



Οπτική αναπαράσταση του Κβαντικού Ατομικού Προτύπου σε Εικονικό Περιβάλλον: Είναι απαραίτητη για τη διδακτική επεξεργασία των εννοιολογικών εμποδίων των φοιτητών;

Κοντογεωργίου Α., Κώτσης Κ., Μικρόπουλος Τ.

Σχολική Σύμβουλος ν. Λάρισας, kontogeorgiou@grads.uoi.gr
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, kkotsis@cc.uoi.gr, amikrop@uoi.gr

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται τμήμα μιας μεγαλύτερης έρευνας που ασχολείται με την διδακτική επεξεργασία των εννοιολογικών εμποδίων των φοιτητών Παιδαγωγικού Τμήματος, που συνδέονται με το Κβαντικό Ατομικό Πρότυπο, όπως αυτά διαπιστώνονται από την βιβλιογραφική έρευνα και την πιλοτική εμπειρική μελέτη. Επίσης, περιγράφεται η ανάπτυξη του εκπαιδευτικού λογισμικού το 'Κβαντικό Άτομο' ως Εκπαιδευτικό Εικονικό Περιβάλλον (ΕΕΠ), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διδακτική επεξεργασία ενός από τα πέντε 'εμπόδια – στόχους'. Το εννοιολογικό αυτό εμπόδιο συνδέεται με την οπτικοποίηση των επιφανειών ίσης πιθανότητας και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου. Κατά την αλληλεπίδρασή τους με το ΕΕΠ οι φοιτητές οδηγούνται στη δημιουργία νοητικής σύγκρουσης για την αποσταθεροποίηση του εμποδίου και την υπέρβασή του. Από την ποιοτική ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η αλληλεπιδραστικότητα και οι τρισδιάστατες δυναμικές οπτικοποιήσεις που χαρακτηρίζουν τα ΕΕΠ συντελούν στην υπέρβαση του εμποδίου σε ικανοποιητικό βαθμό.

Εισαγωγή

Η ενασχόληση της επιστήμης με τον μικρόκοσμο τον προηγούμενο αιώνα καθόρισε την πορεία της. Σήμερα η επιστημονική κοινότητα γνωρίζει και αποδέχεται πλέον, έπειτα από συζητήσεις, διαμάχες και πολλές προσπάθειες στο θεωρητικό και στο πειραματικό πεδίο ότι «οι κλασικοί νόμοι – οι νόμοι του 'δικού μας' χειροπιαστού μακρόκοσμου – δεν είναι παρά μια ωχρή αντανάκλαση, μια ακραία οριακή περίπτωση, των 'κβαντικών νόμων' που κυβερνούν τον ατομικό μικρόκοσμο» (Τραχανάς 1981).

Επιπλέον η ανάπτυξη της Κβαντικής Θεωρίας άνοιξε νέα προοπτική θεώρησης του φυσικού κόσμου από την ανθρώπινη νόηση. Ο ντετερμινισμός εκτοπίστηκε και το μέλλον δεν μπορεί πλέον να προβλεφθεί με βεβαιότητα. Ο χρόνος είναι μη αντιστρεπτός, αφού τα γεγονότα στον φυσικό κόσμο συμβαίνουν με τρόπο στοχαστικό, μη καθορισμένο από το παρελθόν. Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης δεν μπορεί να αναχαιτίσει την τυχαιότητα με όσο μεγάλη προσοχή και ακρίβεια και αν αυτή εκτελεσθεί. Οι επιστήμονες μπορούν να μιλούν ακόμη για κίνηση, αλλά δεν μπορούν να προσδιορίσουν πώς ένα αντικείμενο του μικρόκοσμου θα κινείται με ακρίβεια πάνω σε ένα δρόμο – τροχιά.

Η μελέτη των βασικών νόμων της Κβαντικής Θεωρίας είναι απαραίτητη για να διερευνηθούν οι ιδιότητες της ύλης και ιδιαιτέρως η δομή και η μορφή των ατόμων των χημικών στοιχείων εφ' όσον αποτελούν δομικές της μονάδες. Η αφετηρία για την ενεργητική οικοδόμηση αυτής της γνώσης μπορεί να είναι η μελέτη του ατόμου σύμφωνα με τις αρχές της Κβαντομηχανικής.

