

Εκπαιδευόμενοι και εκπαιδευτικοί με περιορισμένες προγραμματιστικές γνώσεις δημιουργούν τις δικές τους προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις - Εφαρμόζοντας στο κβαντικό άτομο του υδρογόνου

Βασίλειος Δημόπουλος¹, R.M. Sperandeo-Mineo², Γεώργιος Θ. Καλκάνης¹

¹ Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Παιδαγωγικού Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, vdimop@gmail.com kalkanis@primedu.uoa.gr

² Department of Physical and Astronomical Sciences, University of Palermo, sperande@fisica.unipa.it

Περίληψη. Ένα σημαντικό στοιχείο στη χρήση των προσομοιώσεων και των οπτικοποιήσεων αποτελεί η παροχή της δυνατότητας στον χρήστη να δημιουργεί και να χειρίζεται ο ίδιος το μοντέλο που τις συνδέει. Απλές αλλά δυναμικές γλώσσες προγραμματισμού έχουν αναπτυχθεί και επιτρέπουν στους εκπαιδευόμενους και εκπαιδευτές με περιορισμένες προγραμματιστικές γνώσεις να δημιουργούν τις δικές τους προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις. Ακριβώς αυτή η δυνατότητα τέτοιας εφαρμογής αξιοποιήθηκε σε εκπαιδευτικό επίπεδο –σε φοιτητές του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών και του αντίστοιχου τμήματος του Πανεπιστημίου του Παλέρμο– για την προσομοίωση και οπτικοποίηση της ακτινικής κατανομής πιθανότητας κυματοσυνάρτησεων της εξίσωσης του Schrödinger για το άτομο του υδρογόνου. Κύριος σκοπός της ερευνητικής εργασίας ήταν η εμπλοκή των φοιτητών στη δημιουργία της προσομοίωσης. Έρευνες δείχνει ότι ένα πολύ σημαντικό ποσοστό φοιτητών αντιμετωπίζει το μάθημα της κβαντικής φυσικής αρνητικά, κυρίως γιατί θεωρεί ότι η κβαντική φυσική είναι μαθηματικός φορμαλισμός χωρίς ιδιαίτερο νόημα. Στόχος μας υπήρξε η χρήση ενός μέρους του μαθηματικού φορμαλισμού –αυτού που αφορά στις ακτινικές κατανομές πιθανότητας– ώστε οι φοιτητές να κατανοήσουν τη φυσική του ερμηνεία/σημασία.

Εισαγωγή

Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση χρησιμοποιούνται τόσο στην έρευνα όσο και στην εκπαίδευση για να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν φαινόμενα και διαδικασίες (Barnea and Dori 2000) καθώς και να βοηθήσουν στον έλεγχο και στην ανάπτυξη θεωριών και επιστημονικών προτύπων (Dori and Barak 2000). Η ίδια η επιστημονική προσπάθεια έχει περιγραφεί ως μία διαδικασία δημιουργίας μοντέλων με εννοιολογική και προβλεπτική αξία (Stewart & Hafner 1991, Gilbert 1997). Ο Black από το 1962 υποστήριζε ότι η κατανόηση των μοντέλων έχει ζωτική σημασία για την επιστημονική πρακτική (Stratford 1997).

Είναι σημαντικό κατά τη χρήση των μοντέλων στο χώρο της εκπαίδευσης να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο γεγονός ότι τα μοντέλα αποτελούν προσομοιώσεις της πραγματικότητας βασισμένες στη θεωρία και όχι αυτή καθαυτή την πραγματικότητα, ώστε εκπαιδευτές και εκπαιδευόμενοι να συνειδητοποιούν ότι τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα ή στην εκπαίδευση, είναι αναπαραστάσεις της πραγματικότητας την οποία αντιπροσωπεύουν (Osborne & Gilbert, 1980). Οι περισσότεροι από τους δασκάλους των φυσικών επιστημών χρησιμοποιούν ένα περιορισμένο αριθμό από στατικά μοντέλα, και δεν δίνουν έμφαση στον τρόπο με τον οποίο τα μοντέλα δημιουργούνται, στον σημαίνοντα ρόλο που παίζουν στις φυσικές επιστήμες, στα πλεονεκτήματα αλλά και στα όριά τους (Gilbert 1997, Bagdonis & Salisbury 1994, Oversby 1995).

Η χρήση των υπολογιστών στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες ανάμεσα στα άλλα πλεονεκτήματα παρέχει τη δυνατότητα για την προσομοίωση και την οπτικοποίηση μοντέλων του μικρο- αλλά και του μακρο-κόσμου (Dori & Hameiri 1998, Lazarowitz & Huppert 1993).

