

**Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης  
Τομέας Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος**

**Εκπαίδευση με Τεχνολογίες Πληροφόρησης στις Φυσικές Επιστήμες –  
– Προτάσεις και εφαρμογές Κβαντικών προσεγγίσεων**

Βασίλης Δημόπουλος

Επιβλέπων καθηγητής  
Καθηγητής: Γεώργιος Θεοφ. Καλκάνης

Αθήνα, 2005

στους γονείς μου

Η ολοκλήρωση της διδακτορικής διατριβής σηματοδοτεί και το τέλος των δεκαετών μου σπουδών, από προπτυχιακός φοιτητής στο Φυσικό Αθηνών, μεταπτυχιακός φοιτητής και υποψήφιος διδάκτορας στο ΠΤΔΕ Αθηνών. Ήταν μια πορεία δύσκολη αλλά συναρπαστική, που περιελάμβανε πέρα από τη συνεχή δουλειά για αυτές καθαυτές τις σπουδές, διδασκαλίες σε εργαστήρια και αίθουσες, συμμετοχή σε συνέδρια και προγράμματα, επίβλεψη προπτυχιακών φοιτητών ... , αλλά και επαφή με ανθρώπους που με στήριξαν και με βοήθησαν να την ολοκληρώσω.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου καθηγητή Γεωργ. Θεοφ. Καλκάνη για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την αγάπη που μου έδειξε από την πρώτη ημέρα φοίτησής μου στο ΠΤΔΕ Αθηνών.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς μου επιτροπής, τον αναπληρωτή καθηγητή Κων/νο Σκορδούλη και την επίκουρο καθηγήτρια Κρυσταλλία Χαλκιά για τη στήριξή τους καθόλη την πορεία μου ως μεταπτυχιακού φοιτητή και υποψήφιου διδάκτορα. Είναι βέβαιο ότι η ολοκλήρωση της διατριβής δε θα μπορούσε να γίνει αν δίπλα μου δεν είχαν σταθεί οι συνυποψήφιοι διδάκτορες Δέσποινα Ιμβριώτη και Κοσμάς Δενδρινός. Τους ευχαριστώ όχι μόνο για τη συμπαράσταση αλλά κυρίως για τη φιλία τους που απλόχερα μου πρόσφεραν και μου προσφέρουν.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στη Δέσποινα Περιβολάρη γιατί με ιδιαίτερη αγάπη στάθηκε δίπλα μου κατά τη φοίτησή μου στο ΠΤΔΕ.

Ευχαριστώ επίσης τον συνυποψήφιο διδάκτορα Μάνθο Πατρινόπουλο, τη σχολική σύμβουλο δρ. Σοφία Στράγκα, τη φυσικό Κυριακή Δημητριάδη, τον υποψ. δρ. Σαράντο Οικονομίδα, τον φυσικό δρ. Παναγιώτη Δημητριάδη καθώς και τον δρ. Παναγιώτη Τσάκωνα που με μύησε στον κόσμο του προγραμματισμού.

Τέλος ευχαριστώ τον αδελφό μου Κώστα για τη συμπαράστασή του καθόλη τη φοιτητική μου ζωή.

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	6
1. Η κβαντική θεωρία.....	12
1.1 Το ά-τομο που τέμνεται και η δομή του.....	12
1.2 Μια νέα θεωρία γεννιέται – Κύματα ύλης.....	13
1.3 Κυματική εξίσωση για σωματίδια.....	14
1.4 Ερμηνεύοντας τη συνάρτηση Ψ.....	15
1.5 Απιοκρατία και κβαντική φυσική.....	16
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	19
2.1 Ανασκόπηση σχολικής ελληνικής βιβλιογραφίας.....	19
2.1.α Φυσική.....	19
2.1.β Χημεία.....	24
2.2 Μοντέλα για το άτομο, σχολικά εγχειρίδια και εννοιολογική αλλαγή.....	28
2.3 Διεθνής Βιβλιογραφία.....	31
2.4 Ελληνική Βιβλιογραφία.....	37
3. Προσομοιώσεις – Οπτικοποιήσεις.....	40
3.1 Η χρήση των προσομοιώσεων.....	41
3.2 Κατηγορίες προσομοίωσης.....	42
3.3 Οπτικοποίηση.....	42
3.4 Θεωρία διπλής κωδικοποίησης (Dual Coding Theory).....	44
3.5 Κβαντική Φυσική και άτομο του υδρογόνου.....	45
3.6 Το μοντέλο των πιθανοτήτων.....	46
3.6.α Πυκνότητα πιθανότητας και ακτινικές κατανομές.....	46
3.6.β Προγράμματα προσομοίωσης / οπτικοποίησης στο διαδίκτυο.....	47
3.6.γ Προσομοιώνοντας το άτομο του υδρογόνου με το μοντέλο πιθανοτήτων.....	49
4. Η Αναγκαιότητα.....	53
4.1 Γιατί να διδάξουμε κβαντική φυσική;.....	54
4.2 Η Πρόταση: τα Πρότυπα, η Μεθοδολογία, τα Μέσα.....	56
4.2.α Τα επιστημονικά / εκπαιδευτικά πρότυπα.....	56
4.2.β Η μεθοδολογία.....	56
4.2.γ Τα μέσα / το λογισμικό.....	56
4.3 Τα Καινοτομικά Χαρακτηριστικά.....	56
4.4 Οι Στόχοι.....	57

5 Σχεδίαση.....	58
5.1 Το φως .....	58
5.2 Το άτομο και η κβαντική θεωρία.....	60
5.3 Φάσματα .....	64
6. Επανασχεδίαση του λογισμικού.....	65
6.1 Στόχοι των ασκήσεων– Προτεινόμενες δραστηριότητες .....	66
6.2 Κύματα .....	69
6.3 Κυματοσωματιδιακή φύση του φωτός και ηλεκτρονίων .....	73
6.4 Φάσματα .....	74
6.5 Πρώιμα ατομικά μοντέλα .....	79
6.6 Το άτομο του υδρογόνου.....	82
6.7 Το ηλεκτρικό ρεύμα.....	84
7 Εφαρμογή .....	87
7.1 Η διαμορφωτική αξιολόγηση.....	87
7.1.α Η μέθοδος, η τεχνική, τα μέσα και τα υλικά .....	87
7.1.β Η διαδικασία .....	87
7.1.γ Το πλήθος, η δειγματοληψία, το δείγμα .....	88
7.2 Η εφαρμογή .....	88
8 Η αξιολόγηση.....	91
8.1 Ερευνητικά ερωτήματα .....	91
8.2 Η διαμορφωτική αξιολόγηση.....	91
8.2.α Η διαδικασία .....	91
8.2.β Το πλήθος, η δειγματοληψία, το δείγμα.....	92
8.2.γ Συμπεράσματα από τη διαμορφωτική αξιολόγηση.....	92
8.3 Αξιολόγηση .....	97
8.3.α Το πλήθος, η δειγματοληψία, το δείγμα .....	97
8.3.β.i Δυσισμός φωτός / ηλεκτρονίων.....	97
8.3.β.ii Φάσματα.....	114
8.3.β.iii Το άτομο του υδρογόνου .....	123
8.3.β.iv Το ηλεκτρικό ρεύμα .....	141
9 Συμπεράσματα .....	145
10 Συζήτηση - Προτάσεις.....	150
Βιβλιογραφία.....	152

## Εισαγωγή

Αν και στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα η επιστημονική κοινότητα διακατέχονταν από τη βεβαιότητα ότι πλέον η φυσική είχε θεμελιωθεί και δομηθεί πλήρως, φαινόμενα όπως η κατανομή του μέλανος σώματος και οι φασματικές γραμμές των αερίων επέβαλλαν τελικά την «εκ βάθρων» εννοιολογική αναδόμηση του κλασικού οικοδομήματος και το μετασχηματισμό του σε μία πληρέστερη θεωρία –την κβαντική φυσική–, που σε επίπεδο ερμηνείας βελτίωσε τη γνώση μας για τον φυσικό κόσμο και μετέβαλλε τον τρόπο θέασής του, οδηγώντας ταυτόχρονα στην εξέλιξη και άλλων επιστημονικών κλάδων όπως για παράδειγμα, της σύγχρονης χημείας ή της επιστήμης των υλικών καθώς και στην ανάπτυξη τεχνολογικών συσκευών άρρηκτα συνδεδεμένων με την καθημερινή ζωή του σύγχρονου ανθρώπου.

Η κβαντική φυσική, όμως, αγνοείται στη σχολική πραγματικότητα, με άμεση συνέπεια οι μαθητές –αυριανοί πολίτες– να μην ενημερώνονται για το σύγχρονο περιεχόμενο της επιστήμης. Είναι βέβαια κατανοητό ότι η εισαγωγή μίας νέας θεωρίας –από οποιοδήποτε πεδίο της επιστήμης και αν προέρχεται– σε κάποια βαθμίδα της εκπαίδευσης είναι αδύνατο να γίνει άμεσα, αφού καταρχάς απαιτείται αφενός μεν σε επιστημονικό επίπεδο η νέα θεωρία να εδραιωθεί –μέσα από μία συνεχή διαδικασία διάψευσης και επαλήθευσης–, αφετέρου δε σε εκπαιδευτικό επίπεδο απαιτεί τον κατάλληλο μετασχηματισμό της σε εκπαιδευτικό μοντέλο. Βέβαια όσον αφορά στην εκπαίδευση η εισαγωγή μίας νέας θεωρίας απαιτεί, έρευνα σχετικά με την ικανότητα ή τον τρόπο πρόσληψης από τους μαθητές των νέων ιδεών, αλλαγές στο αναλυτικό πρόγραμμα και την ανάπτυξη του κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού.

Μέχρι τώρα οι Έλληνες μαθητές μαθαίνουν τα πρώιμα στάδια της κβαντικής θεωρίας από τα οποία και πάλι δεν τονίζονται όσο θα έπρεπε έννοιες όπως η κβάντωση της ενέργειας αλλά αντιθέτως τονίζονται τα στοιχεία εκείνα που αντιστοιχούν σε έννοιες και μεγέθη της κλασικής φυσικής όπως για παράδειγμα η κεντρομόλος δύναμη στην περίπτωση του προτύπου του Bohr για το άτομο του υδρογόνου.

Αποτελεί δεδομένο ότι η πιθανοκρατική –έναντι της αιτιοκρατικής– λειτουργίας του μικροκόσμου, η δυϊδική αντιμετώπιση (σωματιδιακή, κυματική) των δομών και διαδικασιών του –έναντι της παραδοσιακής αντίληψης της τροχιάς των σωματιδίων– αλλά και η αβεβαιότητα / απροσδιοριστία –έναντι της σαφούς απεικόνισής τους– που επιβάλλουν οι αρχές της κβαντικής φυσικής, απαιτούν μια νέα εκπαιδευτική αντιμετώπιση. Είναι σαφές ότι η υστέρηση στην ενημέρωση των αναλυτικών προγραμμάτων της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες με τις αρχές και προσεγγίσεις της μετακλασικής φυσικής (σχετικότητα, κβαντική φυσική) οφείλεται ασφαλώς και στη δυσκολία εποπτείας των μικροσκοπικών δομών και διαδικασιών, όπως προτείνονται από τη μετακλασική φυσική (Kalkanis et al, 2001<sup>a</sup>), αλλά και στο γεγονός ότι η παραδοσιακή εκπαίδευση στην κβαντική φυσική δομείται σε ένα ισχυρό μαθηματικό περιβάλλον –κάτι που έχει αρνητικό αντίκτυπο και στους ίδιους τους φοιτητές φυσικής όπως

καταδεικνύει έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο του Sydney (Johnston, 1998)–, αφήνοντας μικρά περιθώρια στους μαθητές ή/και στους φοιτητές που δεν έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική για την κατανόηση των θεμελιωδών αρχών της.

