

# «Το Κβαντικό Άτομο»: Ένα Εκπαιδευτικό Εικονικό Περιβάλλον

Ασημίνα Μ. Κοντογεωργίου<sup>1</sup>, Κωνσταντίνος Κώτσης<sup>2</sup>, Τάσος Α. Μικρόπουλος<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Σχολική Σύμβουλος Ν. Λάρισα  
[kontogeorgiou@grads.uoi.gr](mailto:kontogeorgiou@grads.uoi.gr)

<sup>2</sup>Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων  
[kkotsis@cc.uoi.gr](mailto:kkotsis@cc.uoi.gr)

<sup>3</sup> Καθηγητής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων  
[amikrop@uoi.gr](mailto:amikrop@uoi.gr)

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται τμήμα μιας μεγαλύτερης έρευνας που ασχολείται με τη διδακτική επεξεργασία των εννοιολογικών εμποδίων φοιτητών, τα οποία συνδέονται με την Κβαντική Θεώρηση του Ατόμου (ΚΘΑ), όπως αυτά διαπιστώνονται από τη βιβλιογραφική έρευνα και πιλοτική εμπειρική μελέτη. Περιγράφεται η ανάπτυξη του εκπαιδευτικού λογισμικού το 'Κβαντικό Άτομο' με τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες των Εκπαιδευτικών Εικονικών Περιβαλλόντων (ΕΕΠ), το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη διδακτική επεξεργασία των πέντε 'εμποδίων – στόχων'. Στο τέλος συζητούνται τα μαθησιακά αποτελέσματα μετά την αλληλεπίδραση των φοιτητών Παιδαγωγικού Τμήματος με αυτό και η συμβολή του Εκπαιδευτικού Εικονικού Περιβάλλοντος (ΕΕΠ) στην αναπαράσταση του κβαντικού μικρόκοσμου.

**Λέξεις κλειδιά:** Εκπαιδευτικό Εικονικό Περιβάλλον, Κβαντική Θεώρηση του Ατόμου, στόχος - εμπόδιο.

## 1. Εισαγωγή

Η Κβαντική Θεωρία 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), επομένως απαιτείται ένας διαφορετικός τρόπος σκέψης και διδακτικής παρέμβασης. Οι μαθητές πρέπει να καθοδηγηθούν, ώστε να αφομοιώσουν έννοιες όπως η πιθανότητα εντοπισμού του ηλεκτρονίου, το ηλεκτρονιακό νέφος, η μη ύπαρξη καθορισμένης τροχιάς (Johnston et al., 1998; Olsen, 2002). Η αποσπασματικότητα των γνώσεων, που αποκτούν με την παραδοσιακή διδασκαλία και οι αυθόρμητες νοητικές τους παραστάσεις έχουν πολλαπλώς καταγραφεί (Kontogeorgiou et al., 2006a; Olsen, 2002; Petri & Niedderer, 1998).

Οι περισσότερες προτάσεις των ερευνητών της Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών (ΦΕ) περιλαμβάνουν την αξιοποίηση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) για την ποιοτική προσέγγιση της Κβαντικής Θεώρησης του Ατόμου (ΚΘΑ) μέσω οπτικοποίησης των βασικών εννοιών (Johnston et al., 1998). Ιδιαίτερα η δυναμική οπτική πληροφορία που παρέχεται με τη χρήση των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών (ΤΠΕ) συντελεί θετικά στην κατανόηση των σωματιδιακών μοντέλων της ύλης και ιδιαίτερος στην ΚΘΑ (Dimopoulos & Kalkanis, 2005).

Στην παρούσα εργασία, που αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης ερευνητικής διαδικασίας, οι ΤΠΕ αξιοποιούνται με την οπτικοποίηση υπολογιστικών δεδομένων σε Εικονικό Περιβάλλον (ΕΠ), για την ποιοτική παρουσίαση της ΚΘΑ του υδρογόνου μέσω διαδικασιών μοντελοποίησης. Το λογισμικό «Το Κβαντικό Άτομο» ως ολοκληρωμένο Εκπαιδευτικό Εικονικό Περιβάλλον (ΕΕΠ), δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να συμμετέχει ενεργά στις διαδικασίες για την οικοδόμηση του επιστημονικά αποδεκτού ατομικού προτύπου μέσω της διδακτικής επεξεργασίας των πέντε εννοιολογικών εμποδίων που συνδέονται με αυτό, όπως καθορίστηκαν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση και την πιλοτική μελέτη.