Ο Forrester (1968), που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ο πατέρας της δυναμικής (χρονικής) μοντελοποίησης ενός συστήματος, υποστήριξε ότι η δημιουργία και η εκτέλεση δυναμικών μοντέλων θα πρέπει να βοηθούν τους εκπαιδευόμενους να διευκρινίζουν τα νοητικά μοντέλα και να ενισχύουν την βαθύτερη κατανόηση των πολύπλοκων συστημάτων.

Πρόσφατες έρευνες στην εκπαίδευση αναδεικνύουν προσπάθειες όπως της Αμερικανικής Ένωσης για το Project 2061 για την εισαγωγή προσομοιώσεων στις τελευταίες τάξεις της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Η ανάπτυξη εξάλλου των υπολογιστών –ευρείας χρήσης– τόσο ως προς την ταχύτητα επεξεργασίας της πληροφορίας όσο και ως προς τις πολύ-μεσικές δυνατότητες, βοηθούν στη δημιουργία, χρήση και εισαγωγή των δυναμικών μοντέλων στην εκπαιδευτική πραγματικότητα.

Ο παρακάτω πίνακας (πίνακας 1) περιλαμβάνει όρους και ορισμούς που σχετίζονται με τα μοντέλα που δημιουργούνται στον υπολογιστή (computer-based models).

Πίνακας 1: Όροι και ορισμοί που σχετίζονται με τα μοντέλα που δημιουργούνται στον υπολογιστή.

Όρος	Ορισμός
Μοντέλο	Επιστημονική (λογική ή φραστική) δομή για την «μίμηση» ενός φαινομένου του πραγματικού κόσμου
Προσομοίωση	Ένα πρόγραμμα (υπολογιστή) που στηρίζεται σε ένα μοντέλο
Συγγραφή προγράμματος προσομοίωσης Ή συγγραφή κώδικα για πρόγραμμα προσομοίωσης	Συγγραφή κώδικα, έλεγχος και διόρθωση λαθών με χρήση μίας γλώσσας προγραμματισμού
Τρέξιμο προσομοίωσης	Εκτέλεση προσομοίωσης για την παρατήρηση της συμπεριφοράς και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το φαινόμενο που μοντελοποιείται
Μοντελοποίηση	Η δράση της δημιουργίας και της αναθεώρησης ενός μοντέλου
Μοντελοποίηση περιβαλλόντων	Προγράμματα στον υπολογιστή με στόχο να επιτρέπουν στο χρήστη να δημιουργούν μοντέλα χωρίς να συγγράφουν κώδικα

Μεθοδολογία

Υπάρχουν δύο κυρίως τρόποι για τη χρήση των προσομοιώσεων στην εκπαίδευση. Η χρήση του μοντέλου (model-using) και η δημιουργία του μοντέλου (model-building). Η χρήση του μοντέλου σχετίζεται με τη χρήση ενός προγράμματος προσομοίωσης που έχει δημιουργηθεί από κάποιον άλλο. Ο εκπαιδευόμενος χρησιμοποιεί το πρόγραμμα μεταβάλλοντας παραμέτρους και μελετώντας την εξέλιξη του φαινομένου που προσομοιώνεται. Η εκμάθηση με απλή χρήση του προγράμματος προσομοίωσης είναι διαφορετική από τη δημιουργία του μοντέλου, αφού σε αυτή ο εκπαιδευόμενος δεν έχει πρόσβαση στον κώδικα του προγράμματος. Στην χρήση του μοντέλου ο εκπαιδευόμενος περιορίζεται στη μεταβολή των

παραμέτρων και των μεταβλητών τα οποία έχει περιλάβει ο σχεδιαστής του προγράμματος. Αντιθέτως, στην περίπτωση της δημιουργίας του μοντέλου ο εκπαιδευόμενος έχει άμεσο ρόλο στην κατασκευή της προσομοίωσης. Για την κατασκευή της προσομοίωσης υπάρχουν τρεις συνιστώσες:

- το υποκείμενο μοντέλο (underlying model), που αναφέρεται στις μαθηματικές σχέσεις του φαινομένου που προσομοιώνεται,
- το σενάριο της προσομοίωσης (simulation's scenario), που παρέχει το περιβάλλον για την προσομοίωση,
- και η προσομοίωση ως εκπαιδευτικό υλικό (simulation's instructional overlay), που περιλαμβάνει τα σχήματα, τις επιλογές ή τις πληροφορίες που παρουσιάζονται, πριν, κατά ή μετά την εκτέλεση της προσομοίωσης για να βοηθήσουν τους εκπαιδευόμενους να αναγνωρίσουν και να μάθουν τις σχέσεις που προσομοιώνονται.

Απλές αλλά δυναμικές γλώσσες προγραμματισμού έχουν αναπτυχθεί που επιτρέπουν στους εκπαιδευόμενους και εκπαιδευτές με περιορισμένες προγραμματιστικές γνώσεις να δημιουργούν τις δικές τους προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις.

