραστατικά στα οποία ο χειρισμός των παραμέτρων ή του ελέγχου μπορεί να είναι στοχαστικός, αιτιοκρατικός ή μη. Η διερεύνηση στα πειραματικά μοντέλα γίνεται με πειραματισμό, που αφορά αλλαγές των παραμέτρων του μοντέλου και μελέτη των αποτελεσμάτων τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται ταυτόχρονα θεωρητική και πειραματική μελέτη, οπότε αναφερόμαστε τα μικτά μοντέλα.

Η επόμενη ταξινόμηση των μοντέλων αφορά στο επίπεδο από το οποίο το μοντέλο ξεκινά την υλοποίησή του. Το μακροσκοπικό επίπεδο αναφέρεται στη σχεδίαση του τελικού μοντέλου από τα συστατικά του με τις λειτουργίες τους και τις μεταξύ τους σχέσεις. Το μικροσκοπικό επίπεδο αναφέρεται στα χαρακτηριστικά και τη συμπεριφορά καθενός από τα συστατικά μέρη του τελικού μοντέλου. Τέλος, ο χαρακτήρας αποτελεί μια ξεχωριστή κατηγοριοποίηση των μοντέλων που τα διακρίνει σε στατικά και δυναμικά. Τα δυναμικά μοντέλα αναπαριστούν αντικείμενα, φαινόμενα ή καταστάσεις, τα οποία επιδέχονται κυρίως χρονικές μεταβολές.

Ακολουθώντας την ταξινόμηση του Διαγράμματος 1, οι οπτικοποιήσεις της ΚΘΑ θα μπορούσαν να ανήκουν στα περιγραφικά, ερμηνευτικά, προγνωστικά και τεκμηριωτικά μοντέλα. Η φύση της πληροφορίας που παρουσιάζουν να είναι ποιοτική. Ως προς τον τρόπο διερεύνησής τους τα μοντέλα ταξινομούνται στα θεωρητικά αφού δημιουργήθηκαν βασίζόμενα στη κβαντική θεωρία. Ως προς το επίπεδό τους ανήκουν στα μικροσκοπικά και ως προς το χαρακτήρα τους, θα μπορούσαν να είναι τόσο στατικά όσο και δυναμικά, με τη χρονική και τη χωρική θεώρηση του όρου. Τέλος σε ένα ιεραρχικά βαθύτερο επίπεδο ως προς το μέσο, τα εργαλεία αναπαράστασης προτείνεται να είναι εικονικά, αλλά και συμβολικά όχι στο επίπεδο της παρουσίασης της πληροφορίας, αλλά στον τρόπο δημιουργίας της, μέσω των εξειδικευμένων λογισμικών, ενώ ο χειρισμός των παραμέτρων στοχαστικός.



Διάγραμμα 1 - Ταξινόμηση μοντέλων (Μπέλλου 2003α προσαρμογή από Futo and Gergely 1990)

6. Προσομοιώσεις

Ως προσομοιώσεις θεωρούνται τα μοντέλα, τα οποία κατασκευάζονται με την χρήση αλγοριθμικών γλωσσών ή γενικότερα από λογισμικό και η μελέτη υλοποιείται σε υπολογιστή. Στα σύγχρονα υπολογιστικά περιβάλλοντα παρέχεται η δυνατότητα για μεταφορά και επομένως για την υλοποίηση της προσομοίωσης του οποιουδήποτε μοντέλου φυσικού, εικονικού ή συμβολικού. Έτσι ως προσομοίωση (simulation, computer simulation) ορίζεται η αναπαράσταση ενός αντικειμένου, μίας κατάστασης ή ενός φυσικού ή κοινωνικού φαινομένου με την βοήθεια λογισμικού, με δυνατότητες χειρισμού συνθηκών και παραμέτρων για μελέτη. Ειδικότερα θα μπορούσαμε να επισημάνουμε ότι ο υπολογιστής ανταποκρίνεται μαθηματικά σε δεδομένα και σε μεταβαλλόμενες συνθήκες σαν να ήταν το ίδιο το αντικείμενο ή το φαινόμενο.

Στη μαθησιακή διαδικασία η προσομοίωση θέτει το μαθητή σε καταστάσεις παρόμοιες με την πραγματικότητα που του παρέχουν ανάδραση σε πραγματικό χρόνο για αποφάσεις, δράσεις και ερωτήματα. Πρέπει να είναι δυναμική, παρέχοντας επιλογή των μεταβλητών εκείνων που θεωρούνται σημαντικές σύμφωνα με το διδακτικό μετασχηματισμό, να παρέχει κίνητρα στο μαθητή με την αξιοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων, και να κάνει φανερό για το παιδί τη σχέση των επιδράσεών τους με την εξέλιξη του φαινομένου που προσομοιώνεται (Ράπτης και Ράπτη 2000).

Ο Thomas (1995) επισημαίνει ότι για τη δημιουργία, απόδοση και αξιοποίηση των προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία πρέπει να ακολουθούνται τα τέσσερα βασικά στάδια τα οποία ακολουθούνται από τους επιστήμονες και κυρίως διακρίνουν τις προσομοιώσεις από τα απλά κινούμενα σχέδια (Μπέλλου 2003α):

- *Η συλλογή δεδομένων:* Τα δεδομένα μπορούν να αποκτηθούν μέσω αισθητήρων ή να καταγραφούν από άμεση παρατήρηση φυσικών φαινομένων. Μπορούν επίσης να προκύψουν από αριθμητική προσομοίωση φαινομένων και καταστάσεων.
- *Ο μετασχηματισμός των δεδομένων για διαχείρισή τους από τον υπολογιστή:* Δεδομένα που προέρχονται από αισθητήρες υπόκεινται σε δειγματοληψία και ψηφιοποίηση. Τα δεδομένα της αριθμητικής προσομοίωσης είναι έτοιμα για το επόμενο στάδιο, ενώ αυτά που προκύπτουν από άμεση παρατήρηση εισάγονται απευθείας στον υπολογιστή μέσω των κατάλληλων interfaces.

- *Η απόδοση της προσομοίωσης:* Υλοποιείται κυρίως ως γραφικές παραστάσεις, οπτικοποίηση επιφάνειας και όγκου, κινούμενη εικόνα, και εικονικά περιβάλλοντα. Ως μορφή παρουσίασης της προσομοίωσης αξιοποιούνται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις και αριθμητικά δεδομένα.
- *Η ανάλυση των αποτελεσμάτων, η μελέτη των προσομοιώσεων και η εξαγωγή συμπερασμάτων:* Αφορούν το μαθητή, αλλά και τον εκπαιδευτικό.

Η αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης ως γραφικών παρέχει την δυνατότητα αξιοποίησής τους μέσα από την διαδικασία οπτικοποίησης των πληροφοριών που μεταφέρουν.

7. Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση

Η εικονική πραγματικότητα (ΕΠ) αποτελεί έναν από τους πλέον σύγχρονους τομείς της πληροφορικής. Παρέχει μια νέα διάσταση στις εφαρμογές της επιστήμης των υπολογιστών και θεωρείται ως ένα από τα πλέον σύγχρονα εργαλεία στη μαθησιακή διαδικασία (Στρουμπούλης 2005). Ως ΕΠ ορίζεται ο συνδυασμός ισχυρών υπολογιστών, δικτύων, interfaces, γραφικών, αισθητήρων και ενεργοποιητών, με στόχο την παρουσία και την αλληλεπίδραση του χρήστη σε πραγματικό χρόνο με τρισδιάστατα συνθετικά περιβάλλοντα που αναπαριστούν πραγματικές ή μη καταστάσεις. Συνδυάζει μοντελοποιήσεις, προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις και παρέχει εμπειρίες πρώτου προσώπου, δηλαδή ο χρήστης γίνεται συμμετέχων σε ένα εικονικά πραγματικό κόσμο (Winn 1993, Pantelidis 1993, 1997, Kameas et al. 2000, Μικρόπουλος 2003, Στρουμπούλης 2005). Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η σχέση μεταξύ του περιβάλλοντος και του χρήστη, όπου ο βαθμός της άμεσης εμπειρίας εμπύθισης σ' αυτό καθορίζει την επικοινωνία. Το οπτικό πεδίο του χρήστη αλλάζει σε πραγματικό χρόνο ως άμεση απάντηση στις ενέργειές του. Αυτός ο έλεγχος του οπτικού πεδίου προκαλεί την αντίληψη του περιεχομένου σε βάθος. Η υψηλή ποιότητα των αισθητήριων πληροφοριών, προερχόμενες από το οπτικό πεδίο, τον ήχο και την αφή, παράγονται από τον υπολογιστή και αποδίδονται στους χρήστες μέσω ειδικών συσκευών διεπαφών (Στρουμπούλης 2005).

Τα χαρακτηριστικά που παρέχουν οι εικονικές πραγματικότητες για την υποστήριξη της μάθησης είναι κυρίως τα ακόλουθα (Μικρόπουλος 2002):

- *Μέγεθος*: Το εικονικό περιβάλλον παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να αλλάξει το φυσικό του μέγεθος, ώστε να περιηγείται και να αλληλεπιδρά στον μικρόκοσμο και στον μακρόκοσμο.
- *Μεταγωγή*: Αφορά στη διαδικασία αντίληψης μη αισθητών σημάτων, όπως για παράδειγμα ηχητικά ή οπτικά σήματα που δε βρίσκονται στις περιοχές αντίληψης του ανθρώπου. Τα χαρακτηριστικά του μεγέθους και της μεταγωγής παρέχουν δυνατότητες μελέτης αντικειμένων και φαινομένων αδύνατο να παρατηρηθούν λόγω του μεγέθους, των ιδιοτήτων και της θέσης τους. Για παράδειγμα μπορεί να παρακολουθήσει τη διάδοση του φωτός στο χώρο ή οποιουδήποτε άλλου ηλεκτρομαγνητικού κύματος ή το υπεριώδες ηλεκτρομαγνητικό κύμα που προκαλεί τη διέγερση ενός ατόμου προσπίπτοντας σε αυτό.

- *Πραγμάτωση*: Αφορά το μετασχηματισμό αφηρημένων εννοιών σε αντιληπτικές αναπαραστάσεις με παραδείγματα την οπτικοποίηση της πυκνότητας πιθανότητας.
- *Αυτονομία*: Δηλώνει την ανεξαρτησία του περιβάλλοντος από τις δράσεις του χρήστη. Το εικονικό φυσικό περιβάλλον υπάρχει και λειτουργεί όπως το πραγματικό, με τους φυσικούς νόμους και φαινόμενα να ισχύουν ανεξάρτητα από τις ενέργειες του χρήστη σε δεδομένο χρόνο και χώρο.
- *Παρουσία*: Ο χρήστης έχει την αίσθηση της παρουσίας του στο εικονικό περιβάλλον, πλήρη ελευθερία κινήσεων στον τρισδιάστατο χώρο με έξι βαθμούς ελευθερίας, αποκτώντας 'εμπειρίες' πρώτου προσώπου
- *Αλληλεπίδραση*: Ο χρήστης αλληλεπιδρά στο εικονικό περιβάλλον χειριζόμενος εικονικά αντικείμενα με φυσιολογικούς χειρισμούς που προσεγγίζουν την πραγματικότητα. Το σύστημα είναι σχεδιασμένο γύρω από το χρήστη, προσπαθώντας να προσαρμόσει την τεχνολογία σ' αυτόν και όχι το αντίθετο.

Οι αναπαραστάσεις που δημιουργούνται με τη γλώσσα VRML (Virtual Reality Modeling) και τελικό αποτέλεσμα ταινίες τύπου video δεν αποτελούν εικονικά περιβάλλοντα όπως περιγράφηκαν, αφού δεν διαθέτουν τα πιο πάνω χαρακτηριστικά. Το ίδιο ισχύει και για όλες τις τρισδιάστες αναπαραστάσεις που δημιουργούνται από σχεδιαστικά προγράμματα (Μικρόπουλος 2004).