Έρευνες στο χώρο της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών στην Ελλάδα, αλλά και σε διεθνές επίπεδο έχουν καταγράψει πολλαπλώς τις σημαντικότερες αυθόρμητες νοητικές παραστάσεις φοιτητών και μαθητών που αφορούν στη Κβαντική Θεώρηση του Ατόμου (ΚΘΑ). Οι προτάσεις που έχουν διατυπωθεί για την αντιμετώπισή τους συγκλίνουν στην ποιοτική διδακτική



προσέγγιση της ΚΘΑ στις τελευταίες τάξεις του Λυκείου και στα πρώτα έτη του Πανεπιστημίου με παράλληλη αξιοποίηση των δυνατοτήτων των ΤΠΕ και ιδιαιτέρως των αλληλεπιδραστικών περιβαλλόντων (Κοντογεωργίου κ. ά. 2007, Kontogeorgiou et all. 2007). Στην παρούσα εργασία περιγράφονται τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες εκπαιδευτικού λογισμικού σε περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας (ΕΠ) για την ποιοτική αναπαράσταση του ατόμου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία, η διδακτική του αξιοποίηση και τα μαθησιακά της αποτελέσματα κατά την επεξεργασία ενός από τα εννοιολογικά εμπόδια των φοιτητών που αφορούν στην οπτικοποίηση των επιφανειών ίσης πιθανότητας και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου. Ως παράδειγμα χρησιμοποιείται το άτομο του Υδρογόνου.

Το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας και οι ερευνητικοί άξονες

Το θεωρητικό πλαίσιο, για τη δημιουργία της διδακτικής πρότασης και την ποιοτική ανάλυση όλων των εμπειρικών δεδομένων, βασίστηκε στην έννοια του 'Εμποδίου' που συνδέθηκε με αυτήν του 'Στόχου – Εμποδίου', ως θεμελιώδους δομικού συστατικού των διαδικασιών μάθησης. Συγκροτήθηκε από τη γαλλική ερευνητική ομάδα της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών του Institut National de Recherche Pédagogique (I.N.R.P.), με στόχο τη διδακτική επεξεργασία των εμποδίων των μαθητών στην εννοιολογική περιοχή των μεταβολών της ύλης (Astolfi & Peterfalvi 1993, Peterfalvi 2001).

Στην παρούσα ερευνητική εργασία έγιναν ορισμένες τροποποιήσεις στην εφαρμογή του, μέσω του μοντέλου 'των δυναμικών δικτύων', ώστε κεντρικό τμήμα της παρέμβασης να αποτελέσει η αξιοποίηση του εκπαιδευτικού λογισμικού 'Το Κβαντικό Άτομο'.