Μία εφαρμογή που διαθέτει μια τέτοια γλώσσα προγραμματισμού είναι το 3d studio max. Η εν λόγω εφαρμογή αποτελεί ένα πρόγραμμα σχεδιασμού γραφικών στις τρεις διαστάσεις και ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε τις αντίστοιχες σχεδιαστικές γραμμές εργαλείων, είτε τη γλώσσα προγραμματισμού max script που στηρίζεται στην C⁺⁺. Ο κώδικας είναι ουσιαστικά μια σειρά από οδηγίες που μπορούν να καταγραφούν σε ένα απλό αρχείο κειμένου. Οι οδηγίες εκτελούνται γραμμή προς γραμμή. Παρά το γεγονός ότι οι εντολές της γλώσσας είναι απλές, πολύ σύνθετες λειτουργίες είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν. Εξάλλου η εφαρμογή διαθέτει ενσωματωμένο μεταφραστή –το MaxScript Listener– όπου παρέχει τη δυνατότητα διόρθωσης λαθών που εντοπίζονται.

Ακριβώς αυτή η δυνατότητα της εφαρμογής αξιοποιήθηκε σε εκπαιδευτικό επίπεδο – όπως αναφέρεται και παρακάτω– για την προσομοίωση και οπτικοποίηση του μοντέλου πιθανοτήτων, δηλαδή της ακτινικής κατανομής πιθανότητας κυματοσυνάρτησεων της εξίσωσης του Schrödinger.

Σύμφωνα με τους Κοντογεωργίου κ.α. (2006) η αξιοποίηση των ΤΠΕ για τη δυναμική οπτικοποίηση εννοιών σχετικών με το κβαντικό μοντέλο προτείνεται για τρεις κυρίως λόγους: δεν είναι δυνατό να δημιουργηθούν τρισδιάστατες οπτικές αναπαραστάσεις του κβαντικού μοντέλου χωρίς τη χρήση των ΤΠΕ, συμβάλουν στην ποιοτική περιγραφή του κβαντικού μοντέλου, παρακάμπτοντας τις πολύπλοκες μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες όμως χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των οπτικοποιήσεων και η δυναμική οπτικοποίηση συντελεί θετικά στην κατανόηση της μορφής στο χώρο των διαφορετικών γραφημάτων, διότι δίνεται η δυνατότητα περιστροφής και περιήγησης.

Οι Χατζηδάκη κ.α., (1998) υποστηρίζουν ότι χρησιμοποιούν την προσομοίωση / οπτικοποίηση για την αντιμετώπιση δύο κυρίως εμποδίων: του περιορισμένου μαθηματικού υποβάθρου των διδασκομένων και της έλλειψης βιωματικών εμπειριών για τα φαινόμενα του μικροκόσμου.

Κύριος σκοπός, αυτού του τμήματος της ερευνητικής εργασίας, ήταν η εμπλοκή των ίδιων των φοιτητών στη δημιουργία της προσομοίωσης. Έρευνα στο πανεπιστήμιο του Sydney (Johnston et.al., 1998) έδειξε ότι ένα πολύ σημαντικό ποσοστό φοιτητών αντιμετωπίζει το μάθημα της κβαντικής φυσικής αρνητικά, κυρίως γιατί θεωρούν ότι η κβαντική φυσική είναι μαθηματικός φορμαλισμός χωρίς ιδιαίτερο νόημα. Ακριβώς, λοιπόν, στόχος μας υπήρξε η χρήση ενός μέρους του μαθηματικού φορμαλισμού –αυτού που αφορά στις ακτινικές κατανομές πιθανότητας– ώστε οι φοιτητές να κατανοήσουν τη φυσική τους ερμηνεία. Τα ευρήματα της βιβλιογραφικής έρευνας (Horwitz 2002), εξάλλου, δείχνουν ότι η δυνατότητα δημιουργίας από τον ίδιο τον εκπαιδευόμενο των προσομοιώσεων /

οπτικοποιήσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία έχει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με την χρήση μόνο της προσομοίωσης.

Το μοντέλο των πιθανοτήτων - Πυκνότητα πιθανότητας και ακτινικές κατανομές

Η επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger καταλήγει σε ένα πλήθος λύσεων καθεμία εκ των οποίων καλείται κυματοσυνάρτηση ψ . Η κυματοσυνάρτηση είναι μιγαδικός αριθμός, ονομάζεται *τροχιακό* και δεν μπορεί να αναπαρασταθεί. Η ψ^2 είναι πραγματικός αριθμός που καλείται πυκνότητα πιθανότητας ή ηλεκτρονιακή πυκνότητα και αναπαριστά την πιθανότητα εύρεσης του e σε ένα πολύ μικρό όγκο ΔV . Συχνά αναπαρίσταται με κουκίδες, όπου μεγάλη πυκνότητα των κουκίδων αντιστοιχεί σε σχετικά μεγάλες τιμές του ψ^2 . Το σύνολο των κουκίδων ή το σύνολο της πιθανότητας εύρεσης του e ή το σύνολο της ηλεκτρονιακής πυκνότητας λέγεται *ηλεκτρονιακό νέφος*.

