

Είναι κβαντικό το άτομο; Η νοητική εικόνα των φοιτητών

Ασημίνα Μ. Κοντογεωργίου¹, Κωνσταντίνος Κώσης², Τάσος Α. Μικρόπουλος¹

¹ Εργαστήριο Εφαρμογών Εικονικής Πραγματικότητας στην Εκπαίδευση, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων - kontogeorgiou@grads.uoi.gr

² Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Περίληψη. Στην παρούσα μελέτη αναφέρονται οι δυσκολίες φοιτητών στη δημιουργία επιστημονικά αποδεκτής νοητικής εικόνας για το άτομο και οι λόγοι για τους οποίους τα υπάρχοντα λογισμικά δεν συμβάλουν αποτελεσματικά στη δημιουργία της. Στη συνέχεια διερευνάται η συμβολή της οπτικοποίησης του ατόμου του υδρογόνου σε Εικονικό Περιβάλλον στην επεξεργασία δύο στόχων – εμποδίων που αφορούν στις νοητικές παραστάσεις φοιτητών για την Κβαντική Θεώρηση του Ατόμου (ΚΘΑ). Η επεξεργασία των εμποδίων υλοποιείται με την αξιοποίηση εκπαιδευτικού λογισμικού για την κατασκευή του οποίου ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής μελέτης και της πιλοτικής έρευνας. Από την ποιοτική αξιολόγηση των μαθησιακών αποτελεσμάτων προέκυψε ότι οι νοητικές παραστάσεις των φοιτητών σχετικά με την ΚΘΑ προσέγγισαν τις επιστημονικά αποδεκτές σε ικανοποιητικό επίπεδο.

Εισαγωγή

Από τις μέχρι τώρα έρευνες διαπιστώνεται ότι το σημαντικότερο εμπόδιο για την κατανόηση των αρχών που διέπουν τον κβαντικό κόσμο είναι η κλασική προσέγγισή του από τους μαθητές, αλλά πολλές φορές και από τα σχολικά βιβλία και τους διδάσκοντες. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η ορολογία που χρησιμοποιείται και έχει μια διαφορετική ερμηνεία για την Κβαντική Θεωρία από ότι στον κόσμο της κλασικής σκέψης. Για παράδειγμα ‘η αβεβαιότητα’, για την κλασική μέτρηση φανερώνει απλά την έλλειψη απόλυτης ακρίβειας της μετρητικής μας συσκευής, το σφάλμα στη μέτρηση, ενώ είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό γνώρισμα του κβαντικού κόσμου, που φανερώνει ότι οι μετρήσεις δεν αναπαράγονται (Johnston et al. 1998). Πιο συγκεκριμένα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι φοιτητές και μαθητές:

1. Συγγέουν το άτομο με άλλα δομικά στοιχεία της ύλης (Harrison & Treagust 1996, Charlet-Brehelin 1998).
2. Δεν διαθέτουν νοητική εικόνα για το άτομο (Nicoll 2001).
3. Διαθέτουν νοητική εικόνα επηρεασμένη από το μοντέλο του Bohr (Harrison & Treagust 1996, 2000, Mashadi 1996, Charlet - Brehelin 1998, Olsen 2002, Cokelez and Dumon 2005).
4. Διαθέτουν νοητική εικόνα που δεν συμφωνεί με καμία επιστημονική θεωρία (Nicoll 2001, Taber 2005).

Ως παραδείγματα θα μπορούσαν να αναφερθούν το μοντέλο της διευρυμένης τροχιάς (Petri & Niedderer 1998) και το νέφος με τα ηλεκτρόνια εμφυτευμένα σε αυτό (Harrison & Treagust 1996)).

Οι προτάσεις των ερευνητών για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες.