Είναι φανερό ότι η όποια προσπάθεια εισαγωγής της κβαντικής φυσικής σε φοιτητές που έχουν χαμηλό υπόβαθρο –και συνεπώς γνώση– στα μαθηματικά ενώ ταυτόχρονα η φυσική δεν είναι το κύριο γνωστικό τους αντικείμενο, απαιτεί την κατάλληλη προσαρμογή των επιστημονικών μοντέλων της κβαντικής φυσικής με ταυτόχρονη χρήση των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ΤΠΕ) ώστε να προσομοιωθούν / οπτικοποιηθούν οι δομές του μικροκόσμου σύμφωνα με το κβαντικό μοντέλο, αλλά και κατάλληλων πειραμάτων –ακόμα και με απλά υλικά– που θα τονίσουν τα μακροσκοπικά φαινόμενα –όπως τα φάσματα– που έδωσαν στους επιστήμονες το έναυσμα για να εμβαθύνουν στο μικρόκοσμο.

Η παρούσα εργασία αφορά ακριβώς σε μια τέτοια προσπάθεια εισαγωγής θεματικών εννοιών της κβαντικής φυσικής σε φοιτητές που δεν έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μία συνοπτική αναφορά στην κβαντική θεωρία, εκκινώντας από το μέλαν σώμα και τις φασματικές γραμμές, για να ακολουθήσουν τα πρώιμα ατομικά μοντέλα, το πρότυπο του Bohr, η κυματική θεωρία του de Broglie, η εξίσωση του Schrödinger, ενώ γίνεται αναφορά και στην ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$ .

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας επιχειρείται η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά: στα σχολικά βιβλία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης σε θεματικές της σύγχρονης φυσικής και σε ερευνητικές προσπάθειες που σχετίζονται με τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής και σε τμήματα που δεν έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική. Η ανασκόπηση στην ελληνική σχολική βιβλιογραφία εύκολα μπορεί να καταδείξει την έλλειψη σε αναφορές, εννοιών που αφορούν στην κβαντική φυσική, ενώ οι μαθητές που επιλέγουν κατευθύνσεις άλλες από τη θετική δεν έρχονται σε επαφή με νεότερες απόψεις για το άτομο του υδρογόνου όταν το μοντέλο του Bohr –ή το απλό πλανητικό μοντέλο– κατέχει κυρίαρχη θέση στα βιβλία φυσικής και χημείας των υπόλοιπων σχολικών τάξεων.

Η έρευνα για την εισαγωγή εννοιών της κβαντικής φυσικής στην ύστερη δευτεροβάθμια ή σε τμήματα που δεν έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική αφορά είτε στην αναζήτηση των αντιλήψεων που έχουν οι μαθητές ή φοιτητές σε βασικές έννοιες ή φαινόμενα της κβαντικής φυσικής εξαιτίας της εκπαίδευσης που ήδη έχουν λάβει είτε και στην έρευνα για την ανάπτυξη αναλυτικών προγραμμάτων συνοδευμένων από το κατάλληλο εκπαιδευτικό υλικό για την εισαγωγή αυτών των εννοιών, αφού όμως προηγηθεί έρευνα για τις προαντιλήψεις των εκπαιδευομένων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις προσομοιώσεις και οπτικοποιήσεις ώστε να αιτιολογηθεί η χρήση των προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων και ιδιαίτερα η χρήση του προσομοιούμενου μοντέλου των πιθανοτήτων για το άτομο του υδρογόνου. Στο ίδιο κεφάλαιο

αναφέρεται αναλυτικά και η ανάπτυξη του τρόπου με τον οποίο δημιουργούνται τα δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα του ατόμου του υδρογόνου ώστε οι φοιτητές να αντιληφθούν τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Για την προσομοίωση / οπτικοποίηση του φαινομένου χρησιμοποιήθηκαν οι ακτινικές κατανομές πιθανότητας των κυματοσυναρτήσεων που προκύπτουν από τη λύση της εξίσωσης του Schrödinger για τις καταστάσεις 1s, 2s, 2p. Για την απεικόνιση του ηλεκτρονίου χρησιμοποιήθηκαν συναρτήσεις παραγωγής τυχαίων αριθμών. Για τη δημιουργία των μοντέλων χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα 3D studio max και ο κώδικας γράφθηκε σε γλώσσα Max Script που υποστηρίζεται από το εν λόγω πρόγραμμα και στηρίζεται στην C++.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αιτιολογείται η επιλογή της θεματικής. Η κβαντική φυσική αποτελεί θεμελιώδες κομμάτι της επιστήμης με εφαρμογή τόσο σε επίπεδο ερμηνείας φαινομένων όσο και σε επίπεδο τεχνολογικών επιτευγμάτων. Η κβαντική φυσική προβλέπει και εξηγεί τη συμπεριφορά των θεμελιωδών λίθων της ύλης –όχι μόνο των ατόμων, αλλά και των σωματιδίων που τα συγκροτούν. Μας οδηγεί σε μια σχεδόν πλήρη κατανόηση του τρόπου που τα υποατομικά σωματίδια αλληλεπιδρούν και συνδέονται για να σχηματίσουν τον κόσμο που βλέπουμε γύρω μας. Δίχως την κβαντική φυσική δε θα μπορούσαμε να κατανοήσουμε τη σύγχρονη χημεία ούτε την ηλεκτρονική ή την επιστήμη υλικών. Δε θα είχαμε ανακαλύψει το τσιπ πυριτίου ή το λέιζερ, δε θα είχαμε τηλεοράσεις, υπολογιστές, φούρνους μικροκυμάτων, διατάξεις αναπαραγωγής CD και DVD, κινητά τηλέφωνα... Τα μέχρι τώρα αναλυτικά προγράμματα παρέχουν στους μαθητές ένα γνωστικό πλαίσιο που προέρχεται από την Νευτώνεια μηχανική το οποίο μάλιστα σε κάθε περίπτωση παρουσιάζεται ως μη-προβληματικό και ισχυρό –παρότι γνωρίζουμε ότι είναι εννοιολογικά λανθασμένο, ενώ δεν μπορεί να ερμηνεύσει τις αρχές λειτουργίας ενός πλήθους σύγχρονων τεχνολογικών εφαρμογών

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στο υλικό που δομήθηκε για την διαμορφωτική αξιολόγηση. Το λογισμικό δομήθηκε με βάση τρεις θεματικές ενότητες: την κυματοσωματιδιακή φύση του φωτός, το άτομο σύμφωνα με την κβαντική θεωρία και τα φάσματα.

Ακολουθεί, στο έκτο κεφάλαιο η αναφορά στο υλικό που τελικά διαμορφώθηκε. Η διαμορφωτική αξιολόγηση κατέδειξε ότι θα έπρεπε στις θεματικές ενότητες όπως αυτές περιγράφηκαν παραπάνω να προστεθούν και νέες ενότητες. Κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2003-2004 στο υλικό που αναπτύχθηκε και εφαρμόσθηκε κατά το προηγούμενο ακαδημαϊκό έτος προστέθηκαν νέες θεματικές ενότητες που αφορούν στα μηχανικά κύματα (χαρακτηριστικά κύματος, διαμήκη και εγκάρσια κύματα, συμβολή κυμάτων, στάσιμα κύματα), περίθλαση φωτός και αναφορά στο ιστορικό πείραμα των δύο σχισμών με ηλεκτρόνια του Claus Jönsson. Σε ό,τι αφορά την εκπαιδευτική προσέγγιση, μεθοδολογικά, πραγματοποιείται παράλληλη εισαγωγή μοντέλων της κλασικής και μετακλασικής φυσικής, ώστε να υπάρξει μια πλήρη και σαφή διάκριση ανάμεσά τους, επιβάλλοντας μια αυστηρά καθορισμένη ερμηνεία των σχετικών εννοιών. Θεωρείται ότι η παράθεση μεταξύ των εννοιών



των δύο παραδειγμάτων, θα μπορούσε να προκαλέσει μια κατάσταση "κρίσης", παρόμοια με τις ιστορικές (κατά Κυηη) κρίσεις, ικανή να αποκαλύψει κάθε εννοιολογική σύγχυση, γεγονός που συνεπάγεται τη ριζική αναδόμηση της γνώσης από τους εκπαιδευόμενους.

Στο *έβδομο κεφάλαιο* γίνεται λεπτομερής αναφορά στην εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε. Το λογισμικό που αρχικά αναπτύχθηκε για τη διαμορφωτική αξιολόγηση εφαρμόστηκε σε φοιτητές δύο εργαστηρίων, οι οποίοι το ακαδημαϊκό έτος 2002-2003 ασκούσαν στο υποχρεωτικό εργαστηριακό μάθημα Φυσικής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Γ' έτους. Κατά τη διάρκεια του πρώτου εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2004-2005 ξεκίνησε η κύρια φάση αξιολόγησης του εκπαιδευτικού λογισμικού σε νέους φοιτητές τεσσάρων εργαστηριακών τμημάτων που ασκούσαν στο εν λόγω εργαστήριο .

Το *όγδοο κεφάλαιο* περιλαμβάνει την αξιολόγηση της πρότασης που προέκυψε από τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων πριν και μετά τη διδασκαλία –μία εβδομάδα μετά– καθώς και ενός ερωτηματολογίου που συμπληρώθηκε τρεις μήνες μετά το πέρας της διδασκαλίας που αφορούσε όλες τις θεματικές ενότητες. Για την ανάλυση των απαντήσεων ακολουθήθηκαν δύο προσεγγίσεις: μία ποιοτική ανάλυση που αναφέρεται ως φαινομενογραφική ανάλυση καθώς και μία ποσοτική που πραγματοποιήθηκε με χρήση του t-test. Για τον έλεγχο της επίδρασης των προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων τα τμήματα διακρίθηκαν σε ελέγχου και πειραματισμού. Και τα δύο τμήματα διδάχθηκαν την ίδια θεματική ενότητα ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία. Στο τμήμα πειραματισμού χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα προσομοίωσης / οπτικοποίησης για το άτομο του υδρογόνου ενώ στο τμήμα ελέγχου μόνο στατικές εικόνες και λεκτικές περιγραφές.