Τα Εικονικά Περιβάλλοντα έδωσαν νέες δυνατότητες στην αλληλεπίδραση του μαθητή με τον υπολογιστή με κύριο χαρακτηριστικό την αμεσότητα της δράσης και αναμένεται να παίξουν ένα ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στον μελλοντικό σχεδιασμό διδακτικών προσεγγίσεων δίνοντας έμφαση στην οικοδόμηση της γνώσης (Dede 1995, Winn et al. 1999, Winn and Windschitl 2000 Στρουμπούλης 2005). Ενισχύουν εναλλακτικές μορφές μάθησης που απευθύνονται σε διδασκόμενους με διαφορετικές ικανότητες, ανάγκες και ενδιαφέροντα και τα αποτελέσματα της αξιολόγησης ποικίλων εκπαιδευτικών εφαρμογών είναι θετικά (Byrne 1996, Mikropoulos et al. 1998, Dede et al. 2000, Trindande et al. 2002).

Διεθνώς η επιστημονική έρευνα στον τομέα της εκπαιδευτικής τεχνολογίας ασχολείται κυρίως με το σχεδιασμό και την ανάπτυξη των συστημάτων ΕΠ για την εισαγωγή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία που αφορά μια μεγάλη ποικιλία γνωστικών αντικειμένων και βαθμίδων εκπαίδευσης. Οι περισσότερες από τις μέχρι τώρα μελέτες αναφέρονται στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των εικονικών περιβαλλόντων και όχι στις ιδιαίτερες ιδιότητές τους που αξιοποιούνται παιδαγωγικά. Επομένως τα ουσιώδη χαρακτηριστικά τους που σηματοδοτούν την ΕΠ σαν ένα πολλά υποσχόμενο και δυνατό εργαλείο, δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί αρκετά (Μικροπούλος 2006).

Ειδικότερα, πολλοί από τους ερευνητές μέχρι τώρα, φαίνεται να ενδιαφέρονται για την αξιολόγηση της στάσης των διδασκομένων απέναντι στα περιβάλλοντα ΕΠ (Μικροπούλος et al. 1998, Kameas et al. 2000, Bakas et al. 2003, Μικροπούλος et al. 2003), της εμπειρίας της μάθησης και της αλληλεπίδρασης των διδασκομένων και των χαρακτηριστικών των διδασκομένων (Μικροπούλος et al. 1998, Salzman et al. 1999, Kameas et al. 2000, Crosier et al. 2002, Bakas et al. 2003, Μικροπούλος et al. 2003,), της χρηστικότητας των εικονικών περιβαλλόντων (Roussos et al. 1999, Μικροπούλος and Strouboulis 2004), της συνεργασίας μεταξύ των διδασκομένων (Milton and Garbi 2000, Keating et al. 2002) του ρόλου του διδάσκοντος (Keating et al. 2002, Μικροπούλος et al. 2003) και των αντιληπτικών διαδικασιών που εμπλέκονται στην ΕΠ (Antonietti and Cantoia 2000). Υπάρχουν όμως λίγες αναφορές για συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα, διότι λίγες μελέτες παίρνουν υπόψη τους τις νοητικές διαδικασίες και κυρίως αυτές που ενεργοποιούνται κατά τη μάθηση. Επιπλέον, συγκεκριμένοι μαθησιακοί στόχοι σπάνια περιγράφονται στη μελέτη των εκπαιδευτικών περιβαλλόντων ΕΠ (Μικροπούλος 2006).

8. Η αίσθηση της παρουσίας στα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα

Η αίσθηση της παρουσίας χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές για να προσδιορισθεί η τεχνολογία της ΕΠ, δίνοντας έμφαση στο γεγονός ότι ο χρήστης θεωρεί πως είναι παρών στο χρόνο και στο χώρο, ‘μέσα’ στο εικονικό περιβάλλον. Είναι μία γνωστική - νοητική κατάσταση, που προκύπτει από πληροφορίες τις οποίες συλλέγουν τα ανθρώπινα αισθητήρια όργανα και μεταβιβάζουν στον εγκέφαλο (Barfield et al. 1998 στο Στρουμπούλης 2005). Ενώ δεν είναι μια ιδιότητα της τεχνολογίας, προκαλείται από αυτήν, όταν ενεργοποιούνται κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της και διαφέρει σε σημαντικά από άνθρωπο σε άνθρωπο.

Γενικά οι τεχνολογίες της ΕΠ σχεδιάζονται με σκοπό να παρέχουν στο χρήστη μια εμπειρία που θα μοιάζει φυσική, άμεση και πραγματική, προσπαθώντας να δημιουργήσουν μια έντονη αίσθηση ‘παρουσίας’ εφόσον έχει αναγνωρισθεί ότι αυτή παίζει σημαντικό ρόλο στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή και στο σχεδιασμό διεπιφανειών για εφαρμογές που αφορούν την επιστήμη, την υγεία, τη διασκέδαση, την κατάρτιση και την εκπαίδευση (Στρουμπούλης 2003). Ο χρήστης τοποθετείται μέσα σε ένα τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον με αποτέλεσμα να αντιλαμβάνεται περισσότερο την αλληλεπίδραση με αυτό από ότι με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή που δημιουργεί το περιβάλλον (Robertson et al. 1997).

Η επιτυχία αυτής της αίσθησης της ‘παρουσίας’ εξαρτώνται από τη διαθέσιμη τεχνολογία, τη γνώση σχετικά με το τι χρειάζονται οι χρήστες για να αντιληφθούν και να εκτελέσουν μία ενέργεια στο εικονικό περιβάλλον όπως αυτή θα γινόταν στο φυσικό περιβάλλον και γενικότερα από τον βαθμό ομοιότητας των εικονικών με τον πραγματικό κόσμο.

Στα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα ο μαθητής, στο βαθμό που καταφέρει να βιώσει την αίσθηση της παρουσίας, αντιλαμβάνεται τον εαυτό του ευρισκόμενο μέσα στον παραγόμενο από τον υπολογιστή κόσμο, έχοντας ως ενεργός χρήστης τον έλεγχο της εμπειρίας του. Στην περίπτωση αυτή η μάθηση ενισχύεται και τα εικονικά περιβάλλοντα γίνονται καλύτερα εκπαιδευτικά εργαλεία από όλα τα άλλα εκπαιδευτικά πληροφορικά περιβάλλοντα (Witmer and Singer 1998 στο Στρουμπούλης 2005). Επομένως, η δημιουργία καταστάσεων, όπου ο μαθητής θα υπερβαίνει τον περιορισμό του από το μέσο – υπολογιστή, παραβλέποντας την τεχνολογία του έστω και στιγμιαία,

αναμένεται να συμβάλλει θετικά στην οικοδόμηση της γνώσης όπως φαίνεται από τις μέχρι τώρα έρευνες.

Όμως, το σημαντικότερο ζήτημα σε μια εκπαιδευτική εφαρμογή είναι η απόκτηση των απαιτούμενων πληροφοριών και η δημιουργία των κατάλληλων νοητικών αναπαραστάσεων και μοντέλων από το χρήστη, ώστε να ενσωματώσει νέα γνώση στις γνωστικές του δομές (Μικρόπουλος 2003). Ως εκ τούτου, αν και οι διδασκόμενοι αναφέρουν ότι απολαμβάνουν να χρησιμοποιούν την τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας, σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία συγκεκριμένων μαθησιακών στόχων είναι η υλοποίηση ολοκληρωμένων εκπαιδευτικών σεναρίων στα οποία θα περιλαμβάνονται συγκεκριμένες δραστηριότητες βασισμένες σε έρευνα που θα έχει προηγηθεί.

Διαρκώς αυξάνονται οι εκπαιδευτικές εφαρμογές που υλοποιούνται με τη χρήση εικονικών περιβαλλόντων και αφορούν ένα μεγάλο εύρος γνωστικών αντικειμένων. Για όλες αυτές απαιτείται καλύτερη κατανόηση της συμμετοχής των διαφόρων χαρακτηριστικών τους, που ήδη αναφέρθηκαν, στη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων για τους διδασκόμενους διαφόρων ηλικιών.

9. Τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα και η οπτικοποίηση στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών

Τα χαρακτηριστικά των εικονικών περιβαλλόντων, όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, επιτρέπουν στο χρήστη – μαθητή εμπειρίες που δεν είναι διαθέσιμες στο φυσικό κόσμο και έχουν πολλές δυνατότητες για την εκπαιδευτική διαδικασία και ιδιαίτερα τη διδασκαλία των ΦΕ. Έτσι του δίνουν τη δυνατότητα να μελετήσει φυσικά φαινόμενα ή θεωρητικά μοντέλα που προέρχονται από την εφαρμογή μιας επιστημονικής θεωρίας, εξαιρετικά μεγάλα ή μικρά μη αντιληπτά από τις αισθήσεις του ανθρώπου. Ακόμη αφηρημένες έννοιες οπτικοποιούνται σε τρισδιάστατο περιβάλλον, όπου τα φαινόμενα μπορούν να εξελίσσονται στο χώρο σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον ο χρήστης αλληλεπιδρώντας με το εικονικό περιβάλλον, έχει τη δυνατότητα να ακινητοποιεί τα αντικείμενα – μοντέλα ή να επαναλαμβάνει την εξέλιξη ενός φαινομένου μεταβάλλοντας διάφορες παραμέτρους ανάλογα με τις επιλογές του και τις μαθησιακές του ανάγκες σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στην πραγματικότητα.

Οι έρευνες που υλοποιούνται σχετικά με τις εκπαιδευτικές εφαρμογές των εικονικών περιβαλλόντων, από διαφορετικούς τομείς των ΦΕ συνηγορούν υπέρ της άποψης ότι είναι κατάλληλα για την οικοδόμηση της γνώσης, διότι θέτουν το μαθητή στη θέση του ερευνητή με ενεργό συμμετοχή στη μαθησιακή διαδικασία (Byrne 1996, Trindade 2002, Bakas and Mikropoulos 2003, Mikropoulos and Strouboulis 2004, Ramasundaram et al. 2005). Όμως συχνά η πλήρης ελευθερία πλοήγησης αποπροσανατολίζει το μαθητή από τους διδακτικούς στόχους και γι' αυτό προτείνεται ο καθορισμός σταθερών σημείων έναρξης και συγκεκριμένη πορεία πλοήγησης τουλάχιστον για τους μη έμπειρους στα περιβάλλοντα ΕΠ χρήστες, που δεν γνωρίζουν ούτε το προς διδασκαλία θέμα (Μικρόπουλος 2004).

Εκτός των άλλων, τα εικονικά περιβάλλοντα δημιούργησαν νέες προοπτικές και στον τομέα της οπτικής μάθησης (visual learning). Με τον όρο αυτό εννοούμε τη μάθηση του ατόμου η οποία προέρχεται από την οπτική μετάδοση της πληροφορίας είτε από το περιβάλλον, είτε από τις εικόνες που μόνο του το άτομο δημιουργεί. Η μάθηση αυτή που αρχίζει από πολύ μικρή ηλικία καταλήγει να είναι κρίσιμη για τις διαδικασίες μάθησης, που θα ακολουθήσουν κυρίως στη συνέχεια καθώς το άτομο θα μεγαλώνει. Τα παιδιά φτάνουν στο σχολείο χωρίς να ξέρουν να γράφουν ή να διαβάζουν, διαθέτουν όμως πολλές ικανότητες που συνδέονται με την οπτική μάθηση και έχουν ήδη εκτεθεί

σε μεγάλο όγκο οπτικής πληροφορίας. Στις ΦΕ η οπτική μάθηση είναι ιδιαίτερος σημαντική και ενισχύεται σε περιβάλλοντα ΕΠ, όπου εκτός των άλλων χαρακτηριστικών τους οι αναπαραστάσεις γίνονται στις τρεις διαστάσεις και δίνουν τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης.

Οπτικοποίηση είναι η διαδικασία δημιουργίας και παρουσίασης μεγάλου όγκου ετερογενών δεδομένων με γραφικό τρόπο από πολύπλοκα συνήθως υπολογιστικά περιβάλλοντα, με στόχο την ενίσχυση της κατανόησής τους από τον άνθρωπο. Τα περιβάλλοντα παισίωσης των οπτικοποιήσεων είναι συνήθως ισχυρά αλληλεπιδραστικά, υποστηρίζοντας οπτική εξερεύνηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

Στη μαθησιακή διαδικασία, η προσομοίωση αξιοποιείται καλύτερα με την οπτικοποίηση πληροφοριών ή νοητικών εικόνων σε εικόνες δύο ή τριών διαστάσεων. Αλλά η οπτικοποίηση θα πρέπει αφ' ενός μεν να προκύπτει από διαδικασίες μοντελοποίησης και προσομοίωσης, αφ' εταίρου δε να εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο μια δομημένης διδακτικής πρότασης με εκπεφρασμένους διδακτικούς στόχους. Στην αντίθετη περίπτωση οι αυθαίρετες οπτικοποιήσεις δεδομένων σε μορφή κυρίως κινούμενης εικόνας, οι οποίες εμφανίζονται συχνά σε εκπαιδευτικά λογισμικά, ενώ είναι πιθανό να εντυπωσιάζουν κατ' αρχήν διδασκόμενους και διδάσκοντες δεν συνεισφέρουν στην κατανόηση των γνωστικών αντικειμένων στα οποία αναφέρονται.