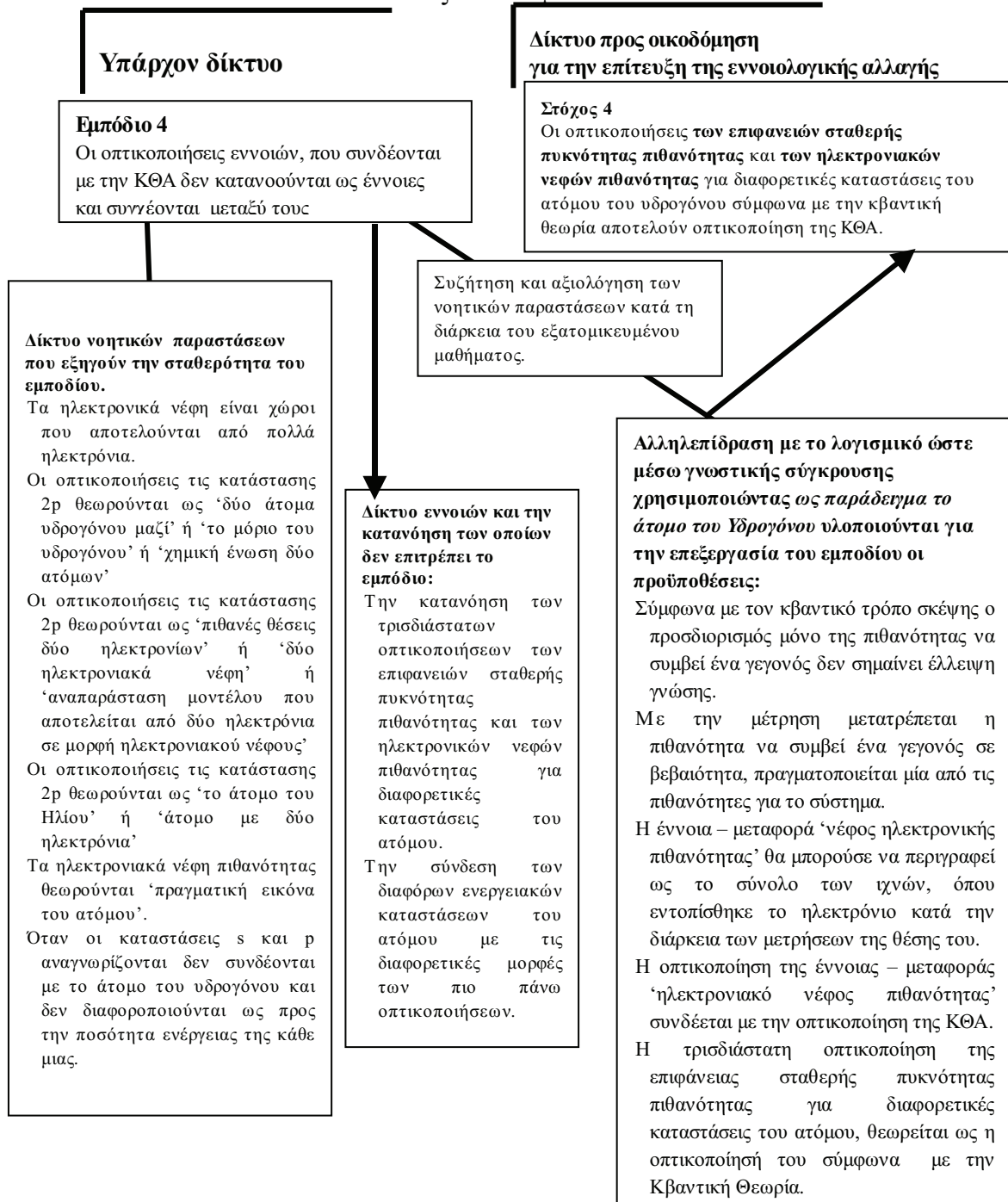
Η κύρια έρευνα συνολικά είχε ως στόχο τη διδακτική επεξεργασία πέντε 'Στόχων - Εμποδίων' με την αξιοποίηση των δυναμικών οπτικοποιήσεων σε ΕΕΠ και την αποτίμηση των μαθησιακών της αποτελεσμάτων. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της πιλοτικής έρευνας αλλά και άλλες ερευνητικές προσπάθειες προέκυψε ότι τα εμπόδια αυτά αντιστέκονται στην αφομοίωση εκ μέρους των διδασκόμενων της ΚΘΑ και συνδέονται με βασικές έννοιες και αρχές της. Επίσης οι 'Στόχοι – Εμπόδια' είναι καθοριστικοί για την ποιοτική προσέγγιση της ΚΘΑ και διαφοροποιούν την Κβαντική Θεωρία από την Κλασική Φυσική.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με ένα από αυτά που αφορά στις οπτικοποιήσεις εννοιών, που συνδέονται με την ΚΘΑ και δεν κατανοούνται ή συγχέονται μεταξύ τους. Οι ερευνητικοί άξονες συνδέονται με αυτό το εμπόδιο και είναι:

1. Η διερεύνηση και η διδακτική επεξεργασία των αυθόρμητων νοητικών παραστάσεων των φοιτητών για τις οπτικοποιήσεις των επιφανειών ίσης πιθανότητας και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία
2. Η σύνδεση των μαθησιακών αποτελεσμάτων για το νοητικό εμπόδιο αυτό με τα βασικά χαρακτηριστικά του 'Κβαντικού Ατόμου' ως ΕΕΠ, τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης των χρηστών με αυτό και τις τρισδιάστατες δυναμικές οπτικοποιήσεις του Κβαντικού Ατομικού Προτύπου (ΚΑΠ) του Υδρογόνου.

Στον Πίνακα 1 εμφανίζεται το δυναμικό δίκτυο για τον τέταρτο από τους 'Στόχους – Εμπόδια', με το οποίο θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή.

Πίνακας 1: Δυναμικό δίκτυο



Δείγμα και μεθοδολογία της έρευνας

Η κύρια έρευνα πραγματοποιήθηκε με τριάντα τρεις φοιτήτριες και φοιτητές από το Α΄ έτος του Παιδαγωγικού Τμήματος του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά το ακαδημαϊκό έτος 2004 – 2005. Αποτελείται από δύο στάδια:

Στο πρώτο στάδιο οι φοιτητές παρακολούθησαν ένα παραδοσιακό μάθημα – διάλεξη, κατά τη διάρκεια του οποίου έγινε επίδειξη δυναμικών οπτικοποιήσεων από δύο λογισμικά που υπάρχουν στο Διαδίκτυο (Blauch 2001, Winter 2002) και θα ονομάζεται στο εξής 'ομαδικό μάθημα'. Στη συνέχεια συμπλήρωσαν ένα πρώτο ερωτηματολόγιο με εννέα ερωτήσεις ανοικτού τύπου, που συνδέονταν με τους 'στόχους – εμπόδια'.