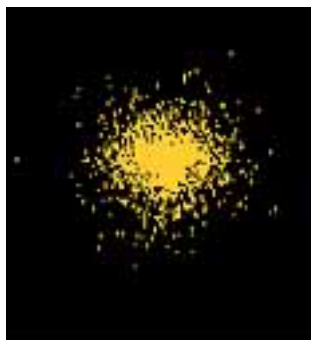
Ένα άλλο βοηθητικό μέσο για την έμμεση απεικόνιση των κυματοσυναρτήσεων είναι η *ακτινική κατανομή πιθανότητας* που ερμηνεύεται ως η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε διαφορετικές αποστάσεις από την αρχή των αξόνων. Η ακτινική κατανομή πιθανότητας προσδιορίζεται από το ολοκλήρωμα:

$$P(x < r < y) = \int_x^y |\psi|^2 dV$$

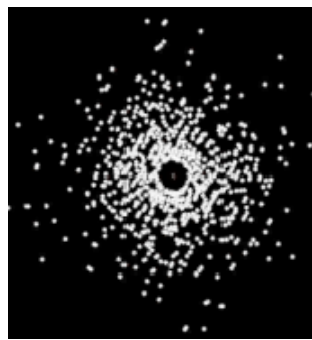
Η αναπαράσταση της ψ^2 δίνει διαφορετική οπτική εικόνα από την αναπαράσταση της $P(r)$ (εικόνα 1.α και 1.β). Αν χρησιμοποιήσουμε για παράδειγμα την κυματοσυνάρτηση της 1s κατάστασης

$$\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}$$

τότε η αναπαράσταση της ψ^2 και της $P(r)$ είναι:

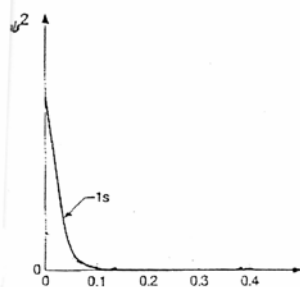


Εικόνα.1.α Αναπαράσταση ψ^2 για την 1s κατάσταση

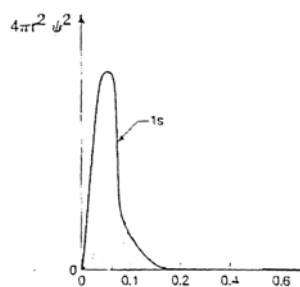


Εικόνα 1.β αναπαράσταση $P(r)$ για την 1s κατάσταση

Αντίστοιχα οι γραφικές παραστάσεις των δύο συναρτήσεων είναι (εικόνα 2.α και 2.β):



Εικόνα 2.α Αναπαράσταση ψ^2 για την 1s κατάσταση



Εικόνα 2.β Αναπαράσταση $P(r)$ για την 1s κατάσταση

Είναι φανερό και από τις δυσδιάστατες αναπαραστάσεις αλλά και από τις γραφικές παραστάσεις ότι για την περίπτωση της ψ^2 η μέγιστη τιμή βρίσκεται στον πυρήνα ενώ για την περίπτωση της $P(r)$ βρίσκεται στην πρώτη τροχιά του Bohr (Young, 1994).

Η δημιουργία της προσομοίωσης / οπτικοποίησης

Για τη συγγραφή του κώδικα ακολουθούνται τρία βήματα.

Στο πρώτο βήμα οι φοιτητές υπολογίζουν το ολοκλήρωμα της ακτινικής κατανομής πιθανότητας της κατάστασης 100 ώστε να βρεθεί η πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε απόσταση από $x < r < y$:

$$P(x < r < y) = \int_x^y \left(\frac{1}{\sqrt{\pi\alpha_0^3}} e^{-r/\alpha_0} \right)^2 4\pi r^2 dr$$

Οι τιμές που προκύπτουν τοποθετούνται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος συμπληρώνεται με επιπλέον στήλες:

Περιοχές	Πιθανότητα	Πιθανότητα× 100	Στρογγυλοποίηση	Κανονικοποίηση %	Άθροισμα
0- $\alpha_0/4$	0,014388	1,438768	1	2	
$\alpha_0/4$ - $\alpha_0/2$	0,065914	6,591372	7	12	14
$\alpha_0/2$ - $3\alpha_0/4$	0,110852	11,08518	11	19	33
$3\alpha_0/4$ - α_0	0,13217	13,21704	13	23	56
α_0 - $5\alpha_0/4$	0,132863	13,28633	13	23	79
$5\alpha_0/4$ - $6\alpha_0/4$	0,120623	12,0623	12	21	100