Η οπτικοποίηση της πληροφορίας αξιοποιεί την ικανότητα του ανθρώπινου μυαλού να επεξεργάζεται και να διατηρεί περισσότερο την οπτική πληροφορία. Από ψυχολογικής άποψης ο άνθρωπος ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό σε οπτικά ερεθίσματα τόσο όσον αφορά στην απομνημόνευση πληροφοριών (απομνημονεύει το 30% των πληροφοριών με οπτικό τρόπο), όσο και στη μάθηση (ο άνθρωπος μαθαίνει κατά 83% μέσω της όρασης) (Σιμάτος 1995). Ιδιαίτερος δε, οι διδασκόμενοι που διαθέτουν την ικανότητα να αφομοιώνουν ευκολότερα την οπτική πληροφορία (οπτικοί τύποι), επωφελούνται περισσότερο από τις οπτικοποιήσεις.

Στην επιστημονική έρευνα οι οπτικοποιήσεις προσαρμόζονται ώστε να συμβάλλουν στην επαλήθευση ιδεών και απόψεων και να αποκαλύψουν τις πλευρές ενός φαινομένου που δεν έχουν ακόμη διασαφηνιστεί. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να διευκολύνουν την εμπάθυνση του υπό μελέτη θέματος και να βοηθήσουν τους ερευνητές να συγκρίνουν διαφορετικές υποθέσεις μεταξύ τους. Γενικότερα οι οπτικοποιήσεις μπορούν να αποσαφηνίσουν μια ιδέα την οποία οι λέξεις δεν μπορούν (Linn 2003).

Στη διδασκαλία και μάθηση ιδιαίτερα σε περιβάλλον ΕΠ οι οπτικές αναπαραστάσεις διευκολύνουν τη μελέτη μεγάλου όγκου και πολυπλοκότητας δεδομένων και μπορούμε με την ανάπτυξη της τεχνολογίας να τις συναντήσουμε στη σχολική τάξη και σε αλληλεπιδραστικές εκθέσεις σε μουσεία, όπου οι δυνατότητές τους ως διδακτικά εργαλεία είναι προφανείς (Mathewson 1998).

Ο Holton (1996 στο Mathewson 1998) εξ άλλου επισημαίνει ότι το ουσιαστικό στη δημιουργικότητα του επιστημονικού πνεύματος είναι οι σύνδεση τριών νοητικών σχημάτων που αφορούν τη φαντασία του ανθρώπου: των εικόνων, των μεταφορών και των θεμάτων προς επεξεργασία. Η σημασία της εικόνας είναι αδιαμφισβήτητη για την πρόοδο στις ΦΕ και γι' αυτό οι επιστήμονες έχουν κυρίως αναπτύξει την ικανότητα να σκέφτονται και να επικοινωνούν μεταξύ τους ενεργοποιώντας στη φαντασία τους τρισδιάστατες οπτικές αναπαραστάσεις, δηλαδή σκεπτόμενοι οπτικο - χωρικά (visual-spatial thinking), ενώ οι μαθητές και οι φοιτητές δεν έχουν αναπτύξει αυτές τις δυνατότητες (Hyde et al. 1996). Κυρίως όμως είναι σημαντική η οπτικοποίηση αφηρημένων εννοιών για την οποία τα χαρακτηριστικά της ΕΠ προσφέρουν επιπλέον δυνατότητες. Προς την κατεύθυνση αυτή ο MacEachren (1996 στο Mathewson 1998) επισημαίνει ότι οι αφηρημένες έννοιες παίρνουν τα χαρακτηριστικά των πραγματικών αντικειμένων και ενδεχομένως να φαίνονται σαν αναμφισβήτητα γεγονότα, επομένως η δύναμη τέτοιων οπτικοποιήσεων στην εκλαΐκευση μιας θεωρίας είναι προφανής.

Αρκετές έρευνες όμως καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι οι οπτικοποιήσεις με πολύπλοκα δεδομένα συχνά αντί να παρέχουν στους διδασκόμενους την κατάλληλη πληροφορία τους δημιουργούν σύγχυση, διότι δεν διαθέτουν το κατάλληλο γνωστικό υπόβαθρο (Hegarty et al. 1990, Tversky 2000). Ενώ οι επιστήμονες αναπτύσσουν την ικανότητα να ερμηνεύουν τις πληροφορίες που τους παρέχουν οι οπτικοποιήσεις, οι διδασκόμενοι τις ερμηνεύουν λανθασμένα (Gordin et al. 1997 από Linn 2003), ερμηνεύουν τα χρώματα με ανακριβή τρόπο (Edelson 1999, Foley 2000 από Linn 2003), αποτυγχάνουν να συνδυάσουν τις πληροφορίες από άλλες πηγές με αυτές των οπτικοποιήσεων (Krajcik et al. 1998 από Linn 2003) ή βρίσκουν τη διαδικασία πολύπλοκη (Lewis 1991, White and Frederiksen 1999). Ιδιαίτερα για τη χρήση λογισμικών, που αφορούν οπτικές αναπαραστάσεις του μικρόκοσμου, αναφέρεται ότι οι διδασκόμενοι δεν διαθέτουν την απαραίτητη γνώση του αντικειμένου για να τις κατανοήσουν και συχνά δεν είναι σε θέση να τις ερμηνεύσουν, να τις συγκρίνουν μεταξύ τους ή να αποφασίσουν ποια θα δημιουργήσουν. Έτσι οι ερευνητές υποχρεώ -

νονται να δημιουργήσουν γραπτούς οδηγούς και να ξανασχεδιάσουν τις δραστηριότητες στην τάξη, ενώ πολλές φορές φαίνεται ότι και τα αναλυτικά προγράμματα θα πρέπει να αναδομηθούν (Linn 2003, Linn et al. 2004).

Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα που διατυπώνεται από τους Ράπτη και Κόμη (2002), ότι η οπτικοποίηση με τη μορφή που τη χρησιμοποιούν οι επιστήμονες δεν είναι άμεσα κατάλληλη για αξιοποίηση στη διδακτική πράξη. Για να γίνει αποδοτική απαιτείται ο κατάλληλος διδακτικός μετασχηματισμός, αυτός που χρησιμοποιείται και για τις προσομοιώσεις, δεδομένου ότι οι οπτικοποιήσεις αποτελούν μια μορφή παρουσίασης των προσομοιώσεων. Ένας σημαντικός παράγοντας για την επιτυχία αυτού του εγχειρήματος, είναι η ενημέρωση των διδασκόμενων για το είδος και το μηχανισμό της δημιουργίας των αναπαραστάσεων με τις οποίες έρχονται σε επαφή. Οι περισσότεροι διδασκόμενοι δεν είναι εξοικειωμένοι με τέτοια λογισμικά και ιδιαιτέρως με αυτά της ΕΠ, οπότε για την αποτελεσματική χρήση θα πρέπει να κατανοήσουν σε ένα βαθμό τη λειτουργία τους ως ένα μηχανισμό σχεδιασμένο να παράγει τις αναπαραστάσεις, με τους περιορισμούς που θέτουν οι διαδικασίες της μοντελοποίησης και προσομοίωσης.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την περιγραφή ατομικών μοντέλων που προκύπτουν από την εφαρμογή της κβαντομηχανικής θεωρίας και προτείνει την οπτική παρουσίαση της πληροφορίας μέσω διαδικασιών προσομοίωσης. Οι οπτικοποιήσεις υλοποιούνται σε περιβάλλον με τα χαρακτηριστικά της ΕΠ, όπως περιγράφηκαν στις προηγούμενες ενότητες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί στο επίπεδο της διδακτικής πρακτικής η χρήση μοντέλων και η αξιοποίηση διαδικασιών μοντελοποίησης, θεωρούνται ότι προσφέρουν θετικά αποτελέσματα στη μάθηση μέσα από την εποικοδομητική της προσέγγιση τόσο σε θεωρητικό, όσο και σε εμπειρικό επίπεδο (Σταυρίδου 1995, Harper et al. 2000). Ιδιαιτέρως τα μοντέλα που βασίζονται στα χαρακτηριστικά της ΕΠ, παρέχουν στους διδασκόμενους την εμπειρία της πραγματικότητας περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μέσο και όπως η έρευνα αποδεικνύει με την ΕΠ είναι δυνατόν να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ μοντέλων και πειραμάτων στον πραγματικό κόσμο, επωφελούμενοι από τα πλεονεκτήματα της κάθε πλευράς (Dede 1995), εφόσον βέβαια μελετηθούν προσεκτικά όλες οι παράμετροι που εμπλέκονται στη διδακτική πράξη κατά τις διαδικασίες τέτοιων μοντελοποιήσεων.

10. Η ποιοτική διδακτική προσέγγιση του Κβαντικού Ατομικού Μοντέλου (ΚΑΜ) με αξιοποίηση των ΤΠΕ : Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα γνωρίσματα της Κβαντικής Θεωρίας, η οποία περιγράφει οντότητες που υπάρχουν έξω από τη διαίσθησή μας, έχει μαθηματική διατύπωση και διέπεται από αρχές που μας εκπλήσσουν (αρχή της αβεβαιότητας, μη αιτιότητα, μη τοπικότητα), καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι απαιτείται ένας διαφορετικός τρόπος σκέψης και διδακτικής παρέμβασης. Οι μαθητές πρέπει να καθοδηγηθούν, ώστε να αφομοιώσουν έννοιες όπως η πιθανότητα εντοπισμού του ηλεκτρονίου, το ηλεκτρονικό νέφος, η μη ύπαρξη καθορισμένης τροχιάς (Johnston et al.1998, Laurence 2001, Hobson 2001, Olsen 2001, Olsen 2002).

Η έλλειψη οπτικοποίησης των βασικών εννοιών με κατανοητό τρόπο για τους μαθητές του Λυκείου ή των φοιτητών στα πρώτα Πανεπιστημιακά έτη τους οδηγεί στο να αναπαράγουν μηχανικά ατομικά μοντέλα, όπως έχει ήδη επισημανθεί στο πρώτο κεφάλαιο. Οι περισσότερες προτάσεις των ερευνητών της Διδακτικής των ΦΕ περιλαμβάνουν την αξιοποίηση των ΤΠΕ για την ποιοτική προσέγγιση της ΚΘΑ:

- Ο Johnston και οι συνεργάτες του (1998) υπογραμμίζουν ότι αν το σωματίο ή το κύμα μπορούσαν να αναπαρασταθούν οπτικά, θα μπορούσαν πιθανώς να κατανοηθούν, διότι η μόνη εικόνα που χρησιμοποιείται συχνά είναι το κυματοπακέτο και δε φαίνεται να έχει θετικά αποτελέσματα.
- Ο MacKinnon (1999) συμπεραίνει ότι το πλεονέκτημα της προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους διδάσκοντες για να αναπτυχθεί καλύτερα η ικανότητα αντίληψης των μαθητών στο χώρο.
- Οι Balaban (1999), Barak (2005), Barnea και Dori (1999, 2000), Ferik και οι συνεργάτες του (2003), ο Trindade και οι συνεργάτες του (2002, 2004) εκφράζουν την άποψη ότι μόνο με τις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις δίνεται τη δυνατότητα αναπαράστασης μοντέλων του μικρόκοσμου με τη χρήση προσομοιώσεων και οπτικοποιήσεων, ώστε ο μαθητής να μαθαίνει με το δικό του ρυθμό λύνοντας μεγάλη ποικιλία προβλημάτων και έτσι η διδασκαλία έχει καλύτερα αποτελέσματα. Ενώ, μέχρι τώρα η χρήση του υπολογιστή περιοριζόνταν στις αναπαραστάσεις δύο διαστάσεων, τα τελευταία χρόνια η πρόοδος στις υπολογιστικές μεθόδους δημιούργησε νέες δυνατότητες, όπως οι τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις κυρίως σε εικονικά περιβάλλοντα, που δίνουν και τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης.