- *Ποιοτική προσέγγιση της Κβαντικής Θεώρησης του Ατόμου (ΚΘΑ)*. Οι διδάσκοντες και οι ερευνητές της Διδακτικής προσανατολίζονται συχνά προς μια διδακτική πρόταση με έμφαση στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ΚΘΑ η οποία μέχρι σήμερα προσεγγίζεται από τους επιστήμονες με προχωρημένο μαθηματικό φορμαλισμό, χωρίς να υπάρχει ακόμη συμφωνία μεταξύ τους για την μέθοδο αυτής της ποιοτικής προσέγγισης (Byrne 1996, Tuvi & Nachmias 2001, Cataloglou & Robinett 2002, Dimopoulos & Kalkanis 2003, 2004, 2005, Jones et al. 2005).
 - *Ενιαία παρουσίαση της ΚΘΑ στα μαθήματα Φυσικής και Χημείας*. Προτείνεται να δημιουργηθεί μια ουσιαστική σύνδεση μεταξύ της διδασκαλίας της Φυσικής και της Χημείας και να υπογραμμισθεί ιδιαίτερα το γεγονός ότι η ΚΘΑ δίνει τη δυνατότητα ερμηνείας φυσικών και χημικών φαινομένων (Albanese & Vicentini 1997, Κοντογεωργίου & Μικρόπουλος 2004).
 - *Αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την οπτική αναπαράσταση εννοιών που συνδέονται με την ΚΘΑ*. Η χρήση των οπτικοποιήσεων με την αξιοποίηση των ΤΠΕ βελτιώνει την κατανόηση των εννοιών που συνδέονται με την ΚΘΑ. Άλλωστε δεν είναι δυνατό να δημιουργηθούν τρισδιάστατες οπτικές αναπαραστάσεις του ατόμου σύμφωνα με την κβαντική του θεώρηση με διαφορετικό τρόπο (Byrne 1996, Barnea & Dori 1999, 2000, Dori & Barak 2001, Cataloglou & Robinett 2002, Trindade et al. 2002, Dimopoulos & Kalkanis 2003, 2004, 2005, Barak 2005).
- Στην παρούσα εργασία περιγράφεται η σχεδίαση και ανάπτυξη εκπαιδευτικού λογισμικού σε περιβάλλον Εικονικής Πραγματικότητας (ΕΠ) για την ποιοτική αναπαράσταση του ατόμου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία και διερευνώνται τα μαθησιακά αποτελέσματα της αξιοποίησής του κατά την διάρκεια διδακτικής παρέμβασης. Ως παράδειγμα χρησιμοποιείται το άτομο του υδρογόνου. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μέρος της συνολικής εργασίας που αφορά στην κύρια έρευνα.

Η διδακτική προσέγγιση του κβαντικού ατόμου με αξιοποίηση των ΤΠΕ

Οι περισσότερες προτάσεις των ερευνητών της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών περιλαμβάνουν την αξιοποίηση των ΤΠΕ για την ποιοτική προσέγγιση της ΚΘΑ μέσω οπτικοποίησης των βασικών εννοιών. Οι εφαρμογές οι οποίες έχουν δημιουργηθεί 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. Δεδομένου ότι οι δυσκολίες των διδασκόμενων για την κατανόηση της ΚΘΑ εντοπίζονται συχνά στην αδυναμία ερμηνείας των οπτικών αναπαραστάσεων που αναφέρονται σ' αυτό, με τα υπάρχοντα λογισμικά και τις αντίστοιχες διδακτικές παρεμβάσεις δεν φαίνεται να αντιμετωπίζονται στο σύνολό τους.

Εκτεταμένη παρουσίαση και κριτική των προτάσεων, που μέχρι σήμερα έχουν παρουσιαστεί με την αξιοποίηση των ΤΠΕ (Κοντογεωργίου & Μικρόπουλος 2003, Κοντογεωργίου κ. ά., 2004 και Kontogeorgiou et al. 2005) δείχνει ότι κυρίως βασίζονται σε επιστημονικά δεδομένα και προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα αλληλεπίδρασης δίνοντας 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, την πυκνότητα πιθανότητας ή την ηλεκτρονιακή πυκνότητα 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 πολυηλεκτρονιακά 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.
- Η δυνατότητα περιγραφής, εκ μέρους των διδασκομένων, του ατόμου ενός στοιχείου χρησιμοποιώντας τις αρχές δόμησης ενός συγκεκριμένου ατομικού πρότυπου και κυρίως της ΚΘΑ έχοντας κατανοήσει την ύπαρξη διαφορετικών προτύπων.