Στο δεύτερο στάδιο οι φοιτητές συμμετείχαν σε εξατομικευμένο μάθημα αμέσως μετά από το οποίο συμπλήρωσαν ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο με ερωτήσεις ανοικτού τύπου. Στη διάρκεια του μαθήματος αυτού κάθε φοιτητής με αφετηρία τις απαντήσεις του στο πρώτο ερωτηματολόγιο καθοδηγήθηκε μέσω της αλληλεπίδρασής του με το ΕΕΠ στην επεξεργασία των εμποδίων και την οικοδόμηση νοητικών εικόνων σύμφωνων με την ΚΘΑ. Η οπτικοποίηση μέσω του λογισμικού των ιδιοτήτων ενός κβαντικού αντικειμένου (π.χ. ηλεκτρονίου) παρουσιάζονταν έτσι ώστε να οδηγήσει σε νοητική σύγκρουση.

Τα μαθησιακά αποτελέσματα σε όλα τα στάδια της κύριας έρευνας αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν ποιοτικά και ποσοτικά για την πληρέστερη αποτίμησή τους. Για την ποιοτική ανάλυση των αποτελεσμάτων οι απαντήσεις των φοιτητών ομαδοποιούνται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το αν αυτές συνδέονται με το Εμπόδιο ή τον Στόχο (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Κατηγορίες νοητικών παραστάσεων των φοιτητών

ΕΜΠΟΔΙΟ 4: Οπτικοποιήσεις εννοιών που συνδέονται με την ΚΘΑ		
ΕΜΠΟΔΙΟ 4 Κατηγορία Ε4	Ε4.1	Δεν δίνει καμία απάντηση ή δεν διαθέτει καμία σχετική νοητική παράσταση συμβατή προς την επιστημονική γνώση.
	Ε4.2	Αναγνωρίζει με τρόπο που δεν συμπίπτει με την επιστημονικά τεκμηριωμένη άποψη τις τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις των επιφανειών σταθερής πυκνότητας πιθανότητας και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου ή απλά τις ονομάζει.
	Ε4.3	Περιγράφει κάποιες από τις τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις των επιφανειών σταθερής πυκνότητας πιθανότητας και των ηλεκτρονικών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου. Στο σύνολό τους οι νοητικές παραστάσεις του φανερώνουν σύγχυση των εννοιών, κυρίως όταν αναφέρεται στις διαφορές των εικόνων.
ΣΤΟΧΟΣ 4 Κατηγορία Σ4	Σ4.1	Αναγνωρίζει τις τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις των επιφανειών σταθερής πυκνότητας πιθανότητας και των ηλεκτρονικών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου και καταγράφει κάποιες από τις πληροφορίες που δίνουν σύμφωνα με την κβαντική θεωρία.
	Σ4.2	Αναγνωρίζει τις τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις των επιφανειών σταθερής πυκνότητας πιθανότητας και των ηλεκτρονικών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου και καταγράφει τις πληροφορίες που δίνουν σύμφωνα με την κβαντική θεωρία.

Επιλέχθηκε η μέθοδος της συμπλήρωσης ερωτηματολογίου με ερωτήσεις ανοικτού τύπου, διότι είχαν προηγηθεί οι ημιδομημένες συνεντεύξεις κατά τη διάρκεια της πιλοτικής έρευνας και οι 'στόχοι – εμπόδια' είχαν ήδη προσδιοριστεί. Απαντώντας στα ερωτηματολόγια ανοικτού τύπου δόθηκε η δυνατότητα στους ερωτώμενους να εκφραστούν γραπτά, αλλά χωρίς περιορισμούς από τη διατύπωση της ερώτησης, ενώ διαφορετικές ερωτήσεις διαπραγματεύονταν το ίδιο εμπόδιο, ώστε να αποκαλυφθούν καλύτερα οι νοητικές παραστάσεις των φοιτητών και των φοιτητριών. Επιπλέον οι ερωτήσεις που επιλέχθηκαν έδιναν τη δυνατότητα για εμφάνιση νοητικών παραστάσεων συσχετιζόμενων με περισσότερα του ενός εμπόδια, ώστε να αποκαλυφθούν και οι συνδέσεις μεταξύ τους.

Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η διαδικασία ανάδειξης και διδακτικής επεξεργασίας του τέταρτου 'στόχου – εμποδίου' με την αλληλεπίδραση των φοιτητών με το ΕΕΠ, καθώς και η ποιοτική ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων.