Για χρονικό διάστημα 0 –100 παράγουμε μια σειρά από 100 αριθμούς στο διάστημα [1,100]. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται επίπεδη –ισοπίθανη– συνάρτηση παραγωγής τυχαίων αριθμών. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τη στήλη «Άθροισμα» του παραπάνω πίνακα. Την κάθε φορά που παράγεται ένας αριθμός αποτυπώνεται στην οθόνη του υπολογιστή μία σφαίρα που αναπαριστά ένα ηλεκτρόνιο, στο δίσκο εκείνο που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη περιοχή. Εάν για παράδειγμα, κατά τη διαδικασία αυτή, επιλεγεί ο αριθμός 50 τότε στην οθόνη του υπολογιστή θα αποτυπωθεί με κατάλληλη εντολή μία σφαίρα που αναπαριστά το ηλεκτρόνιο στον κυκλικό δίσκο με ακτίνα $\alpha_0/2$ - $3\alpha_0/4$. Η αποτύπωση της σφαίρας-ηλεκτρονίου γίνεται και πάλι με χρήση συνάρτησης παραγωγής τυχαίων αριθμών.

Τέλος, στο τρίτο βήμα, δίνονται οδηγίες για την συγγραφή του κώδικα στη γλώσσα MaxScript (εικόνα 3).

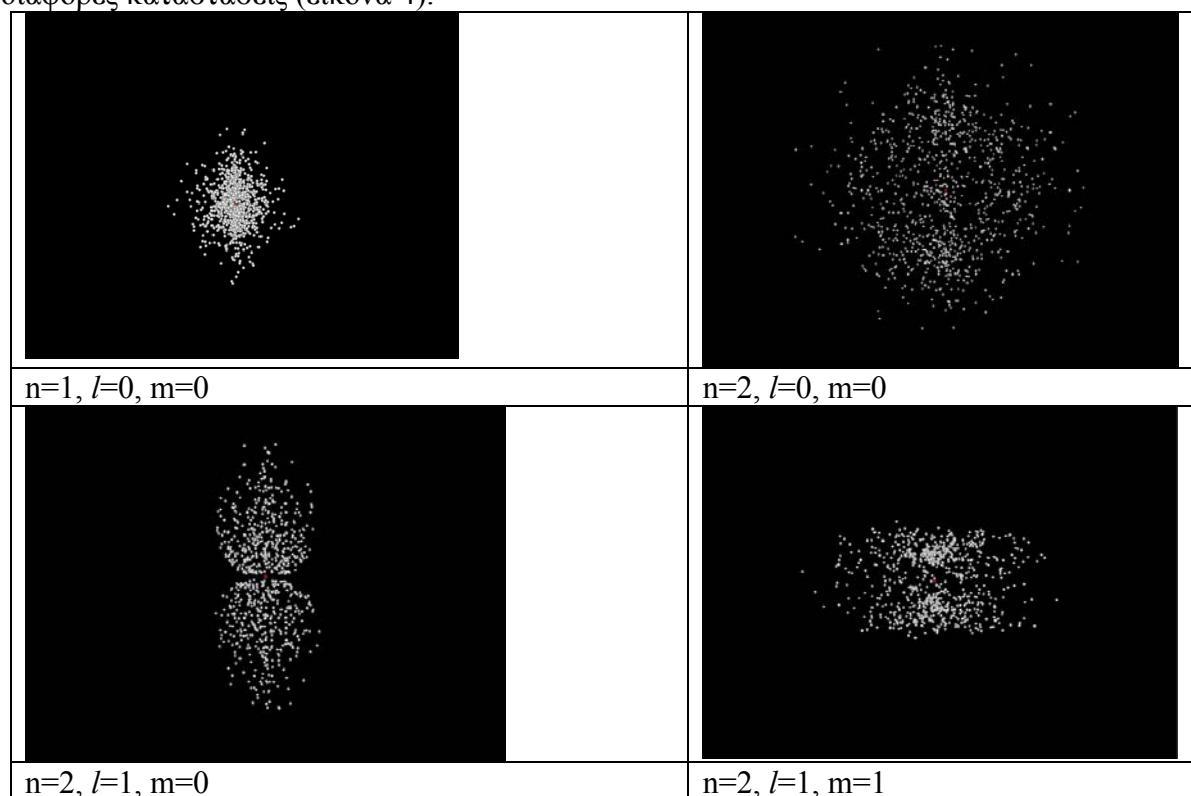
```

Psi100.ms - Notepad
File Edit Format View Help
s=sphere radius:12 segs:32 s.scale=[0.35,0.35,0.35]
s.wirecolor=white
animate on
(
for t=0 to 1000 do at time t
(
local g=random 0 360
local f=random 0 180
local i=random 1 100
c=copy s if i>=0 and i<=8 then
(
s.position=[50*random 0.8 1.0*sin(f)*cos(g),50*random 0.8
1.0*sin(f)*sin(g),50*random 0.8 1.0*cos(f)]
)
if i>=9 and i<=33 then
(
s.position=[100*random 0.5 1.0*sin(f)*cos(g),100*random 0.5
1.0*sin(f)*sin(g),100*random 0.5 1.0*cos(f)]
)
if i>=34 and i<=58 then
(
s.position=[150*random 0.67 1.0*sin(f)*cos(g),150*random 0.67
1.0*sin(f)*sin(g),150*random 0.67 1.0*cos(f)]
)
if i>=58 and i<=77 then

```

Εικόνα 3. Αρχείο κώδικα σε γλώσσα MaxScript.