- Ο Kalkanis και οι συνεργάτες του (2003) θεωρούν ότι η σύγχρονη τεχνολογία μπορεί να δώσει αναπαραστάσεις των φαινομένων του μικρόκοσμου και να αντικαταστήσει την εμπειρία της αίσθησης του 'κβαντικού κόσμου' που λείπει.

Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με την ποιοτική προσέγγιση του ΚΘΑ δια μέσου της οπτικοποίησης με την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των εικονικών περιβαλλόντων. Ως εκ τούτου θα παρουσιαστούν στη συνέχεια οι σημαντικότερες από τις ερευνητικές προσπάθειες που πραγματοποιήθηκαν με διδασκόμενους στο Λύκειο και τα πρώτα Πανεπιστημιακά έτη και έχουν χρησιμοποιήσει λογισμικά διαφόρων τύπων για τις εκπαιδευτικές τους εφαρμογές για το προς διαπραγμάτευση γνωστικό αντικείμενο.

Στη διατριβή της η Byrne (1996) μελέτησε τη χρήση της ΕΠ ως εργαλείου υποστήριξης της μάθησης. Δημιουργήθηκε ένας εικονικός κόσμος όπου οι διδασκόμενοι δημιουργούσαν άτομα και μόρια από τα βασικά δομικά στοιχεία όπως τα ηλεκτρόνια, τα πρωτόνια και τα νετρόνια. Μπορούσαν να ελέγχουν τις τιμές της ενέργειας και το σπιν των ηλεκτρονίων για να καθορίσουν τη θέση των ηλεκτρονίων στον εικονικό κόσμο. Ο κόσμος αυτός αποτελείται από θεωρητικά 'πραγματικά' αντικείμενα που ακολουθούν τους νόμους της χημείας και έχουν ένα σχετικό συμβολισμό για να βοηθούν τους συμμετέχοντες να ερμηνεύουν την πληροφορία (π.χ. τα πρωτόνια συμβολίζονται με το σύμβολο +). Όταν ένα ηλεκτρόνιο τοποθετείται σε ένα άτομο δημιουργείται ο χώρος που καθορίζεται από το αντίστοιχο τροχιακό όπου το ηλεκτρόνιο εμφανίζεται στο 90% του χρόνου του.

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ενώ η ΕΠ εμφανίζεται σαν ένα ισχυρό εργαλείο που βοηθά τους διδασκόμενοι να κατασκευάζουν νοητικά μοντέλα, στη δομημένη συνέντευξη λίγοι από αυτούς είχαν καλή επίδοση. Ενώ δίνεται η δυνατότητα να περιηγηθούν οι διδασκόμενοι στον εικονικό χώρο του μορίου, δε δίνεται καθόλου έμφαση στην οικοδόμηση των βασικών εννοιών της Κβαντομηχανικής που εμφανίζονται και τις δυσκολίες μετάβασης σ' αυτήν από την Κλασική Μηχανική. Τα ηλεκτρόνια μάλιστα εμφανίζονται μόνο με τη σωματιδιακή τους φύση και γίνεται απλά αναφορά στην πιθανότητα να βρεθούν στο χώρο που καθορίζεται από το τροχιακό κατά 90%.

Οι Shusterman και Shusterman (1997) προτείνουν μια μέθοδο διδασκαλίας, που στηρίζεται στη δημιουργία μοντέλων κατανομής της ηλεκτρονιακής πυκνότητας, με τη βοήθεια του λογισμικού Spartan.

Δημιουργήθηκαν απεικονίσεις της κατανομής της πυκνότητας πιθανότητας στις δύο διαστάσεις παίρνοντας ένα επίπεδο που 'τέμνει' το άτομο περνώντας από τον πυρήνα του και αναπαριστώντας τη μεταβολή της πυκνότητας πιθανότητας πάνω σε αυτό με τη χρήση ενός ή πολλών χρωμάτων για διαφορετικές τιμές. Στις τρεις διαστάσεις σχηματίστηκαν οι επιφάνειες σταθερής πυκνότητας πιθανότητας (isodensity surface) για το άτομο και το ιόν του λιθίου (Li , Li^+). Για τα ίδια σωματίδια δημιουργήθηκαν επίσης μοντέλα ηλεκτροστατικού δυναμικού (electrostatic potential diagrams ή elpot maps), τα οποία μπορούν να δώσουν περισσότερες πληροφορίες για την συνολική ηλεκτρονική πυκνότητα από ότι η επιφάνεια σταθερής πυκνότητας, αφού το ηλεκτρο - στατικό δυναμικό ενός ατόμου ή ιόντας καθορίζεται από τη συνεισφορά όλων των ηλεκτρονίων του.

Τα μοντέλα αυτά είναι χρήσιμα για τη μελέτη του χημικού δεσμού και της διαφοράς μεγέθους του ατόμου και του κατιόντος. Ακόμη αναδεικνύεται πολύ καλά η διαφορά μεταξύ των ατομικών τροχιακών $1s$ και $2s$. Χρησιμοποιώντας ως παραδείγματα τα μόρια LiH , H_2 , HF αναπαριστάνεται η μορφή της ηλεκτρονιακής πυκνότητας μεταξύ των ατόμων με την αύξηση της ηλεκτραρνητικότητας. Φαίνεται ότι οι τύποι κατά Lewis είναι πολύ απλοϊκοί για να δώσουν όλες τις πληροφορίες και ότι οι ιδιότητες του ηλεκτρονιακού νέφους ενός ατόμου αλλάζουν σημαντικά ανάλογα με το γειτονικό άτομο.

Η άποψη των συγγραφέων είναι ότι οι φοιτητές διαπιστώνουν την δυνατότητα να αξιοποιηθούν τα μοντέλα οπτικοποίησης της ηλεκτρονιακής πυκνότητας πιθανότητας σε ένα μεγάλο εύρος θεμάτων και τελικά συνειδητοποιούν την μεγάλη σημασία της ηλεκτρονιακής δομής. Άλλωστε όταν οι φοιτητές τα έχουν κατανοήσει προχωρώντας αργότερα ως ερευνητές μπορούν να ασχοληθούν με πιο προχωρημένες θεωρίες χωρίς να απορρίψουν όσα έμαθαν κατά τη διάρκεια των πανεπιστημιακών σπουδών τους. Δεν έχει γίνει όμως εμπεριστατωμένη εμπειρική μελέτη, ώστε να προκύψουν συγκεκριμένα μαθησιακά αποτελέσματα.

Από τους Petri, Niedderer και Deylitz (Petri and Niedderer 1998, 2001, Niedderer and Deylitz 1998, 1999) έγινε μια ολοκληρωμένη διδακτική πρόταση οι βασικές αρχές της οποίας ήταν:

- Παρουσίαση της Ατομικής Φυσικής με τη χρήση της εξίσωσης του Schrödinger και έμφαση στην ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης ψ
- Περιορισμός των μαθηματικών απαιτήσεων

- Σύνδεση των μετρήσεων με τη θεωρία σε μια ποικιλία φαινομένων
- Καθοδήγηση των διδασκόμενων στην αρχή κάθε κεφαλαίου για να επιτευχθεί καλύτερη κατανόηση των εννοιών.

Το σημαντικότερο ρόλο στο σχεδιασμό των δραστηριοτήτων είχε η αλληλεπίδραση με τον υπολογιστή. Με τη βοήθεια του λογισμικού STELLA οι διδασκόμενοι (19 ετών) μπορούσαν χρησιμοποιώντας την εξίσωση Schrödinger να κατασκευάζουν τις γραφικές παραστάσεις σε συνάρτηση με την ακτίνα των κυματοσυναρτήσεων για διαφορετικές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου και του ηλίου, όπως οι 1s, 2s, 3p συμμετέχοντας σε διαδικασίες μοντελοποίησης. Δημιουργούσαν επίσης τις γραφικές παραστάσεις της πυκνότητας πιθανότητας και της ακτινικής κατανομής της πιθανότητας σε συνάρτηση με την ακτίνα για το άτομο του υδρογόνου. Οι οπτικοποιήσεις που δημιουργούσαν ήταν δισδιάστατες απεικονίσεις των ηλεκτρονιακών νεφών για το άτομο του υδρογόνου. Το συμπέρασμα είναι ότι αν και οι διδασκόμενοι δεν κατάφεραν να κατανοήσουν βαθύτερα τη θεωρητική περιγραφή του μοντέλου, αφομοίωσαν όμως σε ικανοποιητικό βαθμό βασικές έννοιες.

Ο Trindade και οι συνεργάτες του (2002) αναφέρονται στην κατασκευή του εικονικού νερού, ενός εικονικού περιβάλλοντος μορίων νερού ως εκπαιδευτικού εργαλείου. Τα μόρια του νερού απεικονίζονται ως συμπαγείς δομές στις τρεις διαφορετικές του φάσεις. Ο βασικός στόχος τους είναι να κινητοποιήσουν το χρήστη να αλληλεπιδράσει με διασκεδαστικά σενάρια για να γνωρίσει τη δομή και τις ιδιότητες του νερού. Το εικονικό περιβάλλον του δίνει τη δυνατότητα εξερεύνησης σε μικροσκοπικό και μακροσκοπικό επίπεδο. Η εργασία έχει διαθεματική προσέγγιση και συνδυάζει κβαντική θεωρία, προσομοιώσεις φυσικών συστημάτων, οπτικοποιήσεις με τη μορφή γραφικών παραστάσεων και αρχές της Διδακτικής των ΦΕ. Όμως συνολική διδακτική πρόταση, όπου θα είναι ενταγμένο το λογισμικό και αξιολόγηση μαθησιακών αποτελεσμάτων δεν αναφέρονται από τους συγγραφείς.

Οι Rebello και Zollman (1999) σχεδίασαν πειραματικές διαδικασίες και λογισμικό οπτικοποίησης της κυματοσυναρτήσεως, της πυκνότητας πιθανότητας, των κυματοπακέτων και των ενεργειακών καταστάσεων του ηλεκτρονίου. Οι πειραματικές διαδικασίες περιελάμβαναν παρατήρηση του γραμμικού φάσματος διαφόρων αερίων και του συνεχούς φάσματος μιας φωτοδιόδου (LED). Τα αποτελέσματα εμπειρικής μελέτης έδειξαν ότι οι διδασκόμενοι στην αρχή των πανεπιστημιακών τους σπουδών,

δεν μπόρεσαν να απαλλαγούν από μια πλανητικού τύπου αναπαράσταση του ατόμου παρότι δεν είχαν διδαχθεί το μοντέλο του Bohr και τους είχε δοθεί το ενεργειακό διαγραμματικό μοντέλο. Το γενικό συμπέρασμα της μελέτης ήταν ότι οι οπτικοποιήσεις, η μη χρήση αυστηρής μαθηματικής γλώσσας και η παράλληλη συμμετοχή σε πειράματα συνεισφέρουν στη δημιουργία νοητικών μοντέλων που ερμηνεύουν τα πειραματικά δεδομένα.

Στα πλαίσια του εθνικού προγράμματος των Η.Π.Α. QSAD (Quantum Science Across Disciplines), αναπτύχθηκε ένα λογισμικό προσομοιώσεων, όπου παρουσιάζονται ηλεκτρονικές πυκνότητες που αντιστοιχούν σε διαφορετικά τροχιακά ατόμων και μορίων στις δύο διαστάσεις. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να διερευνά σε αλληλεπιδραστικό περιβάλλον επιστημονικά αποδεκτά μοντέλα. Οι διδασκόμενοι μπορούν να μελετήσουν τις ιδιότητες ατόμων και μορίων με βάση τις έννοιες της Κβαντομηχανικής (Hurwitz et al. 1999, Roblee et al. 1999).

Από την εμπειρική μελέτη προκύπτει ότι οι μαθητές μελετούν το μικρόκοσμο καταφεύγοντας στο μοντέλο του Bohr και αδυνατούν να παραστήσουν το άτομο σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία στις τρεις διαστάσεις διότι όλες οι αναπαραστάσεις που έχουν δει είναι δισδιάστατες. Πολλοί από τους μαθητές δεν έχουν τη δυνατότητα να συλλάβουν το σχήμα του ατόμου στο χώρο, διότι δεν μπορούν να το περιστρέψουν νοητικά και να συλλάβουν την προοπτική του στο χώρο και δεν διαθέτουν την αίσθηση του βάθους.