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 υπάρχουσες διδακτικές παρεμβάσεις τα χαρακτηριστικά των εκπαιδευτικών λογισμικών με βάση το μοντέλο του εποικοδομητισμού (Μικρόπουλος 2002) θα παρατηρήσουμε ότι στα περισσότερα από αυτά δεν φαίνεται να έχουν ληφθεί υπόψη.

Το θεωρητικό πλαίσιο της έρευνας και οι ερευνητικοί άξονες

Το θεωρητικό πλαίσιο, στο οποίο στηρίχτηκε η διδακτική πρόταση και η ποιοτική ανάλυση όλων των εμπειρικών δεδομένων βασίστηκε στην έννοια του 'Εμποδίου' που συνδέθηκε με αυτήν του 'Στόχου - Εμποδίου', ως θεμελιώδες δομικό συστατικό 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, 1997, Peterfalvi 1997, 2001, Plé 1997, Vérin & Peterfalvi 1994).

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 ΕΠ και την αποτίμηση μαθησιακών της αποτελεσμάτων. Όπως φαίνεται από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της πιλοτικής έρευνας αλλά και άλλες ερευνητικές προσπάθειες, τα εμπόδια αυτά αντιστέκονται στην αφομοίωση εκ μέρους των διδασκομένων της ΚΘΑ. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με τα δύο πρώτα που αφορούν στο σχήμα του ατόμου. Οι ερευνητικοί άξονες συνδέονται με αυτά και είναι η διερεύνηση:

1. της νοητικής εικόνας για το άτομο στη θεμελιώδη κατάσταση που συνδέεται με το Εμπόδιο 1.
2. της νοητικής εικόνας για το άτομο κατά το φαινόμενο της διέγερσης, που συνδέεται με το Εμπόδιο 2.

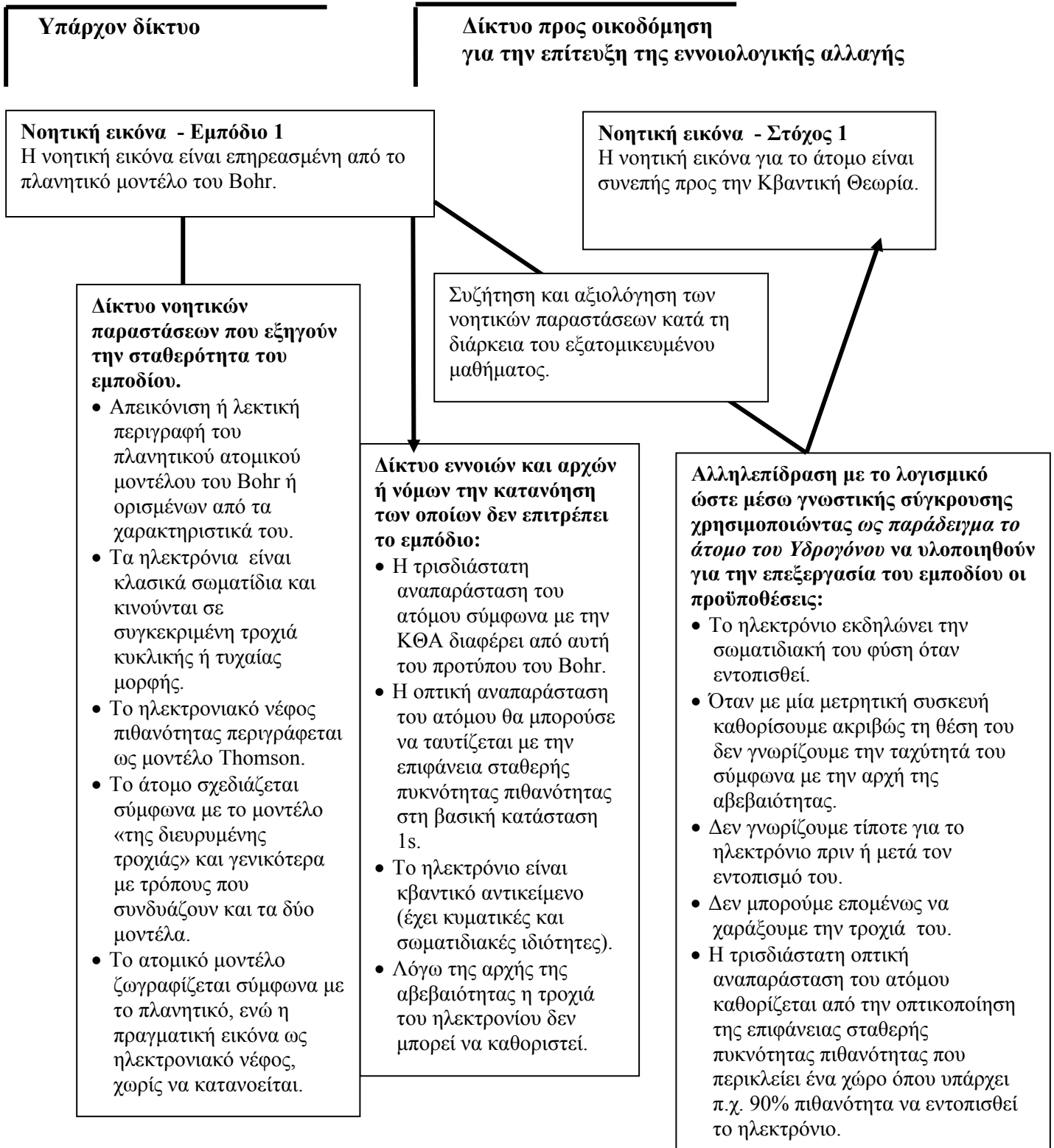
Στο Σχήμα 1 εμφανίζεται το δυναμικό δίκτυο για το πρώτο από τα εμπόδια. Το δυναμικό δίκτυο για το δεύτερο εμπόδιο έχει παρόμοια μορφή.