Στο *ένατο κεφάλαιο* ακολουθούν τα συμπεράσματα της πρότασης. Τα αρχικά ερωτηματολόγια ανέδειξαν το γεγονός ότι οι φοιτητές αντιμετωπίζουν τα φυσικά φαινόμενα ακολουθώντας έναν ντετερμινιστικό τρόπο σκέψης κάτι που είναι αντίθετο με την προσέγγιση της κβαντικής φυσικής ενώ ακόμη οι φοιτητές δεν είναι συνηθισμένοι να χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα για την περιγραφή φαινομένων, συγχέοντας ταυτόχρονα τα μοντέλα μεταξύ τους.

Τα αποτελέσματα της ερευνητικής μας προσπάθειας μπορούν να θεωρηθούν ενθαρρυντικά όχι μόνο αν κανείς δει τη διαφορά των συνολικών βαθμών ανάμεσα στα πριν και μετά τη διδασκαλία ερωτηματολόγια αλλά στο ότι οι βαθμοί μεταξύ των δύο ερωτηματολογίων μετά τη διδασκαλία (χρονικής διαφοράς τριών μηνών) ήταν περίπου ισοδύναμοι, δείχνοντας ότι η γνώση διατηρήθηκε. Πιστεύουμε ότι το υλικό που αναπτύξαμε για την εισαγωγή εννοιών της κβαντικής φυσικής σε φοιτητές που δεν έχουν ως κύριο γνωσιακό αντικείμενο τη φυσική μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση των εννοιών αυτών. Συνοψίζοντας τα κύρια χαρακτηριστικά της πρότασης αφορούν:

- στην παράλληλη εισαγωγή δύο ανεξάρτητων εννοιολογικών συστημάτων, για την κλασική και την κβαντική φυσική, με ταυτόχρονη ανάδειξη των ομοιοτήτων και των διαφορών τους

- στο ρόλο των προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων, που ήταν καταλυτικός για την παρέμβαση αφού, αφενός μεν, εκμηδένισε τη χρήση του μαθηματικού φορμαλισμού της κβαντικής φυσικής, αφετέρου δε, ώθησε τους φοιτητές που διδάχθηκαν με αυτές να κάνουν χρήση των κβαντικών μοντέλων σε μεγαλύτερο βαθμό από τους υπόλοιπους φοιτητές,
- στην εκπαιδευτική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, η οποία έδωσε τη δυνατότητα στους φοιτητές, οι ίδιοι να ανακαλύψουν –και σε κάποιες περιπτώσεις να αναδομήσουν– τη γνώση
- στην έμφαση στις αρχές της συμπληρωματικότητας και της απροσδιοριστίας, που αναδεικνύουν το γεγονός ότι (και) τα σωματίδια όπως και το φως έχουν κυματοσωματιδιακή συμπεριφορά καθώς και το ότι η πιθανοκρατία επικρατεί στον μικρόκοσμο
- στα πειράματα με απλά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τόνισαν τα μακροσκοπικά φαινόμενα –όπως τα φάσματα– που έδωσαν στους επιστήμονες το έναυσμα για να εμβαθύνουν στο μικρόκοσμο.

Το δέκατο κεφάλαιο αφορά και σε άλλες προτάσεις για τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής που ανέδειξε η βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπως για παράδειγμα την πλήρη εγκατάλειψη του κλασικού προτύπου και την εισαγωγή νέων όρων κατά τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής– όπως για παράδειγμα «κβαντόνια» ή «κβαντικά αντικείμενα» για το φως και τις οντότητες του μικροκόσμου ή την εισαγωγή του κβαντικού προτύπου με έμφαση στις τεχνολογικές εφαρμογές.

Τέλος το τελευταίο κεφάλαιο αφορά στη βιβλιογραφία, οποία διακρίνεται σε άρθρα περιοδικών και συνεδρίων καθώς και σε βιβλία σύγχρονης φυσικής.

Οι ανακοινώσεις, που αφορούν σε επιμέρους αποτελέσματα του σχεδιασμού, της υλοποίησης / εφαρμογής και αξιολόγησης έγιναν για τον συνεχή έλεγχο και ανάδραση των συμπερασμάτων και προτάσεων, είναι δε οι εξής:

“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, 2005, Barcelona, Spain

“Hands-on quantum physics — Introducing quantum principles to non-physics major's students”, HSci2005 - 2nd International Conference, Hands-on Science: Science in a changing Education, July, 2005 - University of Crete campus at Rethymno – Greece

“Εισαγωγή της έννοιας του κυματοσωματιδιακής φύσης του φωτός και των ηλεκτρονίων σε φοιτητές Παιδαγωγικού Τμήματος”, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη διδακτική των Φυσικών Επιστημών και τις νέες τεχνολογίες στην εκπαίδευση, Νοέμβριος 2004, Αθήνα

"Science Instruction with the use of Information Communication Technologies – Suggestions and Applications of Quantum Approaches", European Conference on Research in Science Education (E.S.E.R.A.) - Summerschool August, 2004, University of Duisburg-Essen

"Quantum Physics for all – Using ICT to experiment and simulate quantum principles", Girep, Ostrava, July 2004

"An introduction of microcosmos quantum model to students of limited mathematics and science background" , European Conference on Research in Science Education (E.S.E.R.A.) - 4th ESERA Conference, August 19 - 23, 2003, Noordwijkerhout, The Netherlands

"Απεικονίσεις των μοντέλων του ατόμου του Υδρογόνου στα σχολικά εγχειρίδια Φυσικής και Χημείας . Η συμβολή τους στη μη απόκτηση γνώσεων αναφορικά με τις μετακλασικές επιστημονικές προσεγγίσεις.", 10ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικής με θέμα «Εξελίξεις, τάσεις, επιτεύγματα και διδακτική της Φυσικής», Ιανουάριος 2004, Λουτράκι, Ελλάδα

Στο παράρτημα Α, επιλύονται τα ολοκληρώματα που αφορούν στο σύνολο των ακτινικών κατανομών πιθανότητας για τις καταστάσεις  $1s$ ,  $2s$ ,  $2p$ . Στο παράρτημα Β – Δ, περιλαμβάνονται τα ερωτηματολόγια, τα φύλλα εργασίας, η θεωρία και οι ερωτήσεις των εργασιών ανά θεματική ενότητα. Τέλος στο τελευταίο παράρτημα υπάρχουν ιστοσελίδες με προγράμματα προσομοίωσης / οπτικοποίησης για το άτομο του υδρογόνου.

## 1. Η κβαντική θεωρία

### 1.1 Το ά-τομο που τέμνεται και η δομή του

Οι τρεις πρώτες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα χαρακτηρίστηκαν από τη γέννηση και τη διαμόρφωση δύο θεωριών (της σχετικότητας και της κβαντικής φυσικής) που συγκλόνισαν την επιστήμη της Φυσικής και άλλαξαν θεμελιακά τη ζωή όλων μας.

Είναι γεγονός ότι οι φυσικοί στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα θεωρούσαν ότι είχαν αναπτύξει ένα τέλειο λογικό-μαθηματικό οικοδόμημα με όλους τους νόμους της φύσης να έχουν βρει τη θέση τους. Ο Kelvin, μάλιστα, γύρω στα 1900 διατύπωνε την άποψη ότι η φυσική είχε πια λύσει τα θεμελιακά προβλήματα και αρκούσε η απλή εφαρμογή των διατυπωμένων γενικών νόμων για την κατανόηση της φύσης. Να όμως που τα μέχρι τότε ανεξήγητα φαινόμενα της κατανομής του μέλανος σώματος και οι φασματικές γραμμές επέβαλλαν την «εκ βάθρων» εννοιολογική αναδόμηση του κλασικού οικοδομήματος της φυσικής που έμοιαζε τότε τόσο τελεσίδικο (Οικονόμου, 2000).

Στα 1897 ο J. J. Thomson ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο και υπολόγισε το πηλίκο  $e/m$ . Το μέχρι τότε θεωρούμενο ά-τομο διαπιστώθηκε ότι διασπάται και τώρα πια θα έπρεπε να διαπιστωθεί ο τρόπος δόμησής του. Στα 1898 ο J. J. Thomson πρότεινε ένα μοντέλο για το άτομο –γνωστό ως πρότυπο «σταφιδόψωμο»– σύμφωνα με το οποίο, το άτομο αποτελείται από μια σφαίρα θετικού φορτίου, ομοιόμορφα κατανεμημένου, μέσα στο οποίο είναι ενσωματωμένα τα ηλεκτρόνια, όπως οι σταφίδες μέσα σε ένα σφαιρικό σταφιδόψωμο.

Ο Ernest Rutherford, το 1910, πειραματιζόμενος με την ομάδα του προσπάθησε να ανιχνεύσει το εσωτερικό του ατόμου. Τα πειράματα σκέδασης που πραγματοποίησε έδειξαν ότι θετικό φορτίο είναι συγκεντρωμένο σε ένα μικρό χώρο, τον οποίο ονόμασε πυρήνα. Το ποσοστό του χώρου που αυτός καταλαμβάνει είναι ίσο με το 99,5% της ολικής μάζας του ατόμου. Τα ηλεκτρόνια κινούνται στον υπόλοιπο χώρο. Αυτό όμως, δημιουργεί ορισμένα προβλήματα. Τα ηλεκτρόνια είναι αρνητικά φορτισμένα θα έπρεπε λοιπόν να έλκονται από το θετικά φορτισμένο πυρήνα. Ο Rutherford, για να λύσει το πρόβλημα υπέθεσε ότι τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα σε τροχιές, όπως ακριβώς συμβαίνει με τους πλανήτες. Σε αυτή όμως την περίπτωση θα έπρεπε η τροχιά να μην είναι συνεχής, αφού το ηλεκτρόνιο χάνοντας ενέργεια –μιας και σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία κάθε επιταχυνόμενο σωματίδιο εκπέμπει ενέργεια–, θα έπρεπε τελικά να πέφτει πάνω στον πυρήνα (Young, 1992).

Πολύ σύντομα, το 1913, ο Bohr πρότεινε ένα μηχανικό πρότυπο του ατόμου του υδρογόνου, στο οποίο το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινείται σε ευσταθείς τροχιές, συγκεκριμένης ενέργειας, χωρίς όμως να ακτινοβολεί ενέργεια, παρά μόνο όταν μετακινείται από μία τροχιά σε μια άλλη. Οι τροχιές αυτές θα έπρεπε να είναι ελλείψεις, αφού οι τροχιές των υλικών σημείων που έλκονται από μια δύναμη η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της

απόστασης των υλικών σημείων από κάποιο σταθερό ελκτικό κέντρο όπως π.χ. οι τροχιές των πλανητών, είναι ελλείψεις και το σταθερό κέντρο βρίσκεται σε μια εστία τους (Segré, 1997).

Για τον προσδιορισμό των ακτίνων των «επιτρεπόμενων» τροχιών ο Bohr έθεσε –κάτι που προκύπτει από τον τύπο του Balmer για τις παρατηρούμενες φασματικές σειρές– ότι η στροφορμή του ηλεκτρονίου πρέπει να είναι ίση με ένα ακέραιο πολλαπλάσιο του  $h/2\pi$ . Έτσι η συνθήκη του Bohr μπορεί να διατυπωθεί ως:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi},$$

όπου  $n = 1, 2, 3, \dots$ . Κάθε τιμή του  $n$  αντιστοιχεί σε μια επιτρεπόμενη τιμή της ακτίνας της τροχιάς. Η τιμή αυτή του  $n$  για κάθε τροχιά ονομάζεται *τροχιακός κβαντικός αριθμός*.