## 2. Μοντέλα, προσομοιώσεις 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. 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 τη χρήση του.

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 & Gergely, 1990). 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 & Treagust, 2000). Τα προβλήματα εμφανίζονται όταν ο σκοπός για τον οποίο δημιουργείται ένα μοντέλο δεν είναι συγκεκριμένοι, οπότε συχνά ταυτίζεται με την πραγματικότητα (Κεκές, 2004).

Ως προσομοιώσεις θεωρούνται τα μοντέλα, τα οποία κατασκευάζονται με τη 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.

Στη μαθησιακή διαδικασία η προσομοίωση πρέπει να είναι δυναμική, παρέχοντας επιλογή των μεταβλητών εκείνων που θεωρούνται σημαντικές σύμφωνα με το διδακτικό μετασχηματισμό και να παρέχει κίνητρα στο μαθητή με την αξιοποίηση πολλαπλών αναπαραστάσεων (Ράπτης & Ράπτη, 2000).

### **3. Τα Εκπαιδευτικά Εικονικά Περιβάλλοντα (ΕΕΠ) και η οπτικοποίηση στη διδασκαλία των ΦΕ**

Η Εικονική Πραγματικότητα (ΕΠ) παρέχει μια νέα διάσταση στις εφαρμογές της επιστήμης των υπολογιστών και θεωρείται ως ένα από τα πλέον σύγχρονα εργαλεία στη μαθησιακή διαδικασία. Ως ΕΠ ορίζεται ο συνδυασμός ισχυρών υπολογιστών, δικτύων, διεπαφών (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 συμμετοχός σε ένα εικονικά πραγματικό κόσμο (Kameas et al., 2000). 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.

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 ΕΠ 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. Υπάρχουν 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 ΕΕΠ (Mikropoulos 2006).

Τα χαρακτηριστικά των ΕΕΠ 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. Δίνουν τη δυνατότητα να μελετήσει θεωρητικά μοντέλα που προέρχονται από την εφαρμογή μιας επιστημονικής θεωρίας, εξαιρετικά μεγάλα ή μικρά μη αντιληπτά από τις αισθήσεις του ανθρώπου και αφηρημένες έννοιες οπτικοποιούνται σε τρισδιάστατο περιβάλλον. Οι έρευνες που υλοποιούνται 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 (Bakas & Mikropoulos, 2003; Mikropoulos & Strouboulis, 2004).

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. 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 μιας δομημένης διδακτικής πρότασης με εκπεφρασμένους διδακτικούς στόχους.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την περιγραφή ατομικών μοντέλων που προκύπτουν από την εφαρμογή της Κβαντικής Θεωρίας και προτείνει την οπτική παρουσίαση της πληροφορίας μέσω διαδικασιών προσομοίωσης σε ΕΠ.

#### 4. Κατευθύνσεις για τη σχεδίαση του εκπαιδευτικού λογισμικού

Το εκπαιδευτικό λογισμικό 'Το Κβαντικό Άτομο' σχεδιάστηκε με στόχο την αναζήτηση της απάντησης στο ερευνητικό ερώτημα σχετικά με την συμβολή της οπτικοποίησης στην διδασκαλία και κατανόηση της ΚΘΑ, για να λειτουργήσει ως διαμεσολαβητικό εργαλείο στην επεξεργασία και αναδόμηση πέντε εννοιολογικών εμποδίων ή «Εμποδίων – Στόχων» (Κοντογεωργίου, κ.α. 2006c) που συνδέονται με αυτήν (Πίνακας 1).

Αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες των ΕΠ, των οποίων τα χαρακτηριστικά για την υποστήριξη της μάθησης είναι κυρίως *μέγεθος, μεταγωγή, πραγμάτωση, αυτονομία, αλληλεπίδραση, παρουσία* (Μικρόπουλος 2002), για την ανάπτυξή του αλλά και κατά την διάρκεια της αλληλεπίδρασης των διδασκομένων με αυτό στα πλαίσια καινοτόμου διδακτικής πρότασης.

Όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση αλλά και την πιλοτική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, ένας από τους κυριότερους λόγους της δημιουργίας αυθόρμητων νοητικών παραστάσεων εκ μέρους των μαθητών και των φοιτητών σε θέματα που αφορούν στον μικρόκοσμο και την Κβαντική Θεωρία, είναι η έλλειψη κατάλληλων δυναμικών οπτικοποιήσεων για την αναπαράσταση των βασικών εννοιών με στόχο την ποιοτική περιγραφή της ΚΘΑ (Κοντογεωργίου, κ.α. 2004; Kontogeorgiou et al., 2006a; Κοντογεωργίου, κ.α. 2006b; Κοντογεωργίου, κ.α. 2006c). Το λογισμικό σχεδιάστηκε, λαμβάνοντας υπόψη τις περισσότερες από τις βασικές αρχές σχεδίασης μαθησιακών περιβαλλόντων με τη βοήθεια υπολογιστή σύμφωνα με την επικοινωνιακή προσέγγιση (Boyle 1997), έχει δε τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες, που περιγράφονται πιο κάτω (Μπέλλου 2003):

*Κλίμακα στο χώρο.* Οι οπτικοποιήσεις των διαφορετικών ενεργειακών καταστάσεων του ατόμου του υδρογόνου υλοποιούνται σε μεγάλες διαστάσεις, σε μέγεθος προσαρμοσμένο στην οθόνη διατηρώντας την αναλογία των μεγεθών του ατόμου, όπως προκύπτουν από τους κβαντικούς υπολογισμούς.

**Πίνακας 1:** Εμπόδια και επιδιωκόμενοι στόχοι για την περιγραφή του ατόμου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία

Εμπόδια προς διδακτική επεξεργασία	Επιδιωκόμενοι στόχοι
<p>Νοητική εικόνα - Εμπόδιο 1</p> <p>Η νοητική εικόνα για το άτομο έχει στοιχεία από το πλανητικό ατομικό μοντέλο του Bohr.</p>	<p>Νοητική εικόνα - Στόχος 1</p> <p>Η νοητική εικόνα για το άτομο είναι συνεπής προς την σύγχρονη Κβαντική Θεωρία.</p>
<p>Νοητική εικόνα - Εμπόδιο 2</p> <p>Η νοητική εικόνα για το άτομο σε μία διεγερμένη κατάσταση ταυτίζεται με το ατομικό μοντέλο του Bohr.</p>	<p>Νοητική εικόνα - Στόχος 2</p> <p>Η νοητική εικόνα για το διεγερμένο άτομο είναι συνεπής προς την σύγχρονη Κβαντική Θεωρία.</p>
<p>Εμπόδιο 3</p> <p>Το ατομικό μοντέλο ταυτίζεται με την 'πραγματική' εικόνα του ατόμου.</p>	<p>Στόχος 3</p> <p>Το ατομικό μοντέλο είναι νοητική κατασκευή των επιστημόνων, εργαλείο για κατανόηση, ερμηνεία και πρόβλεψη φαινομένων.</p>
<p><b>Εμπόδιο 4</b></p> <p>Οι οπτικοποιήσεις εννοιών, που συνδέονται με την ΚΘΑ δεν κατανοούνται ως έννοιες και συγχέονται μεταξύ τους.</p>	<p><b>Στόχος 4</b></p> <p>Οι οπτικοποιήσεις των επιφανειών ίσης πιθανότητας και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας για διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία αποτελούν την οπτικοποίηση του ατόμου.</p>

Εμπόδιο 5	Στόχος 5
Η αρχή της αβεβαιότητας προσεγγίζεται με τον κλασικό τρόπο σκέψης.	Η αρχή της αβεβαιότητας είναι εγγενές γνώρισμα του μικρόκοσμου συνδεδεμένη με τις ιδιότητες της κβαντικής μέτρησης.