Δείγμα και μεθοδολογία της έρευνας

Η κύρια έρευνα πραγματοποιήθηκε με τριάντα τρεις (33) 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 (9) ερωτήσεις ανοικτού τύπου.



Σχήμα 1 – Δυναμικό δίκτυο Στόχου - Εμποδίου 1

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 αφητηρία τις απαντήσεις του στο πρώτο ερωτηματολόγιο καθοδηγήθηκε μέσω της αλληλεπίδρασής του με το λογισμικό στην επεξεργασία των εμποδίων και την οικοδόμηση νοητικών εικόνων σύμφωνα 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. Στην παρούσα εργασία θα περιγραφούν αναλυτικά τα αποτελέσματα της ποιοτικής μελέτης που αφορούν στα δύο πρώτα στάδια της έρευνας.

Το εκπαιδευτικό λογισμικό ‘Το Κβαντικό Άτομο’

Η κατασκευή του εκπαιδευτικού λογισμικού ‘Το Κβαντικό Άτομο’ (Κοντογεωργίου κ.ά. 2006) βασίστηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση και την πιλοτική έρευνα. Ο ρόλος του ως διαμεσολαβητικού εργαλείου για την δημιουργία της νοητικής σύγκρουσης και την υπέρβαση των εμποδίων καθόρισε τα χαρακτηριστικά του ώστε να αποτελεί δυναμική οπτικοποίηση της ΚΘΑ του υδρογόνου, ως προϊόν προσομοίωσης με τη βοήθεια κβαντικών υπολογισμών. Έμφαση δόθηκε:

- στη σταδιακή οικοδόμηση του ηλεκτρονιακού νέφους, ώστε να γίνεται φανερό ότι πρόκειται για 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 φως.

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό κατάλληλο για την δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων, το Virtools Dev 3.0 (2004). Στα σχήματα 2 και 3 παρουσιάζονται δύο από τις οπτικοποιήσεις του λογισμικού. Μέσω του λογισμικού αυτού ο χρήστης είχε τη δυνατότητα να αλληλεπιδρά με τον εικονικό κόσμο και να επαναλαμβάνει την κάθε δραστηριότητα πολλές φορές, ιδιαίτερος όταν η οπτικοποιημένη πληροφορία δεν συμφωνούσε με τις αρχικές νοητικές παραστάσεις του.