Το μοντέλο του Bohr εξήγησε ικανοποιητικά τη δομή του απλούστερου ατόμου, του υδρογόνου, που έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα. Δεν φαινόταν όμως πως θα μπορούσε κανείς να το γενικεύσει στις περιπτώσεις των πιο σύνθετων ατόμων. Επιπλέον, η ιδέα ενός περιορισμένου συνόλου επιτρεπόμενων τροχιών έμοιαζε πολύ αυθαίρετη.

### **1.2 Μια νέα θεωρία γεννιέται – Κύματα ύλης**

Μια βασική πρόοδος στην κατανόηση της ατομικής δομής έγινε από έναν Γάλλο φυσικό τον Luis de Broglie. Η φύση προτιμά τη συμμετρία. Το φως έχει δυϊκή φύση, συμπεριφερόμενο άλλοτε ως σωματίδιο και άλλοτε ως κύμα. Εάν η φύση παρουσιάζει συμμετρία, αυτός ο δυϊσμός θα ισχύει και για την ύλη, οπότε τα σωματίδια θα πρέπει να συμπεριφέρονται και ως κύματα (Young, 1992). Ο Broglie υπολόγισε το μήκος κύματος και την ενέργεια του ηλεκτρονίου, που δίνονται από τις σχέσεις:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mu}$$

$$E = hf.$$

Συνεπώς η σχέση του μήκους κύματος προς την ορμή και η σχέση της συχνότητας προς την ενέργεια είναι ακριβώς ίδια για τα ηλεκτρόνια όπως και για τα φωτόνια.

Η μεγάλη οξυδέρκεια του de Broglie έγκειται στο ότι είδε καθαρά ότι οι κυματικές θεωρίες της ύλης αντιμετωπίζουν μέσω της συμβολής προβλήματα, όπως το ότι επιτρέπονται μόνο ορισμένες τιμές ενέργειας κατά την περιφορά των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα ή το ότι όλα τα άτομα ενός συγκεκριμένου στοιχείου έχουν πάντα τις ίδιες φυσικές ιδιότητες.

Ο de Broglie θεώρησε το ηλεκτρόνιο ως ένα κύμα που διαδίδεται κυκλικά σε μια από τις τροχιές του Bohr. Για να διατηρείται στάσιμο το κύμα πρέπει να συναντά τον εαυτό του ομαλά, δηλαδή πρέπει η περιφέρεια του κύκλου να περιέχει κάποιον ακέραιο αριθμό μηκών κύματος. Για τροχιά ακτίνας  $r$  και περιφέρειας  $2\pi r$ , πρέπει να έχουμε  $2\pi r = n\lambda$ , όπου  $n=1,2,3,\dots$ . Σύμφωνα με τη σχέση του de Broglie, το μήκος κύματος  $\lambda$  ενός σωματιδίου με μάζα  $m$ , που κινείται με ταχύτητα  $u$ , είναι  $\lambda = h / mu$ . Συνδυάζοντας αυτές τις δύο εξισώσεις, βρίσκουμε:

$$2\pi r = n \frac{h}{mu}, \quad \text{και} \quad mur = n \frac{h}{2\pi}.$$

Η τελευταία εξίσωση είναι πανομοιότυπη με τη συνθήκη του Bohr για την κβάντωση της στροφορμής.

Η πλήρης σχεδόν αποτυχία στην κατανόηση της ατομικής δομής, υπέδειξε πως χρειαζόταν μία επανάσταση στην κατανόηση της ατομικής δομής. Η αρχή της επανάστασης αυτής ήταν η υπόθεση του Broglie. Μέσα σε λίγα χρόνια μετά το 1924, οι Heisenberg, Schrödinger, Born και πολλοί άλλοι ανέπτυξαν σε λεπτομερή θεωρία αυτό που ονομάζουμε κβαντική φυσική.

### 1.3 Κυματική εξίσωση για σωματίδια

Ο Schrödinger εντυπωσιασμένος από τις ιδέες του Broglie προσπάθησε να τις αναπτύξει στο επίπεδο μιας πραγματικής κυματικής θεωρίας. Στις αρχές του 1926 διατύπωσε την περίφημη εξίσωσή του, που αποτελεί την τυπική μορφή εξίσωσης όλων των κυματικών κινήσεων. Η μορφή της είναι:

$$\nabla^2 \varphi(x, y, z) + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \{E - U(x, y, z)\} \varphi(x, y, z) = 0.$$

Ο τελεστής  $\nabla^2 \varphi(x, y, z)$  είναι ο τελεστής Laplace,  $E$  είναι η ενέργεια του συστήματος και  $U(x, y, z)$  είναι η δυναμική ενέργεια όπου για παράδειγμα στο άτομο του υδρογόνου δίνεται από τη σχέση  $U(x, y, z) = ze^2/r$ .

Η εξίσωση του Schrödinger έχει αποδεκτές λύσεις στην περίπτωση εκείνη που ικανοποιείται η συνθήκη το ολοκλήρωμα  $\int |\varphi(x, y, z)|^2 dx dy dz$  να είναι πεπερασμένο για ορισμένες τιμές της ενέργειας  $E$ , που ονομάζονται ιδιοτιμές και το σύνολό τους συγκροτεί ένα φάσμα (Segré, 1997). Οι λύσεις αυτές έχουν κβαντωμένες τιμές τροχιακής στροφορμής. Και εδώ ακριβώς συναντάται η σημαντική διαφορά σε σχέση με το μοντέλο του Bohr. Οι συνθήκες κβάντωσης δεν προκύπτουν ως κάποια ξεχωριστή / αυθαίρετη υπόθεση.

#### 1.4 Ερμηνεύοντας τη συνάρτηση Ψ

Αν και η κβαντική φυσική χρειάστηκε περίπου 30 χρόνια για να εξελιχθεί σε μία λεπτομερή θεωρία –συμπεριλαμβάνοντας τον μαθηματικό φορμαλισμό– για πολλά χρόνια υπήρξε διαμάχη για την ερμηνεία της κυματοσυνάρτησης Ψ.

Η κυματοσυνάρτηση προκύπτει ως λύση της εξίσωσης του Schrödinger και είναι μια μιγαδική συνάρτηση. Στα 1927 ο Born έδωσε την ερμηνεία που αποτελεί κεντρική ιδέα της σχολής της Κοπεγχάγης. Αρχικά θεωρήθηκε ότι το τετράγωνο του μέτρου του μιγαδικού αριθμού ψ αντιστοιχούσε στην πυκνότητα του ηλεκτρικού φορτίου. Ο Born, όμως την ερμήνευσε ως πυκνότητα πιθανότητας. Έτσι το  $|\varphi(x, y, z)|^2$  εκφράζει την πιθανότητα να βρεθεί ένα σωματίο σε έναν στοιχειώδη όγκο  $dV$  οι συντεταγμένες του οποίου είναι  $(x, y, z)$ . Η πιθανοκρατική αυτή ερμηνεία του Born δηλώνει ότι είναι αδύνατον να ξέρουμε από πριν το αποτέλεσμα μίας μέτρησης. Το μόνο που μπορούμε να ξέρουμε είναι η πιθανότητα να βρούμε, για παράδειγμα, το σωματίο σε ορισμένη θέση –πιθανότητα που είναι ίση με το αντίστοιχο  $\Psi^2$ . Με άλλα λόγια δεν είναι το ίδιο το σωματίο που είναι συνεχώς κατανεμημένο στο χώρο σύμφωνα με την κυματοσυνάρτηση Ψ αλλά η πιθανότητα να το βρούμε εδώ ή εκεί. Συνεπώς το σωματίο είναι αδιαίρετο και ενιαίο, όπως περιμένει κανείς από ένα σωματίο, αλλά ταυτόχρονα του αποδίδονται και κυματικές ιδιότητες, όπως επιβάλλει το πείραμα (Οικονόμου, 2000 σελ 192).

Η έννοια της πιθανότητας δεν ήταν η πρώτη φορά που εισήχθηκε στη φυσική. Ήδη από το 1860 οι Boltzmann και Maxwell είχαν αναπτύξει την στατιστική μηχανική. Μόνο που η στατιστική μηχανική δεν περιείχε τίποτα συνταρακτικό από πλευράς φιλοσοφίας (Ταμπάκης, 2003), αφού απλώς αυτή η θεωρία υποδεικνύει μεθόδους με τις οποίες μπορούμε όταν μελετάμε ένα πολύπλοκο φυσικό σύστημα, όπως ένα αέριο, να υπολογίσουμε τη στατιστική κατανομή διαφόρων χαρακτηριστικών μακροσκοπικών μεγεθών, όπως τη θερμοκρασία, την πίεση κ.λ.π. Η έννοια της πιθανότητας εδώ αφορά στην αδυναμία των μεθόδων μας ή διαφορετικά στην *αβεβαιότητα* που υπεισέρχεται κατά τη διαδικασία της μέτρησης από πλευράς επιστήμης ή τεχνολογίας, για τον ακριβή προσδιορισμό κάποιου μεγέθους.

Αντίθετα στην περίπτωση της κβαντικής φυσικής η πιθανότητα με την οποία χαρακτηρίζεται κάθε μας μέτρηση ή διαφορετικά η *απροσδιοριστία* που παρατηρείται στον μικρόκοσμο δεν αφορά σε αδυναμία της επιστήμης ή της τεχνολογίας αλλά –σύμφωνα με τη σχολή της Κοπεγχάγης– στο γεγονός ότι κάποιο μέγεθος δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς γιατί τέτοια είναι η φύση του. Με αυτόν όμως τον τρόπο απορρίπτεται και καταργείται η αιτιοκρατία, σύμφωνα με την οποία ίδια αίτια οδηγούν στα ίδια αποτελέσματα. Με άλλα λόγια η μέτρηση μιας ιδιότητας του σωματιδίου είναι δυνατό να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα κάτι βέβαια που έρχεται σε άμεση ρήξη με την κλασική φυσική. Αυτός ο αντικλασικός χαρακτήρας της κβαντικής φυσικής περιγράφεται από μια αρχή, την *αρχή της απροσδιοριστίας*, που διατύπωσε ο Heisenberg, και που στην πιο διαδεδομένη της μορφή αναφέρει ότι δεν υπάρχει

πείραμα στο οποίο να προσδιορίσουμε με απόλυτη ακρίβεια τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματίου συγχρόνως.