Μαθητές στην τελευταία τάξη του Λυκείου διδάχτηκαν στοιχεία Κβαντικής Χημείας με την χρήση του λογισμικού και απέκτησαν τη δυνατότητα να ερμηνεύουν μακροσκοπικά φαινόμενα όπως η πολικότητα και η διαλυτότητα χρησιμοποιώντας την δομή του μικρόκοσμου σύμφωνα με την Κβαντική Χημεία.

Το λογισμικό αξιολογήθηκε επίσης σε τμήμα μετεκπαίδευσης διδασκόντων φυσική, χημεία και βιολογία. Οι συμμετέχοντες αφού αλληλεπείδρασαν με το λογισμικό σχεδίασαν μαθήματα βασισμένα στην αξιοποίησή του. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι διδάσκοντες δεν έχουν αφομοιώσει τις προς διδασκαλία έννοιες και τη σχέση τους με έννοιες που καλούνται να διδάξουν στο Λύκειο. Μόνο ένας από τους οκτώ συμμετέχοντες συμπεριέλαβε την καινούρια γνώση στην προϋπάρχουσα γνωστική του δομή και ήταν σε θέση να καθοδηγήσει τους μαθητές του στη χρήση του λογισμικού.

Σε διδακτική πρόταση από τον Fischler (1999) διδασκόμενοι εξοικειώθηκαν με την έννοια του ‘κβαντικού αντικειμένου’ παρατηρώντας διαγράμματα περίθλασης και συμβολής σε υπολογιστή, τα οποία ήδη γνώριζαν από την κυματική οπτική, όπως και το πείραμα των δύο οπών με ηλεκτρόνια. Η διάρθρωση της διδακτέας ύλης τους στηρίζεται στην επιλογή να δοθεί έμφαση στην ιδιαίτερη συμπεριφορά των ‘κβαντικών αντικειμένων’ και στις αρχές που την καθορίζουν και όχι στο δυϊσμό σωματίο – κύμα. Οι αρχικές εναλλακτικές αντιλήψεις των διδασκομένων ελαττώθηκαν σημαντικά, ενώ υψηλό ποσοστό απέδωσε τη σταθερότητα του ατόμου στην ενέργεια όπως αυτή συνδέεται με την αρχή του Heisenberg και αναφέρθηκαν στα ηλεκτρόνια ως οντότητες, που δεν μπορούν να εντοπιστούν.

Από την Early χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Spartan κατά τη διάρκεια μαθημάτων χημείας σε πρωτοετείς φοιτητές (1999). Οι φοιτητές εργάστηκαν κατά ομάδες για να μελετήσουν τις ιδιότητες ατόμων σε σχέση με τη θέση τους στον περιοδικό πίνακα, τη δομή των μορίων, την ηλεκτρονική τους δομή και τη θεωρία σθένους. Τα αποτελέσματα εμπειρικής μελέτης ήταν ενθαρρυντικά. Οι ίδιοι εξέφρασαν την άποψη ότι βοηθήθηκαν από τη χρήση του λογισμικού, ιδίως όσον αφορά στην αντίληψή τους στις τρεις διαστάσεις. Η συγγραφέας πιστεύει ότι οφείλουμε να συνεχίσουμε, να ερευνούμε τις δυνατότητες αξιοποίησης του υπολογιστή από τους φοιτητές αξιολογώντας διαρκώς τις δραστηριότητες που σχεδιάζουμε.

Από τον Moore (2000) επιλέχθηκε το λογισμικό Gnuplot, που δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας γραφικών παραστάσεων των κυματοσυναρτήσεων του υδρογόνου. Δόθηκε η δυνατότητα σε φοιτητές να σχεδιάσουν τη συνάρτηση ακτινικής κατανομής, τη γωνιακή μεταβολή της πυκνότητας πιθανότητας, την επιφάνεια της πυκνότητας πιθανότητας και τα περιγράμματα μίας επιφάνειας της πυκνότητας πιθανότητας για διαφορετικές κυματοσυναρτήσεις.

Οι Sanger και Banger (2001) σε εμπειρική έρευνα με φοιτητές με τη χρήση του λογισμικού Spartan διαπίστωσαν ότι η χρήση στρατηγικών οπτικής αναπαράστασης μορίων σε με δυνατότητα κίνησης και περιστροφής τους και γραφημάτων της ηλεκτρονιακής πυκνότητας επιδρά θετικά στην κατανόηση της μοριακής πολικότητας

και διαλυτότητας. Τα γραφήματα της ηλεκτρονικής πυκνότητας των μορίων στις τρεις διαστάσεις αναπαριστούν τα ηλεκτροστατικά δυναμικά των μορίων (elpot maps), που αναφέρθηκαν πιο πάνω, στην έρευνα των Shusterman and Shusterman.

Η διδακτική πρόταση του Fleming και των συνεργατών του (2000) αναφέρεται στην περιγραφή των οργανικών αντιδράσεων με τη χρήση των ηλεκτρόφιλων και πυρηνόφιλων μορίων. Η αναπαράσταση μοριακών τροχιακών που αναπτύχθηκε από τους ερευνητές, έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού Spartan, όπου τα μοριακά τροχιακά των ηλεκτρόφιλων (οξέων) και πυρηνόφιλων (βάσεων) αλληλεπιδρούν. Οι πιο 'προχωρημένοι' φοιτητές διαπίστωσαν το σχηματισμό των π-δεσμών και το ρόλο της συμμετρίας των τροχιακών. Βλέποντας τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μοριακών τροχιακών κατάλαβαν πως τα ηλεκτρόνια μετακινούνται και γιατί κάποια μόρια αντιδρούν με το συγκεκριμένο τρόπο.

Απέκτησαν δεξιότητες μεταξύ των οποίων και η δυνατότητα να σκέφτονται για δομές στις τρεις διαστάσεις. Άρχισαν να έχουν πιο προχωρημένες απορίες σε σχέση με το σχήμα των μορίων, συνειδητοποίησαν τη σημασία των ενδομοριακών δυνάμεων και έμαθαν να συνεργάζονται όσο αφορά στα προβλήματα των υπολογισμών.

Οι Barnea, Dori και Barak (Barnea and Dori 1999, 2000, Dori and Barak 2001) χρησιμοποίησαν το λογισμικό Desktop molecular modeler με το οποίο αναπαράστησαν μόρια ενώσεων ως συμπαγείς δομές στις τρεις διαστάσεις παρόμοια με τα πλαστικά μοριακά μοντέλα. Ο ερευνητές συνέγραψαν έναν οδηγό δραστηριοτήτων που έδινε τη δυνατότητα στους διδασκόμενοι εργαζόμενοι ανά δύο, να επιλέγουν μόρια από μία βάση δεδομένων, να μετρούν μήκος και γωνίες, να περιστρέφουν και να παρατηρούν τα σχήματά τους στο χώρο έχοντας στη διάθεσή τους αναπαραστάσεις των μορίων με διαφορετικούς τρόπους. Επίσης χρησιμοποίησαν στερεοσκοπικά γυαλιά για να έχουν αντίληψη των σχημάτων των μορίων στο χώρο. Για την κατασκευή των μορίων φάνηκε ότι η γεωμετρία που προκύπτει είναι αυτή που αντιστοιχεί στην ελάχιστη ενέργειά τους. Παράλληλα χρησιμοποίησαν πλαστικά μοντέλα μορίων. Έμφαση δόθηκε και στην κατανόηση του ρόλου και τις λειτουργίες των μοντέλων από εκπαιδευτικούς και διδασκόμενους. Όσον αφορά στην αντίληψη των διδασκόμενων στο χώρο των τριών διαστάσεων, το ρόλο των μοντέλων και την κατανόηση της ύλης της χημείας που διδάχτηκαν, τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα από ότι για τους διδασκόμενους που διδάχθηκαν με τον παραδοσιακό τρόπο.

Από την Budde και τους συνεργάτες της (2002 a,b) προτείνεται το μοντέλο 'electronium' ως ενδιάμεσο πριν προχωρήσουν στην οικοδόμηση του 'πιθανοτικού' μοντέλου όπως ονομάζουν αυτό που απορρέει από τις αρχές της κβαντομηχανικής θεωρίας και είναι επιστημονικά αποδεκτό. Τα χαρακτηριστικά του είναι ότι το ηλεκτρόνιο αποτελείται από μια συνεχή εκτεταμένη ουσία, ένα είδος υγρού με φορτίο, που καλείται electronium και είναι κατανεμημένο γύρω από τον πυρήνα. Σε μία ορισμένη κατάσταση η κατανομή είναι σταθερή στο χρόνο. Έτσι προσπαθούν να οικοδομήσουν την έννοια της μη κίνησης του ηλεκτρονίου. Το μοντέλο αντιτίθεται στους νόμους της ηλεκτροστατικής γιατί απωθητικές δυνάμεις ασκούνται μόνο μεταξύ των electronium διαφορετικών ηλεκτρονίων. Και οι εννέα διδασκόμενοι που συμμετείχαν σε σχετική έρευνα δήλωσαν ότι προτιμούν το μοντέλο του electronium από το πιθανοτικό μοντέλο, γιατί αυτό μπορεί να αναπαρασταθεί και αποτελείται από μία ουσία, ερμήνευσαν δε σωστά τι συμβαίνει με την κατανομή φορτίου στη θεμελιώδη κατάσταση, αλλά δεν μπορούσαν να ερμηνεύσουν τι συμβαίνει με την κατανομή στα κομβικά σημεία, εκεί δηλαδή όπου η πιθανότητα να εντοπισθεί το ηλεκτρόνιο τείνει στο μηδέν.

Προτείνοντας όμως οι ερευνητές ένα μοντέλο δικής τους έμπνευσης, διαφορετικό από το επιστημονικά αποδεκτό, υπάρχει η πιθανότητα να αποτελέσει για τους διδασκόμενους μια ακόμη εναλλακτική αντίληψη, δηλαδή να θεωρήσουν το ηλεκτρόνιο όχι σαν σωματίδιο ή κύμα αλλά σαν ουσία υγρής μορφής γύρω από τον πυρήνα. Το electronium είναι μια έννοια την οποία θα είναι δύσκολο να εκτοπίσουμε αν διδαχτεί στη σχολική τάξη (Hobson 2002). Για το λόγο αυτό η διερεύνηση των αντιλήψεων των διδασκόμενων μετά από σημαντικό χρονικό διάστημα είναι απαραίτητη.

Σε μια άλλη διδακτική πρόταση (Kalkanis et al. 2003) που στόχευε στην ποιοτική προσέγγιση της Κβαντομηχανικής, οι ερευνητές επέλεξαν να αντιπαραθέσουν τα ατομικά μοντέλα που έχουν οικοδομηθεί από την κλασική μηχανική αφ' ενός και την κβαντομηχανική αφ' εταίρου, ώστε να προκαλέσουν μια ριζική επαναδόμηση στον τρόπο σκέψης των εκπαιδευομένων. Επειδή έχει δειχθεί ότι οι έννοιες της Κλασικής Μηχανικής αποτελούν επιστημολογικά εμπόδια για την οικοδόμηση των εννοιών της κβαντικής, θεωρήθηκε ότι η παράλληλη παρουσίαση των δύο μοντέλων θα προκαλούσε γνωστική σύγκρουση, ανάλογη με αυτή που ονομάζει ο Kuhn περίοδο κρίσης στην επιστήμη ή επιστημονική επανάσταση (Kuhn 1970). Ως διδακτικά εργαλεία χρησιμοποιήθηκαν οι Νέες Τεχνολογίες και η Ιστορία των Επιστημών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της πρότασης οι διδασκόμενοι στην πλειοψηφία τους (φοιτητές και εν ενεργεία εκπαιδευτικοί στη Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση) αναπαράστησαν το άτομο σύμφωνα με το μοντέλο που αποδέχεται η μοντέρνα φυσική, φάνηκε ότι είχαν κατανοήσει την έννοια του τροχιακού που συνέδεσαν με την αρχή της αβεβαιότητας και ότι οι επιστημονικές και επιστημολογικές αντιλήψεις τους ως προς το χαρακτήρα της επιστήμης είχαν αλλάξει. Ωστόσο δεν αφομοίωσαν σημαντικά έννοιες όπως η κυματική φύση του ηλεκτρονίου, που απαιτούσαν καλύτερο γνωστικό υπόβαθρο από την κλασική κυματική μηχανική. Πρέπει να επισημανθεί ότι οι αξιολόγηση έγινε μόνο δύο εβδομάδες μετά από την εφαρμογή της διδακτικής πρότασης και επομένως δε γνωρίζουμε τη σταθερότητα των αντιλήψεων των διδασκόμενων. Δε διευκρινίζεται επίσης ποια εικόνα του ατόμου περιγράφουν σύμφωνα με το αποδεκτό από την Σύγχρονη Φυσική μοντέλο, διότι στον υπολογιστή παρουσιάστηκαν τα ηλεκτρονιακά νέφη που αντιστοιχούν σε διαφορετικές καταστάσεις (1s, 2s, 2px) για το άτομο του υδρογόνου σε δύο διαστάσεις.