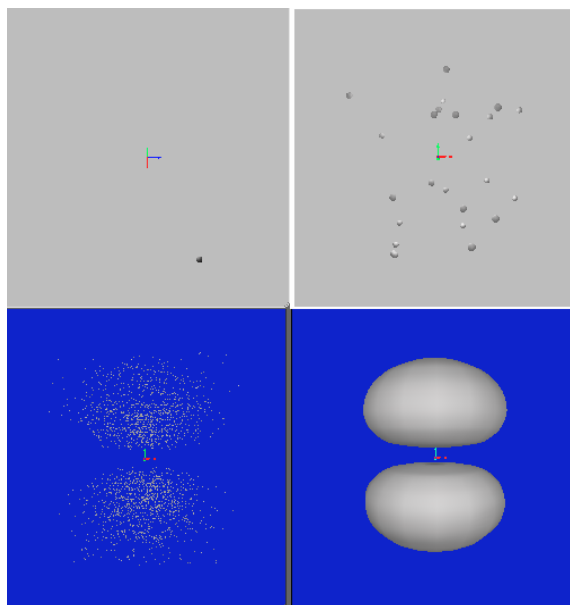
Θεωρείται ότι η δημιουργία των οπτικοποιήσεων που συνδέονται με το ΚΘΑ και περιλαμβάνονται στο ‘Κβαντικό Άτομο’ είναι σημαντική, διότι καθιστά ‘ορατό’ τον κβαντικό μικρόκοσμο, τον οποίο καλούνται οι μαθητές και οι φοιτητές να αναπαραστήσουν νοητικά, ενώ είναι αδύνατο να τον αντιληφθούν με οποιαδήποτε από τις αισθήσεις τους.

Αποτελέσματα

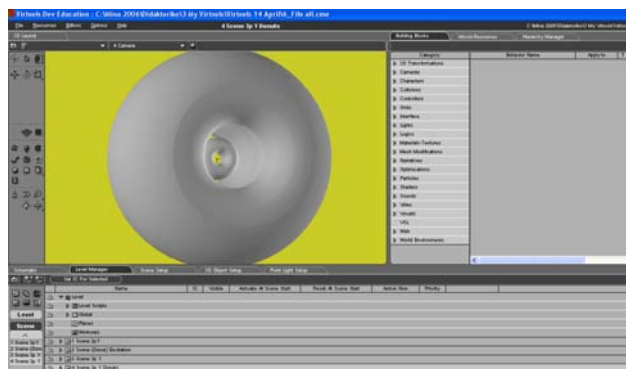
Μετά το ομαδικό μάθημα

Το Εμπόδιο 1 αναφέρεται στη νοητική εικόνα των φοιτητών για το άτομο η οποία έχει στοιχεία από το πλανητικό ατομικό μοντέλο του Bohr, όπως προέκυψε από τη βιβλιογραφία και την πιλοτική έρευνα.

Από τη μελέτη των απαντήσεων προκύπτει ότι κανείς από τους φοιτητές δεν έχει σχηματίσει νοητική εικόνα για το άτομο του υδρογόνου, η οποία να συμφωνεί με την ΚΘΑ (Ομάδα Σ1.2). Τα αποτελέσματα για τις απαντήσεις των φοιτητών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.



Σχήμα 2 – Η 1^η διεγερμένη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου από πρόσπτωση γραμμικά πολωμένου ηλεκτρομαγνητικού κύματος.



Σχήμα 3 – Η 2^η διεγερμένη κατάσταση του ατόμου του υδρογόνου από πρόσπτωση γραμμικά πολωμένου ηλεκτρομαγνητικού κύματος περιβάλλον του Virtools.

Πίνακας 1: Μαθησιακά αποτελέσματα για τον Στόχο – Εμπόδιο 1

Μαθησιακά αποτελέσματα μετά το ομαδικό μάθημα (N=33)				
ΕΜΠΟΔΙΟ 1: Νοητική εικόνα για το άτομο του υδρογόνου				
Νοητικές παραστάσεις των φοιτητριών και των φοιτητών			N	N(%)
	ΟΜΑΔΑ			
ΕΜΠΟΔΙΟ1 Κατηγορία Ε1	E1.1	Δεν διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου	3	9.09
	E1.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr	10	30.30
	E1.3	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr και την ΚΘΑ.	19	57.58
ΣΤΟΧΟΣ 1 Κατηγορία Σ1	Σ1.1	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου που προσεγγίζει στην ΚΘΑ.	1	3.03
	Σ1.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου συμβατή με την ΚΘΑ.	0	0.00
ΣΥΝΟΛΟ			33	100.00