### **1.5 Αιτιοκρατία και κβαντική φυσική**

Είναι γεγονός ότι η σχολή της Κοπεγχάγης μας έδωσε για το μικρόκοσμο μια εικόνα πιθανοκρατική που βρίσκεται όμως πέρα από την καθημερινή εμπειρία μας –μια εμπειρία που είναι αιτιοκρατική και υπακούει στους νόμους της κλασικής στατιστικής και μηχανικής, όπως βέβαια τροποποιήθηκε από τη θεωρία της σχετικότητας. Ήδη από το 1930 έγιναν προσπάθειες για την κατάρριψη της νέας θεωρίας και με την διατύπωση παραδόξων ή την υπαγωγή της σε αρχές που θα μπορούσαν αιτιοκρατικά να εξηγήσουν το μικρόκοσμο. Μετά το 1950 η αναζήτηση «κρυμμένων μεταβλητών» οδηγεί στην εξήγηση κάποιων πειραμάτων, όχι όμως όλων. Έτσι παρά τους κόπους πολλών θεωρητικών φυσικών, οι απόψεις της σχολής της Κοπεγχάγης κυριαρχούν και οι οπαδοί της ξεπερνούν τα διάφορα παράδοξα που οι «αντίπαλοί» τους επινοούν μέχρι και σήμερα.

Αν όμως, τελικά, ο κόσμος στον οποίο ζούμε στηρίζεται σε δομές που λειτουργούν πιθανοκρατικά, τότε για να τον κατανοήσουμε θα πρέπει να μεταβάλλουμε τον τρόπο σκέψης μας. Κάτι τέτοιο μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσα από την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες (Mashadi, 1996), αφού ένας πρωταρχικός στόχος της είναι να βοηθήσει τους μαθητές στην κατανόηση του κόσμου με βάση τις σύγχρονες επιστημονικές απόψεις. Η διδασκαλία της κβαντικής φυσικής, που σχετίζεται και με τα επιτεύγματα του 20<sup>ου</sup> αιώνα αποτελεί πρόκληση για την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες (Mashadi, 1996).

Η κβαντική φυσική είναι εκείνη η επιστημονική θεωρία που εξηγεί με τον επαρκέστερο τρόπο τα φυσικά φαινόμενα. Παρόλα αυτά η εξήγηση των φυσικών φαινομένων και συνεπώς η κατανόηση της φύσης μέσα από τα σχολικά αναλυτικά προγράμματα πραγματοποιείται μέσα από τη διδασκαλία της νευτώνειας μηχανικής. Ο Dobson (1985) σημειώνει ότι τα αναλυτικά προγράμματα που σχετίζονται με τις φυσικές επιστήμες δεν αναφέρονται στα εννοιολογικά επιτεύγματα της φυσικής του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Από την πλευρά του, μάλιστα, προτείνει ότι δεν είναι αρκετό να περιληφθούν απλά και μόνο οι αρχές της νέας φυσικής σε ένα σχολικό αναλυτικό πρόγραμμα αλλά θα πρέπει οι μαθητές να βοηθηθούν ώστε να κατανοήσουν τον νέο τρόπο σκέψης και άρα τον νέο τρόπο θέασης του κόσμου που η κβαντική θεωρία επιβάλλει.

Είναι απαραίτητο να αναφέρουμε ότι ο όρος «κόσμος» δεν περιλαμβάνει μόνο οριζόντια ή κεκλιμένα χωρίς τριβές επίπεδα, αντιστάτες, ιδανικές πηγές, αβαρή ελατήρια αλλά και τεχνολογικές εφαρμογές που στηρίζονται στην κβαντική φυσική, μικροσκοπικές δομές που εγγενώς είναι απροσδιόριστες αλλά και εμάς τους ίδιους με την απρόβλεπτη συμπεριφορά μας, που καθορίζεται από έναν εγκέφαλο που λειτουργεί κβαντομηχανικά.



Ποιες όμως είναι οι διαφορές μεταξύ της μηχανιστικής και της κβαντικής άποψης για τον κόσμο; Η μηχανιστική άποψη αποτελεί την πιο διάχυτη άποψη για τον κόσμο και έφθασε στο σημείο να θεωρείται ως η οπτική γωνία της «κοινής λογικής» ενώ συνήθως παρουσιάζεται ως ο μοναδικός τρόπος για την κατανόηση του κόσμου. Η μηχανιστική άποψη για τον κόσμο αποτελεί μία δυτική δομή που αναπτύχθηκε ανάμεσα στον 16<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> αιώνα. Αναδύθηκε από την επιτυχία της κλασικής ή νευτωνικής φυσικής που ξεπέρασε την αριστοτέλεια άποψη που έδειχνε τον κόσμο ως έναν οργανισμό και χρησιμοποιούσε εξηγητικές κατηγορίες παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνταν για την κατανόηση των έμβιων οργανισμών (Sharin, 2003 σελ 57).

Το μοντέλο που επέλεξαν οι νεότεροι φυσικοί φιλόσοφοι –από τον 16<sup>ο</sup> αιώνα και μετά– απέδιδε ρητά στη φύση τα χαρακτηριστικά μιας μηχανής. Οι μηχανές (Sharin, 2003, σελ 62) είχαν εν γένει μια καθορισμένη δομή: τα υλικά και οι κινήσεις που απαιτούνταν για την κατασκευή και τη λειτουργία τους ήταν γνωστά στους ανθρώπους και εξαρχής προδιαγεγραμμένα. Με άλλα λόγια, οι μηχανές θεωρούνταν εξολοκλήρου κατανοητές, παρέχοντας ταυτόχρονα ένα μοντέλο για τη μορφή και την έκταση που θα έπρεπε να έχει η ανθρώπινη γνώση για τη φύση. Η φύση αποτελεί μια μηχανή στην οποία οι άνθρωποι προσέχουν την ομοιομορφία των κινήσεών της και όχι τις τυχαίες ανωμαλίες, που μπορούν να παρατηρηθούν ακόμα και στην καλύτερη μηχανή. Η φύση ερμηνεύεται σαν μια μηχανή με καθορισμένες αιτίες.

Το 1687 ο Νεύτων δημοσίευσε το έργο του Μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας μέσα από το οποίο αναδεικνύεται η άποψη ότι η μηχανή του κόσμου ακολουθεί νόμους που έχουν μαθηματική μορφή και μπορούν να εκφραστούν στη γλώσσα των μαθηματικών. Τα μαθηματικά και ο μηχανικισμός συγχωνεύτηκαν σε έναν νέο ορισμό της ορθής φυσικής φιλοσοφίας (Sharin, 2003 σελ.87).

Υπάρχουν δύο σημαντικά χαρακτηριστικά της νευτώνειας μηχανικής:

α) τα αντικείμενα του κόσμου, κινούνται στον *απόλυτο χώρο* και στον *απόλυτο χρόνο*, είναι μικρά, στερεά αντικείμενα που διατηρούν το σχήμα και τη μάζα τους.

β) ο αυστηρός *ντεντερμινισμός*. Η μελλοντική διαδρομή ενός κινούμενου σώματος (ενός πλανήτη για παράδειγμα) μπορεί με απόλυτη ακρίβεια να προβλεφθεί καθώς και να περιγραφεί η προηγούμενη διαδρομή του αν γνωρίζουμε την παρούσα κατάστασή του με όλες τις λεπτομέρειες.

Δύο είναι τα χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν την κβαντική από την κλασική θεωρία. Το πρώτο, η έννοια της *κβάντωσης* –δηλαδή το ότι οι φυσικές ποσότητες δεν μπορούν να λάβουν ένα συνεχές σύνολο τιμών, παρά μόνο διακριτές τιμές. Το δεύτερο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το ότι δεν μπορεί να προβλεφθεί το αποτέλεσμα μίας ανεξάρτητης μέτρησης. Το 1925 – 26 είχε διατυπωθεί από τους Heisenberg και Schrödinger ο πλήρης μαθηματικός φορμαλισμός της μη σχετικιστικής κβαντικής θεωρίας. Χρησιμοποιώντας αυτόν τον

μαθηματικό φορμαλισμό ερμηνεύθηκαν ένα πλήθος από φαινόμενα της ατομικής φυσικής, της βιολογίας, της χημείας, της φυσικής στερεάς κατάστασης.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα λέγαμε ότι στοιχεία κλειδιά της μηχανιστικής θέασης του κόσμου είναι έννοιες όπως, αιτιοκρατικός και απόλυτος ενώ αντίστοιχα για την κβαντική θέαση του κόσμου έννοιες όπως σχετικός, και πιθανοκρατικός (Mashadi 1997; Lathi, 1990). Οι δύο απόψεις για την κατανόηση του κόσμου είναι διαφορετικές υπό την έννοια ότι η μηχανιστική θέαση βρίσκεται πιο κοντά σε έναν κόσμο προβλέψιμο ενώ η κβαντική σε έναν κόσμο πιθανοκρατικό.

## 2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 2.1 Ανασκόπηση σχολικής ελληνικής βιβλιογραφίας

Η ανασκόπηση στην ελληνική σχολική βιβλιογραφία εύκολα μπορεί να καταδείξει την έλλειψη σε αναφορές, στα σχολικά εγχειρίδια, εννοιών που αφορούν στη μετακλασική φυσική (σχετικότητα και κβαντική φυσική). Εξαιρέσεις αποτελούν τα σχολικά εγχειρίδια:

α) της Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου (Ιωάννου Α. κ.α., 1999), όπου τα δύο τελευταία κεφάλαια του βιβλίου είναι αφιερωμένα στη θεωρία της σχετικότητας και στην κβαντομηχανική. Κανένα από τα δύο κεφάλαια δεν αποτελεί μέρος της διδακτέας ύλης.

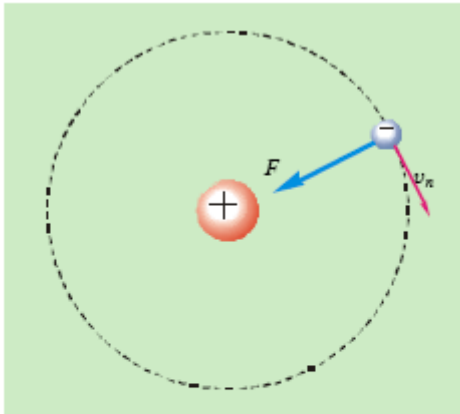
β) της Χημείας Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου (Λιοδάκης Σ. κ.α., 1999), όπου το άτομο περιγράφεται με χρήση του κβαντικού μοντέλου.

#### 2.1.α Φυσική

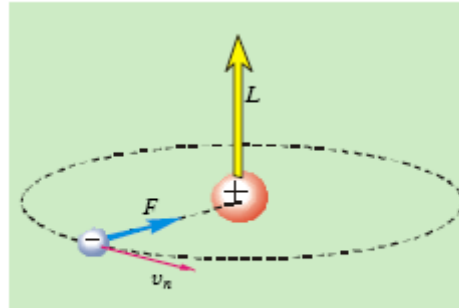
Στο βιβλίο *Φυσικής Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης* (Ιωάννου Α. κ.α., 1999) το τελευταίο κεφάλαιο με τίτλο «Στοιχεία κβαντομηχανικής» αποτελεί μία εισαγωγική ενότητα κβαντικής φυσικής. Η αναφορά ξεκινάει από την ακτινοβολία του μέλανος σώματος για να ακολουθήσουν το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και το φαινόμενο Compton. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στην κυματική φύση της ύλης όπου συμπεριλαμβάνεται και η περίπτωση των ηλεκτρονίων. Ακολουθεί η ενότητα της αρχής της αβεβαιότητας με αναφορά στην έννοια του κυματοπακέτου. Η επόμενη ενότητα αφορά στην εξίσωσή του Schrödinger για την οποία δίνεται και η μαθηματική της έκφραση καθώς και η ερμηνεία του Max Born, «που πρότεινε να ερμηνεύσουμε το τετράγωνο του μέτρου της κυματοσυνάρτησης σαν την πιθανότητα θέσης ανά μονάδα όγκου». Ακολουθούν ενότητες που αφορούν σε σωματίο παγιδευμένο σε πηγάδι δυναμικού και στο φαινόμενο της σήραγγας. Στο κεφάλαιο αυτό δεν επιλύεται η εξίσωση του Schrödinger για την περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου και δε γίνεται αναφορά στα τροχιακά.