Μετά την εκτέλεση του κώδικα, προκύπτουν οι παρακάτω απεικονίσεις για τις διάφορες καταστάσεις (εικόνα 4).



Εικόνα 4 Εικόνες μοντέλου πιθανοτήτων στις τρεις διαστάσεις για διάφορες καταστάσεις στο άτομο του υδρογόνου (πυρήνας και ένα ηλεκτρόνιο). Οι εικόνες προέκυψαν διατηρώντας στο πρόγραμμα προσομοίωσης το ίχνος του ηλεκτρονίου

Σημειώνουμε ότι σε όλα τα βήματα υπάρχουν συμπληρωμένα τα βήματα σε αρχεία που οι χρήστες μπορούν να καλέσουν κάθε στιγμή.

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω εφαρμόστηκε σε μία εξάωρη διδασκαλία, σε 30 δευτεροετείς φοιτητές του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Αθηνών (ΠΑ) και σε 25 φοιτητές του τμήματος Φυσικής του University of Palermo (UoP) της Ιταλίας.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Για την αξιολόγηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο τεστ, ένα πριν τη διδασκαλία και ένα μία εβδομάδα μετά.

Για την αξιολόγηση των απαντήσεων των φοιτητών χρησιμοποιήθηκε το t-test. Η δεύτερη στήλη του κάθε πίνακα αφορά στη συνολική βαθμολογία των φοιτητών στο pre test και η τρίτη στήλη στη συνολική βαθμολογία στο post test. Η τελευταία στήλη αφορά στο κατά πόσο οι διαφορές ανάμεσα στα τεστ είναι στατιστικά σημαντικές ή όχι. Στα κελιά εκείνα όπου το p παίρνει τιμές μικρότερες από 0.05 οι διαφορές είναι σημαντικές ενώ εκεί όπου δεν είναι στο αντίστοιχο κελί υπάρχει η ένδειξη n.s.

Ερώτηση 1 post test / 4 pre test

1. Με ποια από τις παρακάτω απόψεις συμφωνείτε;

α. Μπορούμε να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου που κινείται.

β. Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου που κινείται.

Γιατί:.....
Οι μέσοι βαθμοί για την ερώτηση αυτή ήταν:

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
Μέσος βαθμός	2.68 ± 1.12	2.75 ± 1.16	n.s.

Το άριστα στην ερώτηση ήταν το 5. Οι φοιτητές και στα δύο τεστ απαντούν εξίσου καλά.

Ερώτηση 3 post test / 6 pre test

3. Αν γνωρίζουμε στο άτομο του υδρογόνου (πυρήνας και ένα ηλεκτρόνιο) πού βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο κάποια χρονική στιγμή θα μπορούσαμε με βεβαιότητα να προσδιορίσουμε την επόμενη θέση του; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Οι μέσοι βαθμοί για την ερώτηση αυτή ήταν:

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
Μέσος βαθμός	2.40 ± 1.50	4.93 ± 2.25	0.000

Το άριστα στην ερώτηση ήταν το 5. Οι φοιτητές στην περίπτωση του Post test απαντούν καλύτερα. Αιτιολογώντας τις απαντήσεις τους οι περισσότεροι φοιτητές αναφέρονται στην αρχή της απροσδιοριστίας ή στο ότι η κίνηση του ηλεκτρονίου σύμφωνα με την κβαντική φυσική είναι τυχαία.

Ερώτηση 4 post test / 7 pre test

4. Σχεδιάστε και περιγράψτε ένα μοντέλο ατόμου για την περίπτωση του υδρογόνου (πυρήνας και ένα ηλεκτρόνιο).

Οι απαντήσεις των φοιτητών βαθμολογήθηκαν στη δεκαβάθμια κλίμακα από 0-5, όσες αναφέρονταν στο μοντέλο του Bohr και 6-10 όσες αναφέρονταν στο κβαντικό μοντέλο. Οι μέσοι βαθμοί των φοιτητών για τα δύο test εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
Μέσος βαθμός	4.87 ± 2.03	7.87 ± 3.35	0.007

Στο αρχικό τεστ περισσότεροι φοιτητές περιγράψανε το μοντέλο του Bohr, σε αντίθεση με το τελικό τεστ.