Το Εμπόδιο 2 αναφέρεται στη νοητική εικόνα των φοιτητών για το άτομο κατά τη διέγερση, η οποία έχει στοιχεία από το πλανητικό ατομικό μοντέλο του Bohr, όπως προέκυψε από την βιβλιογραφία και την πιλοτική έρευνα. Δεν έγινε διδακτική επεξεργασία του φαινομένου της διέγερσης στο στάδιο αυτό. Επομένως δεν θα μπορούσε να συμπεριληφθεί στο ερωτηματολόγιο σχετική ερώτηση. Το Εμπόδιο 2 αναδείχθηκε στις απαντήσεις εννέα (9) φοιτητών, χωρίς να υποχρεώνονται από συγκεκριμένη ερώτηση, γεγονός που υποδεικνύει και την σταθερότητά του. Τα αποτελέσματα για τους εννέα αυτούς φοιτητές φαίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.

Μετά το εξατομικευμένο μάθημα

Από την μελέτη των απαντήσεων για το Εμπόδιο 1 προκύπτει ότι περισσότεροι από τους μισούς φοιτητές (24) έχουν σχηματίσει νοητική εικόνα για το άτομο του υδρογόνου, η οποία έχει στοιχεία από την ΚΘΑ (Ομάδες Σ1.2 και Σ1.1). Από τους υπόλοιπους οι οκτώ (8) διαθέτουν συγκεκριμένη νοητική εικόνα για το άτομο κάνοντας όμως σαφή αναφορά στην ΚΘΑ και μόνο μία (1) φοιτήτρια το περιγράφει σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr. Τα αποτελέσματα αυτά περιλαμβάνονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 2: Μαθησιακά αποτελέσματα για το Στόχο – Εμπόδιο 2

Μαθησιακά αποτελέσματα μετά το ομαδικό μάθημα (N=33)				
ΕΜΠΟΔΙΟ 2: Νοητική εικόνα για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου				
Νοητικές παραστάσεις των φοιτητριών και των φοιτητών			N	N(%)
	ΟΜΑΔΑ			
ΕΜΠΟΔΙΟ 2 Κατηγορία Ε2	E2.1	Δεν διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου	0	0.00
	E2.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr	8	88.89
	E2.3	Διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr και την ΚΘΑ	1	11.11
ΣΤΟΧΟΣ 1 Κατηγορία Σ2	Σ2.1	Διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου που προσεγγίζει την ΚΘΑ	0	0.00
	Σ2.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου συμβατή με την ΚΘΑ	0	0.00
ΣΥΝΟΛΟ			9	100.00

Τα αποτελέσματα των απαντήσεων των φοιτητών για το Εμπόδιο 2 περιέχονται στον Πίνακα 4. Οι περισσότεροι από τους φοιτητές κατανοούν ότι το μέγεθος, δηλαδή ο όγκος του ατόμου μεγαλώνει κατά την διέγερση. Αρκετοί δηλώνουν ότι το άτομο αποδιεγείρεται γρήγορα, ενώ δεν φαίνεται να διακρίνουν τα διαφορετικά είδη πόλωσης του κύματος που προκαλεί την διέγερση. Αυτό θεωρείται αναμενόμενο, διότι δεν είχαν διδαχθεί αναλυτικά το φαινόμενο της πόλωσης.

Συμπεράσματα

Από την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων της έρευνας της οποίας οι άξονες συνδέονται με πέντε συνολικά εννοιολογικά εμπόδια προέκυψε ότι:

- Η νοητική εικόνα των φοιτητών για το άτομο του υδρογόνου στη θεμελιώδη και τις δύο πρώτες διεγερμένες καταστάσεις, μετά το ομαδικό μάθημα ήταν κυρίως επηρεασμένη από το πλανητικό ατομικό πρότυπο. Μετά τη διδακτική επεξεργασία των Εμποδίων 1 και 2 μέσω της

αλληλεπίδρασης με το λογισμικό 'Το Κβαντικό Άτομο' κατά το εξατομικευμένο μάθημα, η νοητική εικόνα των περισσότερων φοιτητών προσέγγισε τους επιδιωκόμενους Στόχους 1 και 2, δηλαδή βρίσκονταν σε συμφωνία με αυτήν της Κβαντικής Θεωρίας.