Στο βιβλίο *Φυσικής Γενικής Παιδείας* (Γεωργακάκος Π. κ.α., 2002) οι μαθητές διδάσκονται για την κυματική και σωματιδιακή φύση του φωτός, χωρίς όμως να γίνεται αναφορά στη φύση και των υποατομικών σωματιδίων (π.χ. ηλεκτρονίων), ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στο πρότυπο του Bohr.

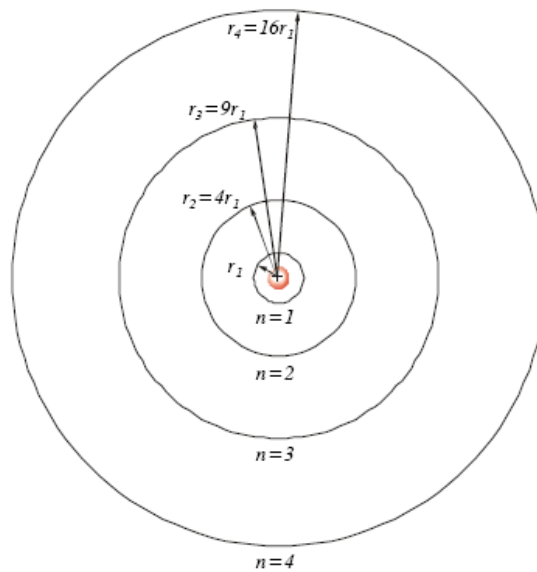
Αναλυτικότερα στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αρχικά δίνονται οι παραδοχές του Bohr, οι οποίες απέτελεσαν εξηγήσεις των ερωτημάτων αναφορικά με την εκπομπή ορισμένων μηκών κύματος από το υδρογόνο και την απορρόφηση από αυτό μόνο των μηκών κύματος που εκπέμπει. Στη συνέχεια υπολογίζονται με βάση αυτό το πρότυπο η ολική ενέργεια του ηλεκτρονίου, οι επιτρεπόμενες τροχιές και οι τιμές της ενέργειας και περιλαμβάνονται σχήματα στα οποία εμφανίζεται το άτομο του υδρογόνου και η συνθήκη του Bohr για τη στροφορμή (εικόνα 2.1).



2-14 Άτομο του υδρογόνου. Το πρωτόνιο θεωρείται ακίνητο. Η δύναμη Coulomb  $F$  προκαλεί την απαιτούμενη κεντρομόλο επιτάχυνση. Το ηλεκτρόνιο λοιπόν περιφέρεται με ταχύτητα  $v_n$  σε επιτρεπόμενη τροχιά ακτίνας  $r_n$  ώστε να ισχύει:  $m \delta r = n \hbar$



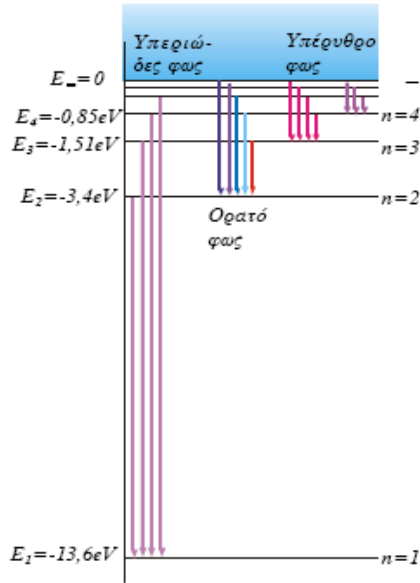
2-14a Το διάνυσμα της στροφομής  $L$  του ηλεκτρονίου στο πρότυπο του Bohr.



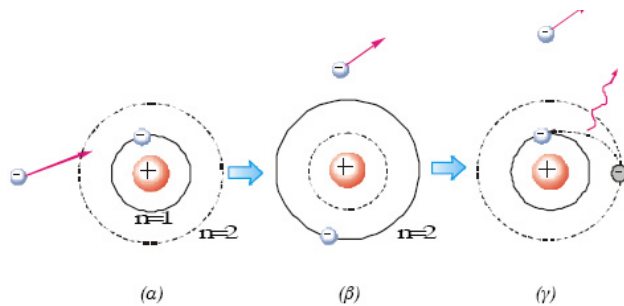
2-15 Επιτρεπόμενες τροχιές του ηλεκτρονίου στο πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου.

εικόνα 2.1: Σχήματα στα οποία εμφανίζεται το άτομο του υδρογόνου και η συνθήκη του Bohr για τη στροφορμή

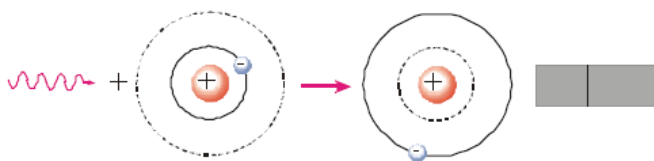
Ακολουθεί η περιγραφή ενός διαγράμματος ενεργειακών σταθμών και οι μηχανισμοί παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων (εικόνα 2.2.a και 2.2.B).



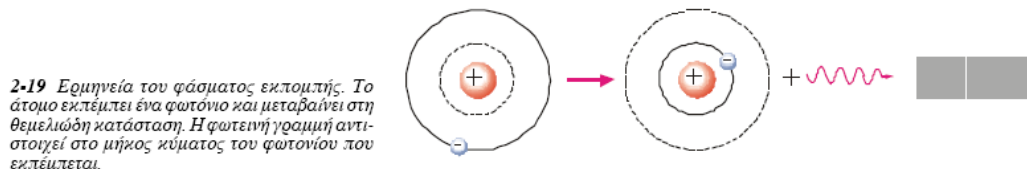
εικόνα 2.2.α : Σχήμα στο οποίο εμφανίζεται διάγραμμα ενεργειακών σταθμών του ατόμου του υδρογόνου. Για την περιγραφή των μηχανισμών παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων περιλαμβάνονται εικόνες όπου για το άτομο χρησιμοποιείται το μοντέλο του Bohr.



**2-17** (α) Το άτομο του υδρογόνου στη θεμελιώδη κατάσταση πριν από την κρούση με το ηλεκτρόνιο.  
(β) Το άτομο σε διεγερμένη κατάσταση.  
(γ) Το άτομο επανέρχεται στη θεμελιώδη κατάσταση εκπέμποντας ένα φωτόνιο.



**2-18** Ερμηνεία του φάσματος απορρόφησης. Το άτομο απορροφά ένα φωτόνιο και μεταβαίνει από τη θεμελιώδη κατάσταση στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση. Η σκοτεινή γραμμή του φάσματος απορρόφησης αντιστοιχεί στο μήκος κύματος του φωτονίου που απορροφήθηκε.



**2-19** Ερμηνεία του φάσματος εκπομπής. Το άτομο εκπέμπει ένα φωτόνιο και μεταβαίνει στη θεμελιώδη κατάσταση. Η φωτεινή γραμμή αντιστοιχεί στο μήκος κύματος του φωτονίου που εκπέμπεται.

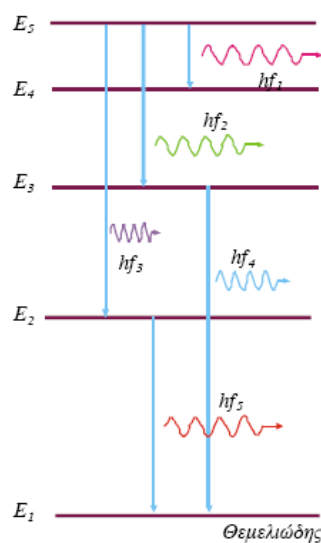
εικόνα 2.2.β Σχήματα στα οποία ερμηνεύονται οι διαδικασίες παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων

Στο τέλος αυτής της ενότητας γίνεται αναφορά σχετικά με την επιτυχία και την αποτυχία του προτύπου του Bohr για την ερμηνεία του γραμμικού φάσματος του υδρογόνου και τη μη δυνατότητα στην ερμηνεία του φάσματος ατόμων που έχουν περισσότερα ηλεκτρόνια.

Στην τελευταία πρόταση αυτής της ενότητας αναφέρεται ότι η κβαντική μηχανική «περιγράφει με επιτυχία τα φαινόμενα που αναφέρονται στα σωματίδια του μικρόκοσμου και στο φως».

Στο τρίτο κεφάλαιο όπου αναφέρονται πυρηνικά φαινόμενα δεν γίνεται αναφορά για την περίπτωση της α-ακτινοβολίας στο φαινόμενο σήραγγας.

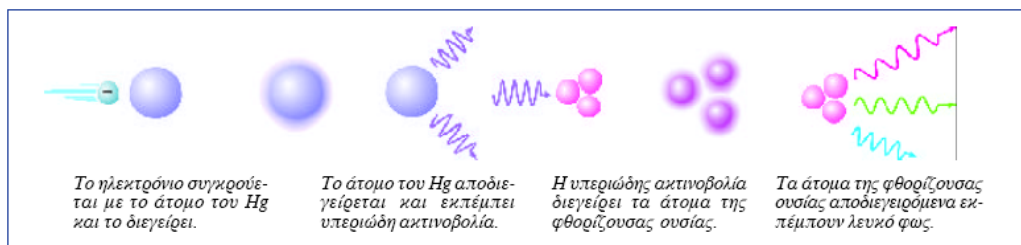
Στο τελευταίο κεφάλαιο για την ερμηνεία της λειτουργίας ενός λαμπτήρα βολφραμίου με βάση την διέγερση και αποδιέγερση ενός ατόμου χρησιμοποιείται το διάγραμμα ενεργειακών σταθμών (εικόνα 2. 3).



4-4 Η αποδιέγερση των ατόμων βολφραμίου σε ένα λαμπτήρα πυρακτώσεως γίνεται με τυχαίο τρόπο.

εικόνα 2.3: Μηχανισμός λειτουργίας λαμπτήρα με βάση διάγραμμα ενεργειακών σταθμών

Τέλος στην περίπτωση της παραγωγής φωτός στους λαμπτήρες φθορισμού η διέγερση του ατόμου εμφανίζεται με ένα «νέφος» γύρω από το άτομο (εικόνα 2.4).



4-9 Διαδικασία παραγωγής φωτός στους λαμπτήρες φθορισμού.