Στο Διαδίκτυο έχουν παρουσιασθεί αναπαραστάσεις των κυματοσυναρτήσεων που αφορούν στο άτομο του υδρογόνου ή άλλων ατόμων και των κυματοσυναρτήσεων μορίων (μοριακά τροχιακά). Απεικονίζονται κυρίως, χωρίς αυτό να δηλώνεται πάντα με σαφήνεια, οι κυματοσυναρτήσεις για σταθερή τιμή της μιας τουλάχιστον από τις μεταβλητές r , θ , φ ή η μορφή του ηλεκτρονιακού νέφους. Αντιπροσωπευτικά παρουσιάζουμε τις ακόλουθες εφαρμογές:

- Από το Πανεπιστήμιο του Kentucky με τον τίτλο Hydrogenlike Orbitals (Holler 2002), παρουσιάζονται διαγράμματα του γωνιακού μέρους $Y(\theta, \varphi) = \Theta(\theta)\Phi(\varphi)$ της κυματοσυνάρτησης ψ ενός ηλεκτρονίου για συγκεκριμένες (στάσιμες) καταστάσεις του ατόμου σύμφωνα με τις εξισώσεις που προτάθηκαν από τους Pauling και Wilson (1935). Οι οπτικοποιήσεις αυτές είναι στις ψευδο – τρεις διαστάσεις και δεν δίνουν τη δυνατότητα περιστροφής.
- Στο λογισμικό Orbitron (Winter 2002) παρέχονται αναπαραστάσεις των ατομικών τροχιακών $1s$ ως $7g$ και αναφέρεται ότι αφορούν στο άτομο οποιουδήποτε στοιχείου, το οποίο δεν είναι επιστημονικά ορθό σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Οι οπτικοποιήσεις περιλαμβάνουν γραφική παράσταση του ακτινικού τμήματος της κυματοσυνάρτησης ψ , της $R(r)$ και ταυτόχρονα το γράφημα της επιφάνειας ίσης πυκνότητας πιθανότητας $|\psi^2|$ στο επίπεδο xy για $z=0$, την πυκνότητα πιθανότητας φορτίου (ηλεκτρονιακής πυκνότητας) $\psi^2(r)$ στο επίπεδο xy για συνεχή μεταβολή του z . Παρουσιάζονται ακόμη η πυκνότητα πιθανότητας φορτίου (νέφος πιθανότητας φορτίου ή ηλεκτρονικό νέφος) με κουκίδες στις τρεις διαστάσεις και οι μαθηματικές εκφράσεις με βάση τις οποίες έγιναν οι οπτικοποιήσεις.
- Από το Τμήμα Χημείας του Κολεγίου Davidson (Blauch 2001) δημιουργήθηκαν εφαρμογές για μοριακά και ατομικά τροχιακά στις τρεις διαστάσεις με χρήση VRML (Virtual Reality Modeling Language). Παρουσιάζονται στις τρεις διαστάσεις η ακτινική κατανομή πιθανότητας, το διάγραμμα ηλεκτρονικής πυκνότητας πιθανότητας και το γράφημα επιφάνειας ίσης πυκνότητας πιθανότητας με δυνατότητες αλληλεπίδρασης (περιστροφής στο χώρο, προσέγγισης και απομάκρυνσης από το αντικείμενο, με τη χρήση του λογισμικού SGI Cosmo Player).

- Ο Manthey (2001) παρουσιάζει ‘τα ηλεκτρονικά τροχιακά’, όπως τα ονομάζει, που αναπαριστούν τις κυματοσυναρτήσεις στις ψευδοτρεις – διαστάσεις ανάλογα με τις τιμές των κβαντικών αριθμών n , m , l . Χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά χρώματα για να διακρίνει το θετικό από το αρνητικό τμήμα της κυματοσυνάρτησης. Στην ιστοσελίδα αυτή είναι επίσης διαθέσιμο το λογισμικό πακέτο (Orbital Viewer) με το οποίο έχουν κατασκευαστεί οι οπτικοποιήσεις αυτές και δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να κατασκευάσει ο ίδιος τις αναπαραστάσεις των κυματοσυναρτήσεων και να μπορεί να αλληλεπιδρά με αυτές.

11. Σύνοψη και συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Οι εφαρμογές στις οποίες αναφερθήκαμε στην προηγούμενη παράγραφο αφορούν τις διαδικασίες μοντελοποίησης με τη χρήση υπολογιστή παίρνοντας υπ' όψη τις αρχές της κβαντομηχανικής, της μοριακής μηχανικής και της μοριακής δυναμικής για την δημιουργία δισδιάστατων ή τρισδιάστατων οπτικών αναπαραστάσεων. Οι δυσκολίες των διδασκομένων για την κατανόηση του ΚΑΜ εντοπίζονται κυρίως στη μη αφομοίωση του ρόλου των επιστημονικών μοντέλων και των εννοιών, των αρχών και των συμβόλων που εμπλέκονται στην περιγραφή του, όπως και στην αδυναμία ερμηνείας των οπτικών αναπαραστάσεων που αναφέρονται σ' αυτό. Με τις παρεμβάσεις που ήδη αναφέρθηκαν δεν φαίνεται να αντιμετωπίζονται στο σύνολό τους. Εκτεταμένη παρουσίαση και κριτική των προτάσεων, που μέχρι σήμερα έχουν παρουσιαστεί με την αξιοποίηση των ΤΠΕ (Κοντογεωργίου και Μικρόπουλος 2003, Κοντογεωργίου κ. ά., 2004 και Kontogeorgiou et al. 2005) δείχνει ότι κυρίως βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα και προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα αλληλεπίδρασης και δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες να περιστρέψουν τις τρισδιάστες οπτικοποιήσεις, ώστε να εξοικειωθούν με το σχήμα τους.

Όμως

- Απεικονίζουν στις 2 ή στις 3 διαστάσεις αδιακρίτως την κυματοσυνάρτηση ψ , την πυκνότητα πιθανότητας $|\psi^2|$ ή την ηλεκτρονική πυκνότητα $e|\psi^2|$, χωρίς να διατυπώνονται με εύληπτο τρόπο οι διαφορές τους
- Δε διευκρινίζεται στα άτομα ποιων στοιχείων αναφέρονται οι διάφορες γραφικές παραστάσεις, τι διαφορές θα είχαν για διαφορετικά στοιχεία και πού βρίσκεται ο πυρήνας του ατόμου
- Χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα χωρίς να δηλώνεται ο συμβολισμός τους με πιθανό αποτέλεσμα τη δημιουργία παρανοήσεων
- Οι διαφορές μεταξύ των κυματοσυναρτήσεων για το άτομο του υδρογόνου και τα πολυηλεκτρονικά άτομα δεν αποσαφηνίζονται
- Δεν προσδιορίζεται με ακρίβεια ποιες καταστάσεις περιγράφονται από τις διάφορες κυματοσυναρτήσεις (τροχιακά) του ατόμου του υδρογόνου εκτός από τη θεμελιώδη 1s.

Επίσης δε μελετώνται:

- οι νοητικές εικόνες των διδασκομένων συνολικά για τα άτομα χημικών στοιχείων με βάση κάποιο συγκεκριμένο ατομικό πρότυπο
- οι απόψεις τους για τη σχέση των ατομικών μοντέλων με την ‘πραγματική’ μορφή του ατόμου, όπως την εκλαμβάνουν μαθητές και φοιτητές
- η δυνατότητα περιγραφής, εκ μέρους των διδασκομένων, του ατόμου ενός στοιχείου χρησιμοποιώντας τις αρχές δόμησης ενός συγκεκριμένου ατομικού προτύπου και κυρίως του ΚΑΜ έχοντας κατανοήσει την ύπαρξη διαφορετικών προτύπων

Επιπλέον, στις περισσότερες από τις μελέτες:

- Δε διευκρινίζεται στα άτομα ποιων στοιχείων αναφέρονται οι αναπαραστάσεις της κυματοσυνάρτησης ψ ή της ηλεκτρονικής πυκνότητας, τι διαφορές θα είχαν για διαφορετικά στοιχεία και πού βρίσκεται ο πυρήνας του ατόμου σε σχέση με διαφορετικά ηλεκτρονικά νέφη
- Δεν συνδέεται η οπτικοποίηση της κυματοσυνάρτησης και της αντίστοιχης πυκνότητας πιθανότητας με την συνολική εικόνα του ατόμου συγκεκριμένου στοιχείου
- Στις αναπαραστάσεις μορίων ακόμη και στις τρεις διαστάσεις η χρήση χρωμάτων δημιουργεί τη λανθασμένη εντύπωση ότι τα μόρια έχουν χρώμα πιθανώς ανάλογο με το φορτίο ή την πυκνότητά τους.

Το ενδιαφέρον των ερευνητών εστιάζεται, κυρίως, στις νοητικές παραστάσεις των φοιτητών για τις βασικές έννοιες και αρχές της κβαντικής θεωρίας που εμπλέκονται στην ποιοτική περιγραφή του ΚΑΜ. Οι επιλογές διαφέρουν σε κάθε έρευνα και τα αποτελέσματα με τη χρήση των ΤΠΕ χαρακτηρίζονται θετικά ως ένα βαθμό. Οι φοιτητές προτιμούν πάντα τις τρισδιάστατες αναπαραστάσεις σε σχέση με αυτές των δύο διαστάσεων.

Επιπλέον, εάν αναζητήσουμε στις διδακτικές παρεμβάσεις που περιγράψαμε, τα χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών λογισμικών που αναφέρθηκαν με βάση το μοντέλο του εποικοδομητισμού θα παρατηρήσουμε ότι στα περισσότερα από αυτά δεν φαίνεται να έχουν ληφθεί υπόψη στο σύνολό τους. Για παράδειγμα, ενώ δεν εκφράζεται με σαφήνεια η παιδαγωγική θεωρία με βάση την οποία έχουν δομηθεί και δεν παρέχονται εμπειρίες των πολλαπλών μορφών οπτικής έκφρασης της ίδιας πληροφορίας, επιχειρείται η μάθηση μέσω της κοινωνικής εμπειρίας.

Από τις υπάρχουσες τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις για το ΚΑΜ, που υπάρχουν διαθέσιμες, επιλέξαμε για την πιλοτική έρευνα που θα περιγραφεί στο επόμενο κεφάλαιο το Orbitron (Winter 2002) και τις εφαρμογές για μοριακά και ατομικά τροχιακά στις τρεις διαστάσεις με χρήση VRML (Blauch 2001), οι οποίες περιγράφηκαν αναλυτικά στην προηγούμενη παράγραφο. Χρησιμοποιήσαμε αυτά τα λογισμικά, διότι είναι αντιπροσωπευτικά αυτών που έχουν κατασκευασθεί με στόχο την οπτικοποίηση εννοιών που αφορούν στο ΚΑΜ και παρουσιάζουν κάποια από τα μειονεκτήματα που αναφέρουμε πιο πάνω, αλλά

- Περιγράφουν με σαφήνεια ποια κυματοσυνάρτηση αναπαριστούν
- Διακρίνουν τις κυματοσυναρτήσεις του υδρογόνου από αυτές των πολυηλεκτρονικών ατόμων
- Για κάθε κυματοσυνάρτηση αναπαριστώνται η πυκνότητα ηλεκτρονικής πιθανότητας (electron density plot) και η τρισδιάστατη επιφάνεια ίσης πιθανότητας (isosurface plot).