Το εκπαιδευτικό εικονικό περιβάλλον ‘Το Κβαντικό Άτομο’

Η οπτικοποίηση του ατόμου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία πρέπει να στηρίζεται στην επιστημονική γνώση και τον κατάλληλο διδακτικό μετασχηματισμό. Επομένως είναι απαραίτητη η προσομοίωση και η οπτικοποίησή του με δυναμικά χαρακτηριστικά. Η δυναμική δεν αναφέρεται μόνο στην παρουσίαση των γραφημάτων, αλλά και στη δυνατότητα αλληλεπίδρασης των διδασκομένων με αυτά, καθώς και μεταβολής των συνθηκών και των παραμέτρων και επεξεργασίας των πληροφοριών με βάση συγκεκριμένες μαθησιακές δραστηριότητες για την υπέρβαση των εμποδίων και την προσέγγιση των επιδιωκόμενων στόχων. Επιπλέον, επισημαίνεται (Μπέλλου 2003) ότι ένα εργαλείο πρέπει να παρέχει κίνητρα στον κάθε διδασκόμενο - χρήστη, περιβάλλον για ευχάριστη και δημιουργική ενασχόληση με τη λιγότερη δυνατή γνωστική υπερφόρτωση και δυνατότητα παροχής εμπειριών, πληροφοριών και δραστηριοτήτων για την οικοδόμηση της γνώσης από τον ίδιο (Purnell & Solman 1993, Birkenhauer 1994).

Η Κβαντική Θεωρία περιγράφεται με ένα ισχυρό μαθηματικό φορμαλισμό και θα ήταν δυνατό να αναπαρασταθούν οπτικά μέσω προσομοιώσεων πολλές μαθηματικές ποσότητες. Από αυτές επιλέξαμε τις οπτικοποιήσεις των επιφανειών ίσης πιθανότητας (isosurface density plots) και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας (electron density plots) για διαφορετικές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου, που θεωρήθηκαν οι πλέον κατάλληλες για την ποιοτική προσέγγιση του ατόμου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία.

Το λογισμικό σχεδιάστηκε, λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω επισημάνσεις και τις περισσότερες από τις βασικές αρχές σχεδίασης μαθησιακών περιβαλλόντων με τη βοήθεια υπολογιστή σύμφωνα με την εποικοδομητική προσέγγιση (Boyle 1997). Τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες περιγράφονται αναλυτικά από τους συγγραφείς (Κοντογεωργίου κ. ά. 2009).

Η ανάπτυξη του ΕΕΠ ‘Το Κβαντικό Άτομο’ (Κοντογεωργίου κ. ά. 2006α,β) βασίστηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και την πιλοτική έρευνα. Έμφαση δόθηκε:

- στη σταδιακή οικοδόμηση του ηλεκτρονιακού νέφους, ώστε να φαίνεται η συγκρότησή του από τις πιθανές θέσεις το ενός ηλεκτρονίου και παράλληλα η αδυναμία χάραξης της τροχιάς του
- στην τρισδιάστατη παρουσίαση των επιφανειών σταθερής πιθανότητας ως οπτικής αναπαράστασης του ατόμου του υδρογόνου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία ως, ώστε να αντικατασταθεί η νοητική εικόνα που είναι συμβατή με το μοντέλο του Bohr
- στην οπτικοποίηση του φαινομένου της διέγερσης του ατόμου από την θεμελιώδη στις δύο πρώτες διεγερμένες καταστάσεις από υπεριώδες πολωμένο γραμμικά ή κυκλικά φως
- στη σύνδεση των καταστάσεων $2p$ και $3p$ με το φαινόμενο της διέγερσης του ατόμου του υδρογόνου και της αναπαράστασής του (του ατόμου) με την αναπαράσταση της επιφάνειας ίσης πιθανότητας στις καταστάσεις αυτές.

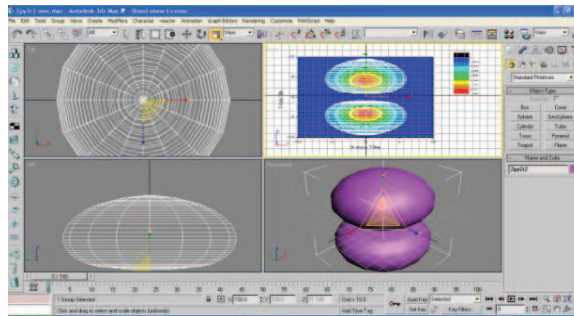
Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται μία από τις οπτικοποιήσεις του ΕΕΠ.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

Ελάχιστη επίδραση φαίνεται να είχε το ομαδικό μάθημα στην μεταβολή των νοητικών παραστάσεων των φοιτητών. Οι περισσότεροι απαντούν με βάση όσα έμαθαν στο Λύκειο.