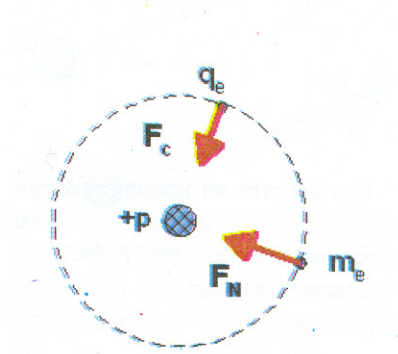
εικόνα 2. 4: Σχήμα για την παραγωγή φωτός στους λαμπτήρες φθορισμού

Στο βιβλίο Φυσικής Α' Τάξης Ενιαίου Λυκείου (Βλάχου κ.α., 1999), στη σελίδα 135 αναφέρεται ότι: «τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου λόγω της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb, που παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης»

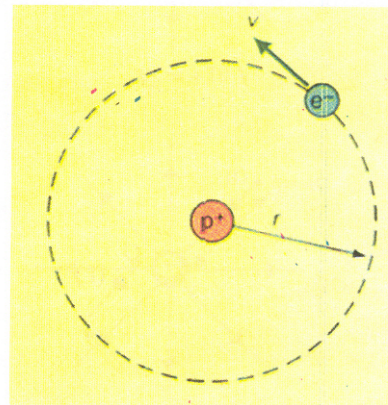
Στο βιβλίο Φυσικής Γενικής Παιδείας Β' τάξης Ενιαίου Λυκείου (Ν. Αλεξάκη κ.α., 1999), αναφέρονται τα εξής:

στο παράδειγμα 2 της σελίδας 15 κεφάλαιο 3.1 ζητείται να υπολογισθεί η δύναμη Coulomb που ασκείται μεταξύ πρωτονίου–ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου και να συγκριθεί με τη δύναμη της παγκόσμιας έλξης που ασκείται μεταξύ τους. Το παράδειγμα ακολουθείται από σχήμα για το άτομο του υδρογόνου. Αντίστοιχα στο παράδειγμα 5 της σελίδας 25 ζητείται για την περίπτωση του ηλεκτρονίου του υδρογόνου να υπολογισθούν η δυναμική, η κινητική και μηχανική ενέργεια του ηλεκτρονίου. Εδώ όμως γίνεται αναφορά και στο ότι το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται στην Κ στοιβάδα.

Οι εικόνες που παρατίθενται είναι συνοδευτικές των παραπάνω παραδειγμάτων (εικόνα 2.5).



Εικ. 3.1-4. Το άτομο του Υδρογόνου.

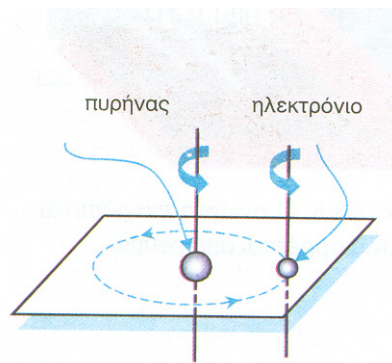


Εικ. 3.1.-30.

Εικόνα 2.5: Συνοδευτικές εικόνες παραδειγμάτων σχολικού βιβλίου Β' Λυκείου όπου χρησιμοποιείται το πλανητικό μοντέλο

Επίσης στο πρόβλημα 27 στη σελίδα 53 ζητείται πάλι ο υπολογισμός της δυναμικής, κινητικής και μηχανικής ενέργειας του ηλεκτρονίου στο μοντέλο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου. Στην άσκηση το μοντέλο του Bohr περιγράφεται ως εξής: Για το άτομο του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια μπορούν να περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα (πρωτόνιο) σε (επιτρεπόμενες) κυκλικές τροχιές.

Στη σελίδα 146 στο σημείο όπου γίνεται αναφορά στην ερμηνεία των μαγνητικών ιδιοτήτων των σωμάτων, υπάρχει σχήμα (σχήμα 3.3-11) στο οποίο εμφανίζεται η λεζάντα «τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα και γύρω από τον άξονά τους» (εικόνα 2.6).



Εικ. 3.3-11. Τα ηλεκτρόνια περι-  
στρέφονται γύρω από τον πυρήνα  
και γύρω από τον άξονά τους.

εικόνα 2.6: Σχήμα που δίνει την ερμηνεία των μαγνητικών ιδιοτήτων των σωμάτων

### 2.1.β Χημεία

Σε αντίθεση με τα σχολικά εγχειρίδια φυσικής τα αντίστοιχα εγχειρίδια χημείας περιγράφουν το άτομο –και– με βάση την κβαντική φυσική. Στο βιβλίο της χημείας της Α' Λυκείου (Λιοδάκης κ.α., 1999) γίνεται αναφορά στο πρότυπο του Bohr όπου δηλώνεται αφενός μεν ότι αυτό το πρότυπο παρέχει μία πολύ απλή εικόνα σχετικά με το άτομο, ξεπερασμένη σήμερα αφετέρου δε ότι αποτελεί μία μινιατούρα πλανητικού συστήματος. Επίσης γίνεται αναφορά σε όρους όπως καθορισμένες (επιτρεπτές) τροχιές, στιβάδα ή φλοιός ή ενεργειακή στάθμη, κύριος κβαντικός αριθμός. Το βιβλίο απαντά ακόμα στο ερώτημα για το ποιο ατομικό πρότυπο θα πρέπει να ακολουθήσουμε αναφέροντας ότι εξαρτάται από τη χρήση που κάνουμε θεωρώντας για την τάξη της Α' Λυκείου το πρότυπο του Bohr ως ικανοποιητικό. Στο ίδιο βιβλίο υπάρχουν δύο φράσεις που εμφανίζουν κάποια αντίφαση. Οι φράσεις είναι: «γύρω από τον πυρήνα και σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις κινούνται σε καθορισμένες (επιτρεπτές) τροχιές τα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια που κινούνται στην ίδια περίπτωση απόσταση από τον πυρήνα λέμε ότι βρίσκονται στην ίδια στιβάδα ή φλοιό ή ενεργειακή στάθμη». Ο συγγραφέας χρησιμοποιεί στη δεύτερη πρόταση τις λέξεις «στην ίδια περίπτωση απόσταση» όταν στην προηγούμενη πρόταση αναφερόταν σε καθορισμένες τροχιές. Οι συγγραφείς του βιβλίου, ίσως, δίνουν μία πρώτη αίσθηση ότι αν και το ηλεκτρόνιο κινείται γύρω από τον πυρήνα δεν κινείται σε καθορισμένες τροχιές.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο του σχολικού βιβλίου της Χημείας της Γ' Λυκείου (Λιοδάκης κ.α., 1999) εμφανίζεται η ιστορική εξέλιξη των απόψεων για το άτομο. Η αναφορά ξεκινά από το ατομικό μοντέλο του Bohr –το οποίο έχει αναπτυχθεί στην Α' Λυκείου. Εδώ όμως γίνεται αναφορά στις 2 συνθήκες του Bohr –κάτι που δε συμβαίνει στο εγχειρίδιο της Α' Λυκείου– για την κίνηση των ηλεκτρονίων σε καθορισμένες τροχιές καθώς και για την εκπομπή φωτονίου όταν ένα ηλεκτρόνιο μεταπηδά από μια τροχιά σε μια άλλη.



Ακολουθεί η διαπίστωση ότι αν και το πρότυπο του Bohr είχε μεγάλη επιτυχία στην ερμηνεία του γραμμικού φάσματος εκπομπής του ατόμου του υδρογόνου δεν μπορούσε να ερμηνεύσει ούτε τα φάσματα εκπομπής πολυπλοκότερων ατόμων ούτε και το χημικό δεσμό.

Στη συνέχεια αναφέρεται η κυματική θεωρία της ύλης του De Broglie και η αρχή της αβεβαιότητας (απροσδιοριστίας) του Heisenberg με τη διαπίστωση ότι η αποδοχή αυτής της αρχής οδηγεί αυτομάτως στην κατάρριψη όλων των πλανητικών προτύπων – συμπεριλαμβανομένου και αυτό του Bohr.

Από την ενότητα αυτή δεν λείπει η αναφορά στον Schrödinger, όπου δεν εμφανίζεται η εξίσωσή του αλλά αναφέρεται ότι αυτή μαθηματικά συσχετίζει την κυματική και σωματιδιακή συμπεριφορά του ηλεκτρονίου. Γίνεται αναφορά στο ότι η επίλυση της εξίσωσης οδηγεί στις κυματοσυναρτήσεις  $\psi$ , που περιγράφουν την κατάσταση του ηλεκτρονίου με ορισμένη ενέργεια ( $E_n$ ) και ονομάζονται ατομικά τροχιακά.

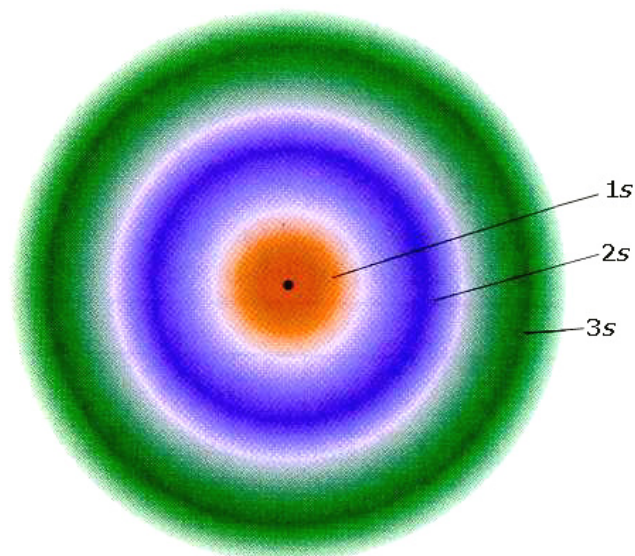
Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη φυσική σημασία του  $\psi^2$  ως την έκφραση πιθανότητας να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε ένα ορισμένο σημείο του χώρου γύρω από την πυρήνα, όπως και σε αυτή του  $e\psi^2$  ως την έκφραση της πυκνότητας του ηλεκτρονιακού νέφους στο χώρο γύρω από τον πυρήνα. Σημειώνεται ότι ο όρος ηλεκτρονιακό νέφος εισάγεται χωρίς επεξήγηση.

Ακολουθούν σχηματικές απεικονίσεις της πυκνότητας του ηλεκτρονιακού νέφους α) με στιγμές β) με πυκνότητα χρώματος γ) με «οριακές» καμπύλες (εικόνα 2.7).