Πίνακας 3: Μαθησιακά αποτελέσματα για το Στόχο – Εμπόδιο 1

Μαθησιακά αποτελέσματα μετά το εξατομικευμένο μάθημα (N=33)				
ΕΜΠΟΔΙΟ 1: Νοητική εικόνα για το άτομο του υδρογόνου				
Νοητικές παραστάσεις φοιτητών			N	N(%)
	ΟΜΑΔΑ			
ΕΜΠΟΔΙΟ 1 Κατηγορία E1	E1.1	Δεν διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου	0	0,00
	E1.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr	1	3.03
	E1.3	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr και την ΚΘΑ	8	24.24
ΣΤΟΧΟΣ 1 Κατηγορία Σ1	Σ1.1	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου που προσεγγίζει την ΚΘΑ	12	36.36
	Σ1.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου συμβατή με την ΚΘΑ	12	36.36
ΣΥΝΟΛΟ			33	100.00

Πίνακας 4 : Μαθησιακά αποτελέσματα για το Στόχο – Εμπόδιο 2

Μαθησιακά αποτελέσματα μετά το εξατομικευμένο μάθημα (N=33)				
ΕΜΠΟΔΙΟ 2: Νοητική εικόνα για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου				
Νοητικές παραστάσεις φοιτητών			N	N(%)
	ΟΜΑΔΑ			
ΕΜΠΟΔΙΟ 2 Κατηγορία E2	E2.1	Δεν διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου	1	3.03
	E2.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr	0	0.00
	E2.3	Διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου επηρεασμένη από το ατομικό πρότυπο του Bohr και την ΚΘΑ	4	12.12
ΣΤΟΧΟΣ 1 Κατηγορία Σ2	Σ2.1	Διαθέτει νοητική παράσταση για το άτομο του υδρογόνου που προσεγγίζει την ΚΘΑ	7	21.21
	Σ2.2	Διαθέτει νοητική παράσταση για το διεγερμένο άτομο του υδρογόνου συμβατή με την ΚΘΑ	21	63.64
ΣΥΝΟΛΟ			33	100.00

Δύο μήνες αργότερα διαπιστώθηκε ότι η πλειοψηφία των φοιτητών διατηρούσαν νοητική εικόνα για το άτομο συμβατή με την ΚΘΑ, σύμφωνα με την ανάλυση των απαντήσεών τους σε ένα τρίτο ερωτηματολόγιο παρόμοιο με το δεύτερο.

- Τα μαθησιακά αποτελέσματα ενισχύουν την άποψη, ότι η αλληλεπίδραση με εκπαιδευτικά λογισμικά σε εικονικά περιβάλλοντα 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. Επιπλέον, η αίσθηση της παρουσίας που βιώνεται από τους χρήστες - διδασκόμενους του εικονικού κόσμου ενισχύει την δημιουργία και την σταθερότητα των νοητικών τους παραστάσεων.