Σχήμα 1: Η 1^η διεγερμένη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου από πρόσπτωση γραμμικά πολωμένου ηλεκτρομαγνητικού κύματος, στο περιβάλλον του άλλου του 3D Max.



Ιδιαίτερα όσοι προέρχονταν από τη θεωρητική και την τεχνολογική κατεύθυνση δεν επηρεάστηκαν από την παρουσίαση μιας άλλης θεωρίας για τον ατομικό μικρόκοσμο, με τον τρόπο που έγινε η διδασκαλία. Επίσης, η συμβολή των οπτικοποιήσεων των λογισμικών στην επεξεργασία των εμποδίων δεν είχε θετικά αποτελέσματα.

Το εξατομικευμένο μάθημα και ο ρόλος του ΕΕΠ 'Το Κβαντικό Άτομο'

Οι γενικές αρχές για τη διδακτική επεξεργασία των εμποδίων καθορίζουν τις νοητικές διαδικασίες που θέλουμε να ενεργοποιήσουμε ή να προκαλέσουμε στους διδασκόμενους οποιασδήποτε εκπαιδευτικής βαθμίδας. Οι αρχές αυτές καθορίστηκαν από τους Astolfi και Peterfalvi (1997) και Peterfalvi (1997). Στην παρούσα εργασία προσαρμόστηκαν για τη διδακτική παρέμβαση με την αξιοποίηση των δυναμικών οπτικοποιήσεων του αλληλεπιδραστικού λογισμικού 'Το Κβαντικό Άτομο' και είναι οι ακόλουθες:

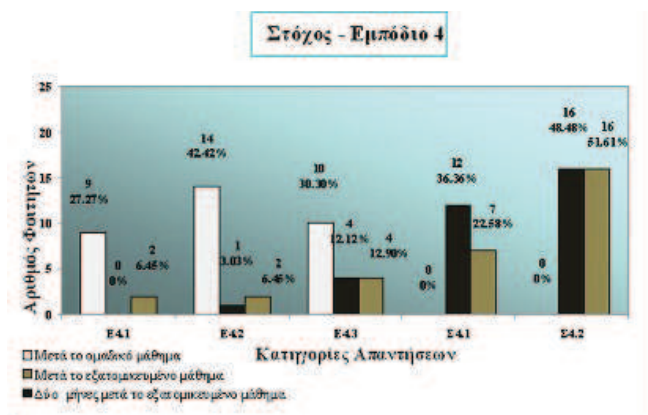
- *Η επεξεργασία του εμποδίου κατέχει κεντρική θέση στην οργάνωση του εξατομικευμένου μαθήματος και καθοδηγεί τη λογική του αντίστοιχου τμήματος του λογισμικού κατά την σχεδίαση και κατά την αλληλεπίδραση του φοιτητή με αυτό.*
- *Η ενθάρρυνση για ενεργητική συμμετοχή των φοιτητών στις προτεινόμενες διδακτικές καταστάσεις:* Οι φοιτητές είναι απαραίτητο να εμπλέκονται προσωπικά στην αντιπαράθεση των επιχειρημάτων για την επεξεργασία του εμποδίου, για να αρθρώσουν τις νοητικές τους παραστάσεις, ώστε να τις αποσαφηνίσουν (Taber & Watts 1997), να τις επεξεργαστούν και να υιοθετήσουν εκείνες που είναι επιστημονικά αποδεκτές. Οι ισχυρά αλληλεπιδραστικές δυνατότητες των εικονικών περιβαλλόντων εξασφαλίζουν την προσωπική εμπλοκή των διδασκόμενων και διευκολύνουν τα επόμενα στάδια για την οικοδόμηση της επιστημονικής γνώσης.
- *Προοδευτική επεξεργασία του εμποδίου:* Καθώς ο φοιτητής αλληλεπιδρά με τα διάφορα μέρη του λογισμικού επιφέρονται διαδοχικές ρηγματώσεις στα εμπόδια, οι οποίες γνωρίζουμε ότι είναι μερικές και προσωρινές, αλλά με την πρόοδο της διδακτικής παρέμβασης γίνονται διαρκώς πιο μόνιμες.
- *Πρόκληση αποσταθεροποίησης και αναδόμησης του εμποδίου:* Το πέρασμα από την υπάρχουσα εννοιολογική κατάσταση στην επιδιωκόμενη απαιτεί την αποδόμηση των αρχικών νοητικών παραστάσεων και την αναδόμηση των νέων προς την κατεύθυνση της επιθυμητής γνώσης με τις οποίες ο φοιτητής θα πρέπει να νοιώθει εξ ίσου άνετα όπως και με τις αρχικές. Όπως προκύπτει από τα δυναμικά δίκτυα των εμποδίων που παραθέσαμε στην προηγούμενη παράγραφο, το στάδιο της αποδόμησης αρχίζει με την συζήτηση και αξιολόγηση των νοητικών παραστάσεών τους στην αρχή του εξατομικευμένου μαθήματος.