*Προσέγγιση του μικρόκοσμου με ‘εμπειρικό’ τρόπο.* Οι οπτικοποιήσεις παρέχουν τη δυνατότητα για απόκτηση ‘εμπειριών’ σχετικά με τα χαρακτηριστικά του μικρόκοσμου, τα οποία είναι αδύνατο να προσεγγισθούν από τις αισθήσεις του ανθρώπου.

*Αλληλεπίδραση.* Παροχή δυνατοτήτων για την διερεύνηση ή την μεταβολή των παραμέτρων με τις οποίες περιγράφεται η ΚΘΑ, σύγκριση των διαφορετικών μορφών του, πρόβλεψη των συνεπειών των ενεργειακών μεταβολών και της επίδρασης διαφορετικών μορφών ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο άτομο του υδρογόνου.

*Άμεση ανάδραση.* Παρατήρηση και μελέτη των αποτελεσμάτων των διαδικασιών και φαινομένων σε πραγματικό χρόνο.

*Πολλαπλές αναπαραστάσεις.* Ο συνδυασμός πολλαπλών αναπαραστάσεων του ατόμου του υδρογόνου στην ίδια ενεργειακή κατάσταση συντελεί σημαντικά στη μαθησιακή διαδικασία.

*Επαναληπτικότητα – επαναχρησιμοποίηση.* Οι οπτικοποιήσεις μπορούν να διερευνηθούν οποτεδήποτε και σε οποιοδήποτε πλαίσιο, σύμφωνα με τις ανάγκες και απαιτήσεις των μαθησιακών αναγκών.

*Διαμόρφωση υποθέσεων.* Οι δυναμικές οπτικοποιήσεις παρέχουν ένα εργαλείο για διαμόρφωση υποθέσεων από τους φοιτητές - χρήστες σχετικά με την ΚΘΑ και τα απαραίτητα δεδομένα για έλεγχο υποθέσεων.

*Εργαλείο για την αλλαγή επιστημολογικής στάσης και την αξιολόγηση των φυσικών θεωριών.* Η κριτική στάση απέναντι στα μοντέλα του υπολογιστή παρέχει την ευκαιρία για την μετακίνηση από την κλασική φυσική στην κβαντική σκέψη και για την απόκτηση μιας επιστημονικής – ερευνητικής στάσης.

## 5. ‘Το Κβαντικό Άτομο’

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό κατάλληλο για την δημιουργία εικονικών περιβαλλόντων, το Virtools Dev 3.0 (2004) (Σχήμα 1). Είναι μία εκτεταμένη συλλογή από τεχνολογίες για τη δημιουργία τρισδιάστατων δυναμικών οπτικοποιήσεων. Δηλαδή, δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης ρεαλιστικών εφαρμογών, που περιλαμβάνουν μοντέλα, δυναμικές οπτικοποιήσεις, εικόνες και ήχους. Δίνει έτσι τη δυνατότητα σχεδιασμού ισχυρά αλληλεπιδραστικών εφαρμογών, στις οποίες τα αντικείμενα διαθέτουν αληθοφανή χαρακτηριστικά, μεγιστοποιώντας την αίσθηση της παρουσίας εκ μέρους των χρηστών. Επιλέχθηκε ως το πλέον κατάλληλο για την οπτικοποίηση των κβαντικών μοντέλων στο τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον που βασίζεται σε μεγάλο αριθμό δεδομένων, τα οποία προέρχονται από την επίλυση των κβαντικών εξισώσεων.

Τα αντικείμενα του εικονικού κόσμου κατασκευάστηκαν με την χρήση ενός άλλου λογισμικού πακέτου του 3DMax 6 (Autodesk Inc. 2005), κατάλληλου για την δημιουργία τρισδιάστατων περιβαλλόντων.