Παραπομπές

- Κοντογεωργίου, Α. & Μικρόπουλος, Τ. (2003). Η διδασκαλία του ατομικού μοντέλου της ύλης. Από την κλασική στην κβαντομηχανική θεώρηση, *Θέματα στην Εκπαίδευση*, 4, 25-45.
- Κοντογεωργίου Α. & Μικρόπουλος Τ., (2004). Κβαντικό άτομο: Συγκλίνει η διδακτική προσέγγισή του από το φυσικό και το χημικό; Στα πρακτικά του 10ου Πανελληνίου Συνεδρίου Φυσικής: Εξελίξεις, τάσεις, επιτεύγματα και διδακτική της Φυσικής, τόμος Α', 93-99.
- Κοντογεωργίου Α., Κώτσης Κ. & 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.
- Κοντογεωργίου Α., Κώτσης Κ. & Μικρόπουλος Τ., (υπό δημοσίευση). Ένα εκπαιδευτικό λογισμικό για τη διδασκαλία του κβαντικού ατόμου. Στα Πρακτικά του Πανελληνίου Συνεδρίου «Ψηφιακό Εκπαιδευτικό Υλικό: ζητήματα δημιουργίας, διδακτικής αξιοποίησης και αξιολόγησης», Π.Τ.Δ.Ε. Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Ελληνική Επιστημονική Ένωση Τεχνολογιών Πληροφορίας και Επικοινωνιών στην Εκπαίδευση, Βόλος, 6-7/4/2006
- 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.
- Albanese, A. & Vicentini, M. (1997). Why do we believe that an atom is Colorless? Reflections about the teaching of Particle model. *Science and Education*, 6, 251 –261
- Astolfi, J. P. et Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales, *Aster*, 16, 103 – 141
- Astolfi, J. P. et Peterfalvi, B. (1997). Stratégie de travail des obstacles: Dispositifs et resorts. *Aster*, 25, 193 – 216.
- 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*.
- Barnea, N. & 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. & Dori, Y. (2000). Computerized molecular modeling- the new technology for enhancing model perception among chemistry educators and learners. *Chemical Education Research and Practice*, 1, 109 – 120, URL:<http://www.uoi.gr/ceerp>.
- Blauch, D. (2001). URL:<http://www.chm.davidson.edu/ChemistryApplets/AtomicOrbitals/AtomicOrbitals.html>.
- 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.
- Cataloglou, E. & Robinett, R. W. (2002), Testing the development of student conceptual and visualization understanding in quantum mechanics through the undergraduate career. *American Journal of Physics*, 70, 238 – 251
- Charlet - Brehelin, D. (1998). Contribution à l'enseignement – apprentissage du concept d'atome au collège. Thèse, Université Montpellier II.
- Cokelez, A. & Dumon, A. (2005). Atom and molecule: upper secondary school French students' representations in long-term memory. *Chemical Education Research and Practice*, 6, 119-135.

- Dimopoulos V., Kalkanis G., (2003), An introduction of microcosmos quantum model to students of limited mathematics and science background supported by computer simulations / visualizations, 4th ESERA Conference, Noordwijkerhout, The Netherlands
- Dimopoulos V., Kalkanis G., (2004), “Quantum Physics for all – Using ICT to experiment and simulate quantum principles”, Girep, Ostrava
- Dimopoulos V., Kalkanis G., (2005), “Simulating quantum states of the atom of hydrogen - A simulation program for non-physics major's students”, European Conference on Research in Science Education (ESERA), August 28 – September 1, Barcelona, Spain
- 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
- Harrison, A. & Treagust, D. (1996). Secondary students’ mental models of atoms and molecules: implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80, 509-534.
- Harrison, A. (2000). A typology of school science models’. *International Journal of Science Education*, 22, 1011–1026.
- Jones L. L., Jordan D. K. and Stillings A. N., (2005). Molecular visualization in chemistry education: the role of multidisciplinary collaboration, *Chemical Education Research and Practice*, 6, 136-149, URL: <http://www.uoi.gr/ceerp>.
- Johnston, D., Crawford, K. & Fletcher, P. (1998). Students’ difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20, 427 – 446.
- Kontogeorgiou A., Bellou A. & 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.
- Mashadi, A. (1996). Students’ conceptions of quantum physics, in G. Welford, J. Osborne and P. Scott (Eds.). *Science Education in Europe: Current issues and themes*, 254–266, London: Falmer Press.
- Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates’ bonding misconceptions. *International Journal of Science Education*, 23, 707 – 730.
- Olsen, R. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *International Journal of Science Education*, 24, 565 – 574.
- 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.
- Petri, J. and Niedderer, H. (1998). A learning pathway in High – school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20, 1075 – 1088.
- Plé, E. (1997). Transformation de la matière à l’école élémentaire: Des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. *Aster*, 24, 203 – 229.
- Trindade, J., Fiolhais, C. & Almeida L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33, 471-488.
- Tuvi, I. and Nachmias, R. (2001). Current state of web sites in science education – Focus on atomic structure. *Journal of Science Education and Technology*, 10, 293 – 303.
- Verin, A. & Peterfalvi, B. (1994). Fonctions de l’écriture dans le travail d’obstacles en classe de sciences. In A. Giordan and J. L. Martinand (dir.), *Actes JIES XVI, D.I.R.E.S.*
- Virtools Inc., (2003). Virtools Dev 3.0. www.virttools.com.
- Winter, M. (2002). Orbitron. <http://www.shef.ac.uk/chemistry/orbitron>.