- Απόδοση έμφασης στην εκ των υστέρων αναγνώριση του εμποδίου από τους φοιτητές: Τελικός στόχος της επεξεργασίας των εμποδίων είναι να αναπτυχθεί η ετοιμότητα του φοιτητή, ώστε να επιτυγχάνει την αναγνώριση των εμποδίων σε νέες καταστάσεις και να είναι σε θέση να ελέγχει τις καινούριες του εκδηλώσεις. Κατά την αλληλεπίδραση με το τελευταίο τμήμα του λογισμικού γίνεται εν μέρει προσπάθεια για να επιτευχθεί και ο στόχος αυτός.

Μετά το εξατομικευμένο μάθημα είκοσι οκτώ (28) φοιτητές φαίνεται σύμφωνα με τις απαντήσεις τους ότι δημιούργησαν νοητικές παραστάσεις που προσεγγίζουν τον Στόχο 4. Οι άλλοι πέντε (5) δίνουν απαντήσεις που δείχνουν ότι δεν έχουν επεξεργαστεί επαρκώς το Εμπόδιο 4.

Δύο μήνες μετά το εξατομικευμένο μάθημα στο νέο ερωτηματολόγιο που συμπλήρωσαν είκοσι τρεις (23) φοιτητές διατήρησαν τις νοητικές παραστάσεις που προσεγγίζουν τον Στόχο 4, ενώ οκτώ (8) δίνουν απαντήσεις που δείχνουν ότι δεν έχουν υπερβεί το Εμπόδιο 4. Δύο φοιτήτριες δεν έδωσαν καμία απάντηση. Στο Σχήμα 2 φαίνονται τα μαθησιακά αποτελέσματα των τριών σταδίων της έρευνας για τον Στόχο - Εμπόδιο 4. Από αυτό προκύπτει ότι εμφανίστηκε σημαντική μετακίνηση των νοητικών παραστάσεων των φοιτητών μετά το εξατομικευμένο μάθημα από το Εμπόδιο 4 προς τον επιδιωκόμενο Στόχο 4, το οποίο συνδέεται με τις τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις των επιφανειών σταθερής πυκνότητας πιθανότητας και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας, ώστε να προσεγγίσουν την επιστημονικά αποδεκτή θεώρηση για την οπτικοποίηση των εννοιών που συνδέονται με την κβαντική θεωρία, την οποία οι περισσότεροι διατήρησαν δύο μήνες μετά.

Σχήμα 2: Μαθησιακά αποτελέσματα των τριών σταδίων της κύριας έρευνας για τον Στόχο - Εμπόδιο 4



Συμπεράσματα

Τα μαθησιακά αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη, ότι η αλληλεπίδραση με εκπαιδευτικά λογισμικά σε ΕΕΠ στα πλαίσια μιας διδακτικής παρέμβασης, όπου δίνεται έμφαση στη διδακτική επεξεργασία των εμποδίων, οδηγεί στην οικοδόμηση νοητικών παραστάσεων συμβατών με τις επιστημονικές σε ικανοποιητικό βαθμό. Δύο μήνες αργότερα οι εμπλεκόμενοι στην έρευνα φοιτητές, φαίνεται ότι αναγνώριζαν το εμπόδιο και είχαν μετακινηθεί προς τον επιδιωκόμενο στόχο. Επιπλέον, η αίσθηση της παρουσίας που βιώνεται από τους χρήστες - διδασκόμενους του εικονικού κόσμου ενισχύει την δημιουργία και την σταθερότητα των νοητικών τους παραστάσεων. Θα πρέπει, επίσης να υπογραμμισθεί ότι η διαφορά των μαθησιακών αποτελεσμάτων μεταξύ του ομαδικού και του εξατομικευμένου μαθήματος. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι οφείλεται στο γεγονός ότι η πρώτη διδακτική παρέμβαση δεν