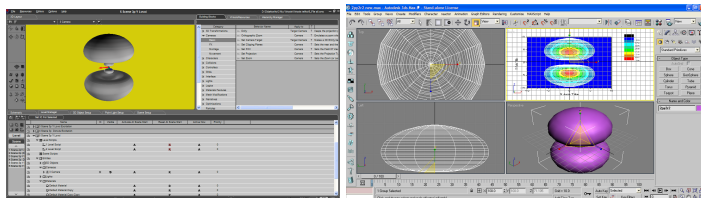
Ο συνδυασμός των δύο αυτών προγραμμάτων είχε ως αποτέλεσμα οι οπτικοποιήσεις του λογισμικού ‘Το Κβαντικό Άτομο’, να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των σημερινών φοιτητών, οι περισσότεροι από τους οποίους είναι εξοικειωμένοι με γραφικά

Πιο συγκεκριμένα η τρισδιάστατη οπτικοποίηση του ατόμου του Υδρογόνου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία υλοποιήθηκε σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- Γράφτηκε κώδικας στο προγραμματιστικό περιβάλλον της Fortran 77.
- Σχεδιάστηκαν γραφικές παραστάσεις δύο διαστάσεων με το πρόγραμμα Origin 7.0
- Κατασκευάστηκαν οι τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις των επιφανειών σταθερής πυκνότητας πιθανότητας (isodensity surface) στο γραφικό περιβάλλον του 3D Max 6 (Σχήμα 1)
- Κατασκευάστηκε ‘Το Κβαντικό άτομο’ ως αλληλεπιδραστικό λογισμικό στο σχεδιαστικό περιβάλλον του Virtools Dev 3.0, με την εισαγωγή σε αυτό.

## 6. 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. Οι φοιτητές συμμετείχαν σε εξατομικευμένο μάθημα αμέσως μετά από το οποίο συμπλήρωσαν ένα 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 λογισμικό στην επεξεργασία των εμποδίων και την οικοδόμηση νοητικών εικόνων σύμφωνα με την ΚΘΑ. Δύο μήνες αργότερα απάντησαν σε ένα παρόμοιο ερωτηματολόγιο. Τα μαθησιακά αποτελέσματα σε όλα τα στάδια της κύριας έρευνας αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν ποιοτικά και ποσοτικά για την πληρέστερη αποτίμησή τους.



**Σχήμα 1:** Τρισδιάστατες απεικονίσεις του διεγερμένου ατόμου του υδρογόνου στο περιβάλλον του Virtools και του 3DMax

## 7. Αποτελέσματα και συζήτηση

### 7.1 Οι νοητικές παραστάσεις των φοιτητών μετά την αλληλεπίδραση με ‘Το Κβαντικό Άτομο’

Από την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των μαθησιακών αποτελεσμάτων της έρευνας προέκυψε ότι η αλληλεπίδραση με το λογισμικό στα πλαίσια του εξατομικευμένου μαθήματος, όπως αυτό δομήθηκε με έμφαση στην επεξεργασία των εμποδίων, φαίνεται να δημιουργήσει νέες νοητικές παραστάσεις περισσότερο συμβατές με την Κβαντική Θεωρία για την πλειοψηφία των φοιτητών, η σταθερότητα των οποίων διαπιστώθηκε και δύο μήνες μετά την διδακτική παρέμβαση:

- Οι περισσότεροι από τους φοιτητές δημιούργησαν νοητική εικόνα για το άτομο του υδρογόνου στην θεμελιώδη και τις διεγερμένες καταστάσεις, συμβατή με αυτήν της Κβαντικής Θεωρίας. Αναφέρονται στις θέσεις ενός ηλεκτρονίου περιγράφοντας το ηλεκτρονιακό νέφος πιθανότητας για την αναπαράσταση του ατόμου του υδρογόνου και διατυπώνουν την άποψη ότι δεν μπορούμε να χαράξουμε την τροχιά του ηλεκτρονίου, διότι δεν μας το επιτρέπει η αρχή της αβεβαιότητας. Αναγνωρίζουν τη δυνατότητα εντοπισμού του ηλεκτρονίου και μακριά από τον πυρήνα στις διεγερμένες καταστάσεις, αλλά και στη θεμελιώδη. Προσεγγίζονται έτσι οι επιδιωκόμενοι Στόχοι 1 (73% των φοιτητών) και 2 (85% των φοιτητών).
- 74% των φοιτητών κατανοούν τις οπτικοποιήσεις των επιφανειών ίσης πιθανότητας (isodensity surface plot) και των ηλεκτρονιακών νεφών πιθανότητας (electron density plot) για διαφορετικές ενεργειακές καταστάσεις του ατόμου του υδρογόνου ως οπτικοποιήσεις του ατόμου σύμφωνα με την Κβαντική Θεωρία, προσεγγίζοντας τον επιδιωκόμενο Στόχο 4.
- Θεωρούν ότι η αρχή της αβεβαιότητας αποτελεί χαρακτηριστικό του μικρόκοσμου και υπογραμμίζουν ότι με οποιονδήποτε τρόπο και αν υλοποιηθούν οι μετρήσεις, θα καθορίζεται μόνο η θέση του ηλεκτρονίου την χρονική στιγμή που εντοπίζεται προσεγγίζοντας τον επιδιωκόμενο Στόχο 5 (67% των φοιτητών).
- Αναφέρονταν σε περισσότερα του ενός ατομικά πρότυπα, κυρίως στο πλανητικό ατομικό πρότυπο ή στην οπτικοποίηση του ηλεκτρονιακού νέφους πιθανότητας. Προσεγγίζουν έτσι τον επιδιωκόμενο Στόχο 3, αν και τα αποτελέσματα είναι λιγότερο ικανοποιητικά από αυτά που αφορούν τους άλλους τέσσερις (4) Στόχους – Εμπόδια (49% των φοιτητών).

Τα μαθησιακά αποτελέσματα επιβεβαιώνουν την υπέρβαση δυσκολιών και αυθόρμητων νοητικών παραστάσεων, οι οποίες ανιχνεύτηκαν σε άλλες ερευνητικές προσπάθειες και επιβεβαιώνουν τις προτάσεις των ερευνητών για ποιοτική παρουσίαση της ΚΘΑ με την αξιοποίηση των ΤΠΕ, και μάλιστα των ΕΠ.

### 7.2 Η συμβολή του ΕΕΠ στην αναπαράσταση του κβαντικού μικρόκοσμου

Τα ΕΕΠ μπορούν να συμβάλλουν στην αισθητοποίηση του κβαντικού μικρόκοσμου, καθότι είναι ένα από τα απροσπέλαστα από τις αισθήσεις του ανθρώπου γνωστικά αντικείμενα. Η δημιουργία των οπτικοποιήσεων

που συνδέονται με την ΚΘΑ και περιλαμβάνονται στο λογισμικό 'Το Κβαντικό Άτομο' είναι σημαντική. Οι οπτικοποιήσεις αυτές συνέβαλαν στην κατασκευή από τους φοιτητές νοητικών εικόνων συμβατών προς την Κβαντική Θεωρία, διότι κατέστησαν εφικτή την τρισδιάστατη αναπαράσταση μεγεθών που συνδέονται με αυτήν, ενώ δεν ήταν δυνατόν να υλοποιηθεί σε άλλα πληροφορικά περιβάλλοντα.

Η παρούσα ερευνητική εργασία μελετά τα μαθησιακά αποτελέσματα που προκύπτουν από την αξιοποίηση ενός ΕΕΠ, θέτοντας ως συγκεκριμένους στόχους την υπέρβαση των καθορισμένων Στόχων - Εμποδίων και λαμβάνοντας υπόψη τις νοητικές διεργασίες των φοιτητών για να καταλήξει στην διδακτική επεξεργασία τους. Ευρισκόμενη σε συμφωνία και με άλλες ερευνητικές εργασίες για την συμβολή των εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων (Mikropoulos & Strouboulis, 2004; Mikropoulos & Bellou, 2006) αναδεικνύει την θετική συνεισφορά τους.