Ερώτηση 5 post test / 9 pre test

Στις παρακάτω σειρές ακολουθούν περιγραφές και σχήματα που αντιστοιχούν σε μοντέλα σχετικά με το άτομο του υδρογόνου (πυρήνας με ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο – ηλεκτρόνιο).

Ποιες από τις παρακάτω περιγραφές και τα αντίστοιχα σχήματα ανταποκρίνονται περισσότερο στην εικόνα που έχετε για το άτομο;

Κύκλωσε μία επιλογή. (Στο ερωτηματολόγιο ακολουθούν σχήματα και περιγραφές που περιλαμβάνουν διαφορετικά μοντέλα για το άτομο).

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
Μέσος βαθμός	0.87 ± 0.23	1.18 ± 0.39	0.045

Το μοντέλο πιθανοτήτων βαθμολογήθηκε με 2 μονάδες ενώ τα υπόλοιπα μοντέλα με 1. Οι απαντήσεις των φοιτητών με βάση το κβαντικό μοντέλο είναι περισσότερες στην περίπτωση του τελικού τεστ. Παρόλα αυτά αρκετοί φοιτητές στο αρχικό τεστ αναφέρθηκαν στο μοντέλο πιθανοτήτων –περίπου το 45%, ποσοστό που μεταβλήθηκε σε 60% μετά την εξέταση– κάτι που επιβεβαιώνει το συμπέρασμα της έρευνας του Olsen (2002) ότι έχει σημασία σε κάθε έρευνα το πώς τίθεται η ερώτηση.

Συμπεράσματα

Η ανάλυση κάποιων από τις ερωτήσεις του pre test αναδεικνύει ότι σχεδόν το 50% του συνολικού δείγματος γνωρίζει επιφανειακά αρχές της κβαντικής φυσικής και δεν κατανοεί επαρκώς τον ρόλο των μοντέλων και την προγνωστική τους αξία. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις έννοιες που περιλαμβάνονται στην κατανόηση των διαφορετικών μοντέλων του ατόμου του υδρογόνου, η γνώση των φοιτητών πριν τη διδασκαλία έμοιαζε περισσότερο θεμελιωμένη σε κάποιες εικόνες, σχέσεις, σχόλια που απλώς ανακαλούσαν από τη μνήμη τους παρά σε ικανοποιητική κατανόηση. Τα θεωρητικά τμήματα σύγχρονης φυσικής, που οι φοιτητές παρακολουθούν σε προπτυχιακό επίπεδο, προσφέρουν γνώσεις και μαθηματικούς τύπους τους οποίους μπορούν να χειρισθούν ικανοποιητικά, χωρίς όμως να κατανοούν βαθύτερα τις θεμελιώδεις αρχές που εμπλέκονται (Johnston et.al. 1998).

Η στρατηγική που υιοθετήθηκε στην προσομοίωση απαιτούσε δύο διαφορετικές δραστηριότητες: αφενός μεν την δημιουργία κώδικα της προσομοίωσης αφετέρου δε την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Εξακριβώσαμε ότι η προσέγγιση αυτή πρόσφερε καλύτερη κατανόηση στο γνωσιακό αντικείμενο:

- στην αρχή της εκπαιδευτικής παρέμβασης οι φοιτητές δεν μπορούσαν να συσχετίσουν ιδέες και αρχές που διδαχθήκανε στα μαθήματα φυσικής ενώ όσο εξελίσσονταν η παρέμβαση γινόταν όλο και περισσότερο ικανοί στο να εφαρμόζουν τη γνώση που αποκτούσαν στην πρόβλεψη για την εξέλιξη του συστήματος, συσχετίζοντας τον μαθηματικό φορμαλισμό με το αποτέλεσμα της οπτικοποίησης.

Από επιστημονική άποψη, το λογισμικό προσφέρει τα ακόλουθα οφέλη:

- Εισάγει τις κύριες απόψεις της κβαντικής φυσικής εφαρμοσμένες στη δομή των ατόμων.
- Επιτρέπει την απευθείας αντιστοίχιση ανάμεσα στην εικόνα του μοντέλου πιθανοτήτων στις τρεις διαστάσεις και του μοντέλου αυτού σε δύο διαστάσεις.
- Παρουσιάζει ένα μεγάλο αριθμό από ασκήσεις έτσι ώστε οι φοιτητές να εξοικειωθούν με την εξίσωση του Schrödinger. Επιπλέον, το πρόγραμμα οπτικοποίησης διεγείρει το ενδιαφέρον των φοιτητών ώστε να εμβαθύνουν στην κβαντική φυσική.