ενέπλεκε ενεργά τους διδασκόμενους και οι τρισδιάστατες απεικονίσεις αφ' ενός μεν παρουσιάστηκαν στους φοιτητές, αφ' εταίρου δε οι έννοιες που απεικονίζονταν δεν συσχετίζονταν μεταξύ τους, ούτε με το συγκεκριμένο άτομο του υδρογόνου. Τα μαθησιακά αποτελέσματα της παρούσας έρευνας βρίσκονται σε συμφωνία με άλλες έρευνες για την Κβαντική Θεωρία ή την αξιοποίηση των ΕΕΠ (αναφέρονται στο Κοντογεωργίου κ. ά. 2009). Φαίνεται επομένως ότι η συνεισφορά του ΕΕΠ είναι θετική, όταν συνεισφέρει στη δημιουργία νοητικής σύγκρουσης για την οικοδόμηση των επιστημονικά αποδεκτών νοητικών παραστάσεων από τους εμπλεκόμενους ενεργά διδασκόμενους. Η δημιουργία των οπτικοποιήσεων που συνδέονται με το ΚΘΑ και περιλαμβάνονται στο 'Κβαντικό Άτομο' είναι σημαντική, γιατί καθιστά 'ορατό' τον κβαντικό μικρόκοσμο, τον οποίο καλούνται οι μαθητές και οι φοιτητές να αναπαραστήσουν νοητικά, ενώ είναι αδύνατο να τον αντιληφθούν με οποιαδήποτε από τις αισθήσεις τους.

Βιβλιογραφία

Κοντογεωργίου, Ασ., Κώτσης, Κ. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2006α). Οι αντιλήψεις για το άτομο των φοιτητών, που παρακολούθησαν το μάθημα της Φυσικής Γενικής Παιδείας στη Γ' Λυκείου, στα Πρακτικά του 11ο Πανελλήνιου Συνεδρίου Φυσικής της ΕΕΦ, Λάρισα.

Κοντογεωργίου, Ασ., Κώτσης, Κ. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2006β). Ένα εκπαιδευτικό λογισμικό για τη διδασκαλία του κβαντικού ατόμου, στα πρακτικά του συνεδρίου «Σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης και παραγωγή διδακτικού υλικού» που οργανώθηκε από την ΕΤΠΕ και τα Παιδαγωγικά Τμήματα Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, 213-222, Βόλος.

Κοντογεωργίου, Ασ., Κώτσης, Κ. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2007). Είναι κβαντικό το άτομο; Η νοητική εικόνα των φοιτητών, στα πρακτικά του συνεδρίου «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση» 5ο Συνέδριο, 538-547, Ιωάννινα.

Κοντογεωργίου, Ασ., Κώτσης, Κ. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2009). «Το Κβαντικό Άτομο»: Ένα Εκπαιδευτικό Εικονικό Περιβάλλον, στα πρακτικά του συνεδρίου 1ου Εκπαιδευτικού Συνεδρίου «Ένταξη και Χρήση των ΤΠΕ στην Εκπαιδευτική Διαδικασία», Βόλος (υπό δημοσίευση).

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.

Τραχανάς, Στ. (1981). Κβαντομηχανική, Τόμος Ι, ΙΙ. Εκδόσεις Σύγχρονες Επιστήμες.

Astolfi, J. P. & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales, *Aster*, 16, 103 – 141.

Birkenhauer, J. (1994). The acceptance of specific terms in the teaching of geography: a German experience, *International Research in Geographical and Environmental Education*, 3(1), 31-44.

Blauch, D. (2001). [URL:http://www.chm.davidson.edu/ChemistryApplets/AtomicOrbitals/AtomicOrbitals.html](http://www.chm.davidson.edu/ChemistryApplets/AtomicOrbitals/AtomicOrbitals.html)

Boyle, T. (1997), *Design for Multimedia Learning*, Prentice Hall, NJ.

Kontogeorgiou, A., Bellou, J. & Mikropoulos, T. A. (2007). 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.

Peterfalvi, B. (1997). L'indentification d'obstacles par les élèves, *Aster*, 24, 171 – 202.

Peterfalvi, B. (2001). Obstacles et situations didactiques en sciences: processus intellectuels et confrontations. L'exemple des transformations de la matière. Thèse de Doctorat, Université de Rouen.

Purnell, K. N. & Solman, R. T. (1993). The application of cognitive load theory to improve the learning of spatial information, *International Research in Geographical and Environmental Education*, 2, 80-91.

Taber, K. S. & Watts, M. (1997). Constructivism and concept learning in chemistry - Perspectives from a case study. *Research in Education*, 58, 10-20.

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