## 8. Συμπεράσματα

Η δημιουργία των οπτικοποιήσεων που συνδέονται με την ΚΘΑ και περιλαμβάνονται στο λογισμικό 'Το Κβαντικό Άτομο' είναι σημαντική, διότι καθιστά 'ορατό' τον κβαντικό μικρόκοσμο, τον οποίο καλούνται οι μαθητές και οι φοιτητές να τον αναπαραστήσουν νοητικά, ενώ είναι αδύνατο να τον αντιληφθούν με οποιαδήποτε από τις αισθήσεις τους.

Το λογισμικό θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την διδασκαλία των σχετικών εννοιών σε μαθητές της Γ' Λυκείου Θετικής Κατεύθυνσης. Στα μελλοντικά ερευνητικά μας ενδιαφέροντα περιλαμβάνεται η ανάπτυξη διδακτικού σεναρίου για την υλοποίηση μιας διδακτικής παρέμβασης με στόχο την ανάπτυξη από τους μαθητές δεξιοτήτων όπως η διατύπωση υποθέσεων και ο έλεγχος αυτών μετά από την αλληλεπίδρασή τους με το «Κβαντικό άτομο». Θα ήταν επίσης σημαντικό να διερευνηθεί κατά πόσο οι μαθητές αυτοί θα αλλάξουν επιστημολογική στάση για να μετακινηθούν από την αιτιοκρατία της Κλασικής Φυσικής στην Κβαντική Θεώρηση του μικρόκοσμου.

## Βιβλιογραφία

- Bakas, Ch. & 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.
- Dimopoulos, V. & Kalkanis, G. (2005). Simulating Quantum States of the Atom of Hydrogen: A simulation program for non-physics major's students, in R. Pintó and D. Curso, (Eds.), *Proceedings of the fifth International ESERA Conference on Contribution of Research to Enhancing Students' in Learning Science*, 548 – 552, Barcelona, Spain.
- Futo, I. & Gergely, T. (1990). *Artificial Intelligence in Simulation*, Ellis Horwood, New York.
- 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.
- Johnston, K. (1988), Learning and teaching about the particulate theory of matter: a report on teaching scheme in action, in proceeding of a bi-national UK-Israel seminar: *Learning difficulties in chemistry*, Jerusalem, 55 – 79.
- 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.
- Kontogeorgiou, A., Bellou, A. & Mikropoulos T. (2006a). Visualizing the quantum atom, in R. Pinto & D. Couso «*Contributions from science education research*», (465-475). Springer, The Netherlands.
- Mikropoulos, T. A. & Strouboulis, V. (2004). Factors that Influence Presence in Educational Virtual Environments, *Cyberpsychology & Behavior*, 7, 582-591.
- Mikropoulos, T. A. & Bellou, J. (2006). The unique features of educational virtual environments, In I. Pedro, M. McPherson and F. Bannister *Proceedings of e-society*, IADIS International Conference, 13-16/7/2006, Dublin, 122-128.
- Mikropoulos, T. A. (2006). Presence: A unique characteristic in educational virtual environments, *Virtual Reality*, under publication
- Olsen, R. (2002), Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway, *International Journal of Science Education*, 24, 565 – 574
- Petri, J. and Niedderer, H. (1998), A learning pathway in High – school level quantum atomic physics, *International Journal of Science Education*, 20, 1075 – 1088
- 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, ΕΕΦ, Ατραπός

- 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), Αθήνα.
- Κοντογεωργίου, Α., Κώτσης Κ. & Μικρόπουλος, Τ. Α. (2006b). Οι αντιλήψεις για το άτομο των φοιτητών, που παρακολούθησαν το μάθημα της Φυσικής Γενικής Παιδείας στη Γ' Λυκείου, στα Πρακτικά του *11ου Πανελληνίου Συνεδρίου Φυσικής της ΕΕΦ*, Λάρισα.
- Κοντογεωργίου, Α., Κώτσης, Κ. & Μικρόπουλος, Τ. (2006c). Ένα εκπαιδευτικό λογισμικό για τη διδασκαλία του κβαντικού ατόμου, στο Σταυρίδου Ε. & Σολομωνίδου Χ. (επιμέλεια), «*Σύγχρονα περιβάλλοντα μάθησης και παραγωγή διδακτικού υλικού*» (σελ. 213–222). Βόλος.