Από την εκπαιδευτική μεριά, το λογισμικό προσφέρει τα ακόλουθα οφέλη:

- μέσα από την εκπαιδευτική μεταφορά του επιστημονικού προτύπου και με τη χρήση των προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων οι φοιτητές κατανόησαν βαθύτερα τις φυσικές αρχές.
- Παρέχει ένα εποπτικό τρόπο αναπαράστασης των αρχών της κβαντικής φυσικής, καθιστώντας το μία κατάλληλη μέθοδο για τη μελέτη της δομής του ατόμου.
- Προάγει και διεγείρει τη διαδραστική μάθηση.
- Ζητά από τους μαθητές να βρουν σχέσεις ανάμεσα στη θεωρία και στην πράξη, μέσα από τις εφαρμογές. Μέσα από το περιεχόμενό του, στοχεύει οι μαθητές να τοποθετηθούν σε υψηλότερο επίπεδο της γνωσιακής ταξινομίας, πέρα από την κατανόηση και στην εφαρμογή της θεωρητικής γνώσης.

Σε σχετική ερώτηση η πλειοψηφία των φοιτητών ισχυρίστηκε ότι το κύριο μαθησιακό εμπόδιο αποτελούσε για αυτούς η αναπαράσταση της κυματοσυνάρτησης και εντόπισαν / αναγνώρισαν την δημιουργία της προσομοίωσης ως ένα κατάλληλο εκπαιδευτικό εργαλείο

για να ξεπεράσουν αυτό το εμπόδιο. Γενικότερα, ήταν ενήμεροι για τις μαθηματικές δυσκολίες που σχετίζονται με το περιεχόμενο της κβαντικής φυσικής, και για την πιθανότητα ότι τέτοιες δυσκολίες μπορούν, να κρατήσουν μακριά τους μαθητές από τη φυσική ερμηνεία των φυσικών μοντέλων.

Παραπομπές

- Κοντογεωργίου, Ασ., Κώτσης, Κ. και Μικρόπουλος, Τ. Α. (2006), Ένα εκπαιδευτικό λογισμικό για τη διδασκαλία του κβαντικού ατόμου, Πανελλήνιο Συνέδριο Ψηφιακό Εκπαιδευτικό Υλικό: Ζητήματα δημιουργίας, διδακτικής αξιοποίησης και αξιολόγησης, Βόλος
- Χατζηδάκη Π., Σταύρου Δ., Καλκάνης Γ., Η προσομοίωση / οπτικοποίηση των αποδεκτών σήμερα φυσικών μοντέλων του Μικροκόσμου στον Η/Υ, ως διδακτικό εργαλείο για τη διευκόλυνση της κατανόησης εννοιών και φαινομένων της Κβαντικής Φυσικής. Η περίπτωση των τροχιακών του ατόμου του Υδρογόνου, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαΐου 1998.
- Bagdonis, A.S. & Salisbury, D.F. (1994). Development and validation of models in instructional design. *Educational Technology*, April, 26-32.
- Barnea N. and Dori Y. (2000), Computerized molecular modelling – The new technology for enhancing model perception among chemistry educators and learners, http://www.uoi.gr/cerp/2000_January/pdf/16barneaf.pdf
- Dori, Y.J. and Barak, M. (2000). Computerized molecular modeling: enhancing meaningful chemistry learning. In proceedings of the fourth International Conference of the Learning Sciences, B. Fishman & S. O'Connor-Divelbiss (Eds.), Mahwah, NJ: Erlbaum, 185-192
- Dori, Y.J. & Hameiri, M. (1998). “The Mole Environment” studyware: applying multidimensional analysis to quantitative chemistry. *International Journal of Science Education*, 20, 317-
- Gilbert, J.K. (1997) (Ed). *Exploring Models and Modeling in Science and Technology Education*. The University of Reading, The New Bulmershe Papers, UK.
- Horwitz P. (2002), Simulations and Visualizations, <http://prospectassoc.com/NSF/simvis.htm#1>
- Hugh D. Young. Πανεπιστημιακή Φυσική - Τόμος Β΄, σελ 1115, Εκδόσεις Παπαζήση, 1992
- Johnston, I. D., Crawford, K. and Fletcher, P. R. (1998). Students’ difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20 (4), 427–446.
- Lazarowitz, R.& Huppert, J. (1993). Science process skills of 10th grade biology students in a computer-assisted learning setting. *Journal of Research on Computing in Education*, 25, 366-382.
- Olsen R., (2001), A Study of Norwegian Upper Secondary Physics Specialists’ Conception of Atomic Models and the Wave Particle Duality, Proceedings of the Third ESERA conference *Science Education Research in the Knowledge based society*, Thessaloniki, Greece
- Osborne, R.J., & Gilbert, J.K. (1980). The use of models in science teaching. *The School and Science Review*, 62, 57- 67
- Oversby, J. (1995). Using computer animations in learning chemistry. Proceedings of the XIth International Conference on Computers in Chemical Research and Education, Paris, France, July 17-21, 199, (<http://www.phys.uu.nl/~fmeijer/wordpress/index.php?p=72>)
- Stratford S. (1997). A review of computer-based model research in precollege science classrooms *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching (JCMST)*, Volume 16, Issue 1.