Μια άλλη σημαντική πλευρά του θέματος που αφορά στην οπτικοποίηση του ατόμου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία και αναδεικνύεται από τη χρήση διαφορετικών μέχρι τώρα λογισμικών, αλλά υπογραμμίζεται και από τον Murell και τους συνεργάτες του (1992) είναι η απουσία τρισδιάστατης οπτικής αναπαράστασης του ατόμου ως συνόλου συγκεκριμένου χημικού στοιχείου σύμφωνα με τις σύγχρονες επιστημονικές αντιλήψεις, ώστε να βοηθηθούν οι διδασκόμενοι να υπερπηδήσουν το εμπόδιο της διατήρησης της εικόνας του προτύπου του Bohr, που εύκολα ανακαλούν.

Προτείνεται η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της ΕΠ, η οποία αποτελεί ένα ισχυρό αλληλεπιδραστικό εργαλείο για την δυναμική οπτικοποίηση πολύπλοκων δεδομένων, για να την επίλυση των προβλημάτων οπτικοποίησης που διατυπώθηκαν.

12. Αναφορές

- Antonietti, A. and Cantoia, M. (2000), To see a painting versus to walk in a painting: an experiment on sense - making through virtual reality, *Computers and Education*, 34, 213-223
- Baggott La Velle, L., McFarlane, A. and Brawn, R. (2003), Knowledge information through ICT in science education: a case study in teacher – driven curriculum development – Case-Study 1, *British Journal of Educational Technology*, 34, 183 - 199
- Bakas, Ch. and Mikropoulos, T. A. (2003), Design of virtual environments for the comprehension of planetary phenomena based on students' ideas, *International Journal of Science Education*, 25, 949-967
- Balaban A. (1999), Visual Chemistry: Three - dimensional perception of chemical structures, *Journal of Science Education and Technology*, 8, 251 – 255
- Barak M., (in press, Corrected proof, Available online 26 January 2005), Transition from traditional to ICT-enhanced learning environments in undergraduate chemistry courses, *Computers and Education*
- Barfield, W., Kevin, Baird, M. and Bjorneseth J. (1998), Presence in Virtual Environments as a function of type of input device and display update rate, *Displays*, 19, 91-98
- Barnea, N. and Dori, Y. (1999), High – school chemistry students' performance and gender differences in a computerized molecular modeling learning environment, *Journal of Science Education and Technology*, 8, 257 - 271
- Barnea, N. and Dori, Y. (2000), Computerized molecular modeling- the new technology for enhancing model perception among chemistry educators and learners, *Chemical Education Research and Practice (C.E.R.P.)*, 1, 109 – 120, URL:<http://www.uoi.gr/cerp/>
- Blauch, D. (2001), URL:<http://www.chm.davidson.edu/ChemistryApplets/AtomicOrbitals/AtomicOrbitals.html>
- Boyle, T. (1997), *Design for Multimedia Learning*, Prentice Hall, NJ
- Bransford, J. D., Brown, A. L., Cocking, R. R. (2000), *How people Learn: Brain, Mind, Experience and School*, National Academy Press

- Budde, M., Niedderer, H., Scott, P. and Leach, J. (2002a), ‘Electronium’: a quantum atomic teaching model, *Physics Education*, 37, 197 – 203
- Budde, M., Niedderer, H., Scott, P. and Leach, J. (2002b), The quantum atomic model “Electronium”: a successful teaching tool, *Physics Education*, 37, 204 –210
- Byrne, C. (1996), *Water on tap: the use of virtual reality as an educational tool*, unpublished doctoral dissertation,
URL: http://www.hitl.washington.edu/projects/learning_center/chemistry/
- Çepni, S., Taş, E. and Köse, S. (2004), The effects of computer-assisted material on students’ cognitive levels, misconceptions and attitudes towards science, *Computers and Education*, 46, 192 - 205
- Crosier, J. K., Cobb, S. and Wilson, J. R. (2002), Key lessons for the design and interaction of virtual environments in secondary science, *Computers and Education*, 38, 77-94
- Dede, C. (1995), The evolution of constructivist learning environments: Immersion in distributed virtual worlds, *Educational Technology*, 35(5), 46-52
- Dede, C., Salzman, M., Loftin, B. and Ash, K. (2000), Using virtual reality technology to convey, abstract scientific concepts, In M. J. Jacobson and R. B. Kozma (eds.) *Learning the sciences of the 21st Century: Research, design, and implementing advanced technology learning environments*, Hillsdale, Lawrence Erlbaum, NJ
- Dori, J.Y., and Barak, M. (2001), Virtual and physical molecular modeling: Fostering model perception and spatial understanding, *Educational Technology and Society*, 4, 61 – 74
- Driver, R.A. (1983), *The pupil as scientist?* Milton Keynes: Open University Press
scientific knowledge in the classroom, *Educational Researcher*, 23, 5–12
- Druin, A. M. (1988), Le modèle en questions, *Aster*, 7,1 – 20
- Duffy, T. M., Lowyck, J. and Jonassen D. H. (Eds.) (1991), *Designing Environments for Constructive Learning*, NATO ASI Series, Berlin: Springer-Verlag
- Durey A., & Journeaux, R. (1989), Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs, *Aster*, 8, 162-185
- Early, J. (1999), A student evaluation of molecular modeling in first year college chemistry, *Journal of Science Education and Technology*, 8, 309 – 321
- Edelson, D. C. (1999), Addressing the challenges of inquiry – based learning through technology and curriculum design, *Journal of the Learning Sciences*, 8, 391 - 450

- Ernest, P. (1995), The one and the many, In L. Steffe and J. Gale (Eds.), *Constructivism in education* (459-486), New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- Esquembre, F. (2001), Computers in Physics Education, *Computers Physics Communications*, 1-6
- Ferk, V., Vrtacnik, M., Blejec, A. and Gril, A. (2003), Students' understanding of molecular structure representations, *International Journal of Science Education*, 25, 1227-1245
- Fischler, H. (1999), Introduction to Quantum physics – Development and evaluation of a new course. Paper presented at the National Association for research in science teaching (NARST), A collection of papers on quantum physics at NARST 1999 is entitled Research on teaching and learning Quantum Mechanics, edited by Zollman, D., <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/>
- Fleming, S., Hart, G. and Savage, P. (2000), Molecular orbital animations for organic chemistry, *Journal of Chemical Education*, 77, 790 – 793
- Foley, B. (2000), Visualization tools: models, representations and knowledge integration, *Unpublished doctoral dissertation*, Berkley, CA: University of California
- Futo, I. and Gergely, T. (1990), *Artificial Intelligence in Simulation*, Ellis Horwood, New York
- Gilbert, J. and Boulter, C. (1998a), Models in explanations, Part 1: Horses for courses?, *International Journal of Science Education*, 20, 83 – 97
- Gordin, D. N., Polman, J. L. and Pea, R. D. (1997), The climate visualizer: sense – making through scientific visualization, *Journal of Science Education and Technology*, 3, 203 - 226
- Harding, P. A., and Vining, L. C. (1997), The impact of the knowledge explosion on science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 969–975
- Harper, B., Squires, D. and McDougall, A. (2000), Constructivist simulations: a new design paradigm, *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 9, 115-130
- Harrison, A. and Treagust, D. (1996), Secondary students' mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry, *Science Education*, 80, 509-534
- Harrison, A. and Treagust, D. (2000), Learning about atoms, molecules and chemical Bonds: A case Study of Multiple-Model use in Grade 11 Chemistry, *Science Education*, 84, 352 –381

- Hobson, A. (2001), Teach the good stuff: ‘Modern’ physics in introductory courses, In proceedings of *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000*, R. Pinto and S. Surinach (Eds), ELSEVIER, 469-472
- Hobson, A. (2002), Teaching Quantum Physics, *Physics education*, 37, 457
- Holton, G. (1996), *Einstein, history and other passions*, Reading, MA: Addison – Wesley
- Hegarty, M., Carpenter, P. A. and Just, M. A. (1990), Diagrams in the comprehension of scientific texts, in R. Barr, M. L. Kamil, P. Mosenthal and P. D. Pearson (Eds.), *Handbook of reading research II*, 641 – 668, New York: Longman
- Hurwitz, C., Abegg, G. and Garik, P. (1999), “How computer simulation affect high school students’ reasoning in quantum chemistry”, Paper presented at the National Association for research in science teaching (NARST), A collection of papers on Quantum physics at NARST 1999 is entitled *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics*, edited by Zollman, D., <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/>
- Hyde, R. T., Shaw, P. N. and Jackson, D. E. (1996), The evaluation of integrated courseware: can interactive molecular modeling help students understand three-dimensional chemistry? *Computers Education*, 26, 233 – 239
- Jimoyiannis, A. and Komis, V. (2001), Computer simulations in physics teaching and learning, *Computers and Education*, 36, 183 - 204
- Johnassen, D. H. (2003), Using cognitive tools to represent problems, *Journal of Research on Technology in Education*, 35, 362 - 380
- John, P. D. and Baggot La Velle, L. (2004), Devices and Desires: subjects subcultures, pedagogical identity and the challenge of information and communication technology, *Technology Pedagogy and Education*, 13, 307 - 326
- Johnston, D., Crawford, K. and Fletcher, P. (1998), Students difficulties in learning quantum mechanics, *International Journal of Science Education*, 20, 427 – 446
- Kalkanis, G., Hadzidaki, P. and Stavrou, D. (2003), An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Towards Quantum Mechanics Concepts, *International Journal of Science Education*, 87, 257-280
- Kameas A., Pintelas P., Mikropoulos T., Katsikis A., Emvalotis A. (2000), EIKON: Teaching a high school technology course with the aid of Virtual Reality, *Education and Information Technology*, 5, 305-315

- Kankaanranta, M. (2005), International perspectives on the pedagogically innovative uses of technology, *Human technology*, 2, 109 – 110 (www.humantechnology.jyu.fi)
- Keating, T., Barnett, M., Barab, S. A. and Hay, K. E. (2002), The Virtual Solar System Project: Developing Conceptual Understanding of Astronomical Concepts Through Building Three-Dimensional Computational Models, *Journal of Science Education and Technology*, 11, 261-275
- Kontogeorgiou A., Bellou A. and Mikropoulos T., (2005), Visualizing the quantum atom, in R. Pintó and D. Corso, (Eds.), Proceedings of the fifth International ESERA Conference on *Contribution of Research to Enhancing Students' in Learning Science*, 1479 – 1481, Barcelona, Spain.
- Korzybski, A. and Kendig, M. (1942), *Forward to general semantics monograph III, A theory of meaning analyzed*, Lakeville Connecticut, The International Non – Aristotelian Library Publishing Company
- Kosma, R. and Russel, J. (1997), Multimedia understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena, *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 949 – 968
- Kozma, R. (2003), Technology, innovation, and educational change. A global perspective, *A report of the Second Information Technology in Education Study, Module 2*, Amsterdam: International Association for the Evaluation of Educational Achievement
- Krajcik, J. S., Blumenfeld, P., Marx, R. W. and Soloway, E. (1998), A collaborative model for helping middle grade science teachers learn project – based instruction, *The Elementary School Journal*, 94, 483 – 497
- Kuhn, T. (1970), *The structure of scientific revolution (2nd ed.)*, Chicago: University of Chicago Press
- Lawrence, I. (2001), Quantum physics by many paths, in proceedings of *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000*, in R. Pinto and S. Surinach (Eds.), ELSEVIER, 473 – 474
- Lewis, E. L. (1991), *The process of scientific knowledge acquisition among middle school students learning thermodynamics*, Unpublished doctoral dissertation, Berkley, CA: University of California
- Linn, M. (2003), Technology and science education: starting points, research programs and trends, *International Journal of Science Education*, 25, 727 – 758

- Linn, M., Davis, E. A. and Bell, P. (2004), *Internet Environments for Science Education*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- MacEachren, A. M. (1995), *How maps work: Representation, visualization and design*, New York: Guilford
- MacFarlane, A. and Sakellariou, S. (2002), The role of ICT in Science Education, *Cabridge Journal of Education*, 32, 45-56
- MacKinnon, G. (1999), Students' understanding of Orbitals: A Survey, *Research Report (Service No ED 433 248 ERIC Document reproduction)*, Wolfville, Nova Scotia, Canada
- Manthey, D. (2001), URL: <http://www.orbitals.com/orb/index.html/>
- Mathewson, J. H. (1999), Visual – Spatial thinking: An Aspect of science overlooked by educators, *Science Education*, 83, 33 - 54
- Mikropoulos, T. A., Chalkidis, A., Katsikis, A. and Emvalotis, A. (1998), Students' attitudes towards educational virtual environments, *Education and Information Technologies*, 3, 137-148
- Mikropoulos, T. A., Katsikis, A., Nikolou, E., Tsakalis, P. (2003), Virtual environments in biology teaching, *Journal of Biological Education*, 37, 176-181
- Mikropoulos, T. A. and Strouboulis, V. (2004), Factors that Influence Presence in Educational Virtual Environments, *Cyberpsychology & Behavior*, 7, 582-591
- Mikropoulos T. A. (2006), Presence: A unique characteristic in educational virtual environments, *Virtual Reality*, Volume 10, Numbers 3-4, 197-206, DOI: 10.1007/s10055-006-0039-1
- Milton, J. and Garbi, A. (2000), VIRLAN: Collaborative Foreign Language Learning on the Internet for Primary Age Children: Problems and a Solution, *Educational Technology & Society*, 3, 286-292
- Moore, B. (2000), Orbital plots using Gnuplot, *Journal of Chemical Education*, 77, 785-789
- Müller, R. and Wiesner, H. (1999), Students conceptions of Quantum Physics, paper presented at the National Association for research in science teaching (NARST), in D. Zollman (eds.), *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics*, URL: <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/>
- Niedderer H. and Deylitz S. (1998), Introduction to Atomic Physics. A concept based on the Shrödinger equation, *Institute of Physics Education*, University of Bremen, <http://www.physik.unibremen.de/physics.education/niedderer/projects/quanten/#Pu>

- Niedderer, H. and Deylitz, S. (1999), Evaluation of a new approach in Quantum Atomic Physics in High school, National Association for Research in Science Teaching (NARST), in D. Zollman (eds.), *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics*, <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/>
- Olsen, R. (2001), A study of Norwegian Upper Secondary Physics Specialists' conception of Atomic Models and the Wave Particle Duality, *Paper presented at ESERA 2001*, Thessalonica, http://folk.uio.no/rolvo/Tessaloniki_paper.pdf/
- Olsen, R. (2002), Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway, *International Journal of Science Education*, 24, 565 – 574
- Pantelidis, V. (1997), Keynote Speech, In M. Bevan (ed.), *Proceedings of the International Conference on Virtual Reality in Education & Training*, Loughborough, 7-12
- Papert, S. (1991), *Νοητικές θύελλες*, ΟΔΥΣΣΕΑΣ, Αθήνα
- Petri, J. and Niedderer, H. (1998), A learning pathway in High – school level quantum atomic physics, *International Journal of Science Education*, 20, 1075 – 1088
- Petri, J. and Niedderer, H. (2001), Atomic physics in upper secondary school – Layers of conceptions in individual Cognitive Structure, in D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, G. Bisdikian, G. Fassoulopoulos, E. Hatzikraniotis, and M. Kallery (Eds.), *Science Education Research in the Knowledge Based Society*, ESERA 2001, Thessaloniki, 579 – 581
- Ramasundaram, V., Grunwald, S., Mangeot, A., Comerford, N. B. and Bliss, C. M. (2005), Development of an environmental virtual field laboratory, *Computers and Education*, 45, 21 - 34
- Rebello, N. S. and Zollman, D. (1999), Conceptual understanding of Quantum mechanics after using Hands - on and visualization instructional materials, National Association for Research in Science Teaching (NARST), *Research on teaching and learning Quantum Mechanics*, in D. Zollman, <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>
- Rezaei, A. R. and Katz, L. (1998), A cognitive model for conceptual change in science instruction, *Journal of Educational Computing Research*, 19, 153–172.
- Robertson, G., Crerwinski, M., and Dantzich, M. (1997), *Immersion in Desktop Virtual Reality*, Microsoft Research

- Roble, K., Garik, P. and Abegg, G. (1999), Using computer visualization software to teach quantum science: The impact on pedagogical content knowledge, National Association for Research in Science Teaching (NARST), *Research on teaching and learning Quantum Mechanics*, in D. Zollman, <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>
- Roussos, M., Johnson, A., Moher, T., Leigh, J., Vasilakis, C. and Barnes, C. (1999), Learning and Building Together in an Immersive Virtual World, *Presence*, 8, 247-263
- Salomon, G., Perkins, D. N. and Globerson, T. (1991), Partners in cognition: Extending human intelligence with intelligent technologies, *Educational Researcher*, 20(3), 2-9
- Salzman, M. C., Dede, C., Loftin, R. B. and Chen, J. (1999), A Model for Understanding How Virtual Reality Aids Complex Conceptual Learning, *Presence*, 8, 293-316
- Sanger, M. and Badger, S. (2001), Using Computer - based visualization strategies to improve students' understanding of molecular polarity and miscibility, *Journal of Chemical Education*, 78, 1412 – 1416
- Shusterman, G. and Shusterman, A. (1997), Teaching chemistry with electron density models, *Journal of Chemical Education*, 74, 771 - 776
- Skinner, B. F. (1954), The science of learning and the Art of Teaching, *Harvard educational Review*, 24, 86 – 97
- Skinner, B. F. (1968), *The technology of teaching*, Appleton. New York
- transitions in student understanding of orbital ideas, *Science Education*, 89, 94 – 116
- Thomas, D. A. (1995), *Scientific visualization in mathematics and science teaching* (ed.), AACE, USA
- Trindade, J., Fiolhais, C. and Almeida L. (2002), Science learning in virtual environments: a descriptive study, *British Journal of Educational Technology*, 33, 471-488
- Trindade, J., Kirnerm C. and Fiolhais, C. (2004), An augmented reality application for studying atomic orbitals, In Proceedings of the IADIS *International Conference on Cognition and Exploration Learning in Digital Age*, IEEE Computer Society, 2004, Lisboa, 1, 1-2
- Tversky, B. (2000), Some ways that maps and diagrams communicate, *Spatial Cognition*, 72 - 79

White, B. Y. and Frederiksen, J. R. (1999), Inquiry, modelling and metacognition: making science accessible to all students, *Cognition and Instruction*, 16, 3 - 118

Winn, W. (ed.) (1993), A conceptual basis for educational applications of virtual reality, HITL University of Washington, <http://www.hitl.washington.edu/publications>

Winter, M. (2002), Orbitron, <http://www.shef.ac.uk/chemistry/orbitron/>

Witmer, B. and Singer, M. (1994), *Measuring immersion in virtual environments (Tech. Rep. 1014)* Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences

Καλκάνης, Γ. Θ. (2004), Οι Τεχνολογίες Προσομοίωσης και Πειραματισμού (και στην εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες – Επί του πρακτέου, στο Ι. Κεκές (επιμ.) ‘*Εκπαίδευση και Νέες Τεχνολογίες: Ζητήματα σχεδιασμού και εφαρμογών, φιλοσοφικές – κοινωνικές προεκτάσεις*’, 203 – 248, Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Ατραπός

Κεκές, Ι. (2004), Εισαγωγή στο Κόμης κ. ά.: ‘Το εκπαιδευτικό λογισμικό μοντελοποίησης στη Διδακτική των θετικών επιστημών’, στο Ι. Κεκές (επιμ.) ‘*Εκπαίδευση και Νέες Τεχνολογίες: Ζητήματα σχεδιασμού και εφαρμογών, φιλοσοφικές – κοινωνικές προεκτάσεις*’, 111 - 112, Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Ατραπός

Κόμης, Β. και Μικρόπουλος, Α. (2002), *Πληροφορική στην Εκπαίδευση*, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα

Κόμης, Β., Ράπτης, Α., Πολίτης, Π. και Δημητρακοπούλου, Α. (2004), Το εκπαιδευτικό λογισμικό μοντελοποίησης στη Διδακτική των θετικών επιστημών, στο Ι. Κεκές (επιμ.) ‘*Εκπαίδευση και Νέες Τεχνολογίες: Ζητήματα σχεδιασμού και εφαρμογών, φιλοσοφικές – κοινωνικές προεκτάσεις*’, 113 – 134, Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Ατραπός

Κοντογεωργίου, Α. και Μικρόπουλος, Τ. (2003), Η διδασκαλία του ατομικού μοντέλου της ύλης. Από την κλασική στην κβαντομηχανική θεώρηση, *Θέματα στην Εκπαίδευση*, 4, 25-45

Κοντογεωργίου Α., Κώτσης Κ. και Μικρόπουλος Τ., (2004), Οπτικές και νοητικές αναπαραστάσεις για την κατανόηση της δομής της ύλης, Στο Β. Τσελφές, Π. Καριώτογλου, Μ. Πατσαδάκης (επιμ), *Φυσικές επιστήμες: Διδασκαλία –Μάθηση και Εκπαίδευση*, τόμος Α΄, σελ 58-65.

- Μικρόπουλος, Τ. Α. (1998), Η Εικονική Πραγματικότητα στην Υποστήριξη της Εκπαιδευτικής Διαδικασίας *1^η Πανεπιστημιακή ημερίδα Πληροφορική στην Εκπαίδευση*, 35-43 Ιωάννινα
- Μικρόπουλος, Τ. (2002), Προσομοιώσεις και Οπτικοποιήσεις στην Οικοδόμηση Εννοιών στις Φυσικές Επιστήμες, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο, *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών & Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση*, Ρέθυμνο
- Μικρόπουλος, Τ. (εκδ.)(2003), *Εκπαιδευτικό λογισμικό: Θέματα σχεδίασης και αξιολόγησης λογισμικού υπερμέσων*, Κλειδάριθμος, Αθήνα
- Μικρόπουλος, Τ. (2004), Οι τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών στη Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: Κριτική θεώρηση και προτάσεις, στο Ευγ. Τσιτοπούλου, Χ. Χαλέτσος και Π. Φιλντίσης (επιμ.), 8^ο Κοινό Συνέδριο ΕΕΦ και ΕΚΦ, *Προοπτικές, εξελίξεις και Διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών*, 22 – 28, Καλαμάτα
- Μπέλλου, Ι. (2003), *Εικονικές πραγματικότητες στη γεωγραφική εκπαίδευση: σχεδιασμός, ανάπτυξη, εφαρμογή και αξιολόγηση ενός διδακτικού πακέτου για τη διδασκαλία και μάθηση γεωγραφικών εννοιών*, Διδακτορική Διατριβή, Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Ραβάνης, Κ. (2004), *Οι Φυσικές Επιστήμες στην προσχολική ηλικία: Διδακτική και γνωστική προσέγγιση*, Τυπωθήτω, Αθήνα
- Ράπτης, Α. και Κόμης, Β. (2002), Η υπολογιστική μοντελοποίηση στη διδασκαλία και τη μάθηση των θετικών επιστημών, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο *Διδακτική των Φυσικών Επιστημών & εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην εκπαίδευση*, Ρέθυμνο
- Σιμάτος, Α. (1995), *Τεχνολογία και Εκπαίδευση*, Πατάκης, Αθήνα
- Σταυρίδου, Ε. (1995), *Μοντέλα φυσικών επιστημών και διαδικασίες μάθησης*, Σαββάλας, Αθήνα
- Στρουμπούλης, Β. (2005), *Η αντίληψη του χώρου για ολοκλήρωση εκπαιδευτικών εφαρμογών. Η αίσθηση της παρουσίας σε εικονικά περιβάλλοντα*, Διδακτορική Διατριβή, Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	1
Επιδράσεις των θεωριών μάθησης στη σχεδίαση πληροφορικών περιβαλλόντων	4
Εκπαιδευτικό λογισμικό	6
Σχεδίαση εκπαιδευτικού λογισμικού σύμφωνα με τη θεωρία του εποικοδομητισμού ..	9
Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	12
Μοντέλα και διαδικασίες μοντελοποίησης	18
Προσομοιώσεις	23
Εικονική πραγματικότητα και εκπαίδευση	25
Τα εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα και η οπτικοποίηση στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών	28
Η ποιοτική διδακτική προσέγγιση του Κβαντικού Ατομικού Μοντέλου (ΚΑΜ) με αξιοποίηση των ΤΠΕ : Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	33
Σύνοψη και συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης	45
Αναφορές	48