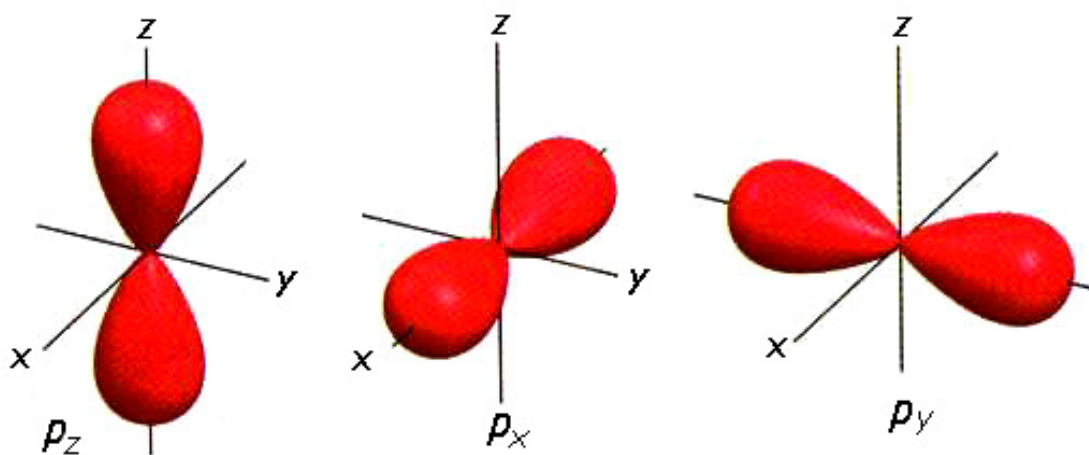
εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση της πυκνότητας του ηλεκτρονιακού νέφους του ατόμου του υδρογόνου σε μη διεγερμένη κατάσταση: α) με «στιγμές» β) με πυκνότητα χρώματος γ) με «οριακές» καμπύλες

Στη συνέχεια υπάρχει μία ενότητα που αφορά στους 4 κβαντικούς αριθμούς και άλλη μία με τίτλο «Γραφική απεικόνιση ατομικών τροχιακών», όπου στην πρώτη παράγραφο δίνεται η διευκρίνιση ότι η απεικόνιση αφορά στην πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους (αν και κατά την άποψή μας πρόκειται για αναπαράσταση ακτινικής κατανομής πιθανότητας αφού η χρωματική πυκνότητα είναι πιο έντονη σε απόσταση  $r_n$  από τον πυρήνα τουλάχιστον για το σχήμα 2.8 που ακολουθεί.



εικόνα 2.8: Σχηματική παρουσίαση των 1s, 2s και 3s τροχιακών (συναρτήσεων  $\psi^2$ ). Η ένταση του χρώματος είναι ανάλογη προς την πυκνότητα του ηλεκτρονιακού νέφους

Στο τέλος αυτής της ενότητας υπάρχει σχηματική αναπαράσταση των 2p τροχιακών (εικόνα 2.9).



εικόνα 2.9: Σχηματική αναπαράσταση p τροχιακών

Ο πίνακας που ακολουθεί (πίνακας 2.1) δίνει μια συνολική εικόνα για τη χρήση των μοντέλων (μοντέλο Bohr, κβαντικό μοντέλο) του ατόμου στα σχολικά εγχειρίδια φυσικής και χημείας για τις τάξεις του Λυκείου, ενώ επισημαίνονται και οι ενότητες που αναφέρονται και βασικές αρχές της σύγχρονης φυσικής.

Σχολική τάξη	Βιβλία Φυσικής	Βιβλία Χημείας
<b>A' Λυκείου</b>		
	1. Τα ηλεκτρόνια περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα του ατόμου λόγω της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb, που παίζει το ρόλο της κεντρομόλου δύναμης	1. Πρότυπο του Bohr – Στοιβάδες, Κατανομή ηλεκτρονίων σε στοιβάδες
<b>B' Λυκείου</b>		
<b>Γενικής Παιδείας</b>	Προβλήματα και εικόνες με το άτομο του υδρογόνου (αναφορά στο πρότυπο του Bohr)	
<b>Θετικής-Τεχνολογικής Κατεύθυνσης</b>	-	-
<b>Γ' Λυκείου</b>		
<b>Γενικής Παιδείας</b>	1. Σωματιδιακή και κυματική φύση του φωτός 2. Πρότυπο του Bohr	
<b>Θετικής-Τεχνολογικής Κατεύθυνσης</b>	1. Σχετικότητα 2. Στοιχεία Κβαντικής Φυσικής (χωρίς να επιλύεται η εξίσωση του Schrodinger για το άτομο του υδρογόνου συνεπώς δεν γίνεται αναφορά σε τροχιακά)	1. Πρότυπο του Bohr (καταγραφή συνθηκών), 2. η κυματική θεωρία της ύλης του De Broglie 3. αρχή της αβεβαιότητας (απροσδιοριστίας) του Heisenberg , 4. κυματοσυναρτήσεις $\psi$ που προκύπτουν από την εξίσωση του Schrödinger, 5. απεικονίσεις της πυκνότητας του ηλεκτρονιακού νέφους

Πίνακας 2.1: Ο πίνακας δίνει μια συνολική εικόνα, από τα σχολικά εγχειρίδια, για τις θεματικές που αναφέρονται βασικές αρχές της σύγχρονης φυσικής.

Από όσα σημειώνονται παραπάνω γίνεται φανερό ότι οι μαθητές που επιλέγουν κατευθύνσεις άλλες από τη θετική δεν έρχονται σε επαφή με νεότερες απόψεις για το άτομο του υδρογόνου όταν το μοντέλο του Bohr –ή το απλό πλανητικό μοντέλο– κατέχει κυρίαρχη θέση στα βιβλία φυσικής και χημείας των υπόλοιπων σχολικών τάξεων.

Είναι, ίσως απαραίτητο να τονίσουμε ότι, η διδασκαλία των μαθημάτων των φυσικών επιστημών και κυρίως της φυσικής και της χημείας γίνεται αποσπασματικά και ανεξάρτητα. Αν και υπάρχουν κοινές θεματικές μεταξύ της φυσικής και της χημείας οι συντάκτες των αναλυτικών προγραμμάτων επιλέγουν να βλέπουν τις δύο επιστήμες ως τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους, με άμεση συνέπεια να σπαταλάται χρόνος για τη διδασκαλία των ίδιων πραγμάτων.

## **2.2 Μοντέλα για το άτομο, σχολικά εγχειρίδια και εννοιολογική αλλαγή**

Ο Shiland (1997) ανέλυσε –ακολουθώντας την ανάλυση του Posner– 8 σχολικά εγχειρίδια χημείας με βάση 4 στοιχεία ώστε να διαπιστώσει το κατά πόσο η παρουσίαση του κβαντικού μοντέλου για το άτομο του υδρογόνου σε αυτά συνοδεύεται από ικανοποιητικά στοιχεία και εφαρμογές για να προάγουν τη λογική αποδοχή του μοντέλου αυτού έναντι του μοντέλου του Bohr.

Τα 4 στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση (και που αποτελούν προϋπόθεση για την εννοιολογική αλλαγή σύμφωνα με τον Posner) είναι:

- η **δυσανεπάρκεια (dissatisfaction)**: μελετάται η ιδιαίτερη έμφαση που δίνεται για την επιστημονική ανεπάρκεια του μοντέλου του Bohr
- η **κατανόηση (intelligibility)**: για την ανάλυση ενός κειμένου, μπορεί να καθορισθεί ως η προσπάθεια του συγγραφέα να περιγράψει μία θεωρία. Για τη μέτρησή του προσδιορίζονται οι σελίδες που περιγράφουν το μοντέλο.
- η **αληθοφάνεια (plausibility)**: καθορίζεται με την εξέταση του αν η ανεπάρκεια του μοντέλου του Bohr καλύφθηκε από το κβαντικό μοντέλο. Επιπροσθέτως, το κείμενο περιέχει παραδείγματα φαινομένων που να ερμηνεύονται από το κβαντικό μοντέλο αλλά δεν μπορεί να ερμηνεύσει το μοντέλο του Bohr.
- η **αποδοτικότητα (fruitfulness)**: αναλύθηκε με βάση τα προβλήματα ή τα ερωτήματα που απαιτούσαν την κβαντική θεωρία για να ερμηνεύσουν ή να προβλέψουν ένα παρατηρήσιμο φαινόμενο. Δεν συμπεριλήφθηκαν ερωτήματα που απαιτούσαν μόνο ανάκληση στοιχείων της κβαντικής θεωρίας.

Εφαρμόζοντας την ανάλυση στα σχολικά εγχειρίδια της Φυσικής Γενικής Παιδείας και της Χημείας Θεωρητικής Κατεύθυνσης της Γ' Λυκείου προκύπτουν:

Προϋποθέσεις για την εννοιολογική αλλαγή				
	δυσαρέσκεια	κατανόηση	αληθοφάνεια	αποδοτικότητα
Φυσική Γενικής Παιδείας	Το μοντέλο του Bohr δεν ερμηνεύει τα φάσματα των ατόμων που έχουν περισσότερα ηλεκτρόνια (σελ. 52)	σελ. 45-52 Θεωρία του Bohr	Η κβαντική μηχανική περιγράφει με επιτυχία τα φαινόμενα που αναφέρονται στα σωματίδια του μικρόκοσμου και στο φως (σελ. 52) Καμία αναφορά στην κβαντική φυσική	–
Χημεία Θεωρητικής Κατεύθυνσης	1. Το μοντέλο του Bohr δεν ερμηνεύει τα φάσματα των ατόμων που έχουν περισσότερα ηλεκτρόνια 2. το μοντέλο του Bohr δεν ερμηνεύει το χημικό δεσμό 3. αρχή του Heisenberg οδηγεί στην κατάρριψη όλων των πλανητικών μοντέλων	σελ. 3-5 θεωρία του Bohr σελ. 5-12 κβαντικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου	Συνοπτική αναφορά σε κβαντικό πρότυπο για το άτομο του υδρογόνου	–

Ο παραπάνω πίνακας περιγράφει περιληπτικά την πληροφορία που κάθε ένα από τα δύο σχολικά εγχειρίδια περιέχει σε σχέση με τα 4 στοιχεία που απαιτούνται για την εννοιολογική αλλαγή όσον αφορά στη μεταβολή του μοντέλου σχετικά με την περιγραφή του ατόμου. Αναφορικά με το στοιχείο της δυσαρέσκειας και τα δύο βιβλία αναφέρουν ότι το μοντέλο του Bohr δεν μπορεί να ερμηνεύσει φάσματα ατόμων με περισσότερα από ένα ηλεκτρόνια. Σε κανένα όμως από τα δύο κείμενα δεν υπάρχουν παραδείγματα και εικόνες φασμάτων τα οποία δεν μπορούν να ερμηνευθούν από το μοντέλο του Bohr.

Η κατανόηση της κβαντικής φυσικής καθορίζεται από τον αριθμό των σελίδων που χρειάζονται για την περιγραφή της θεωρίας. Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα η διδασκαλία του κβαντικού μοντέλου για το άτομο του υδρογόνου είναι εκτενής μόνο στην περίπτωση του σχολικού βιβλίου της χημείας. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την περίπτωση του μοντέλου του

Bohr στο αντίστοιχο βιβλίο της φυσικής όπου σε αυτό η περιγραφή του μοντέλου είναι εκτενής ενώ η παρουσίαση του μοντέλου περιέχει εφαρμογές, φαινόμενα και ασκήσεις που μπορούν να ερμηνευθούν από αυτό το μοντέλο.

Η *αληθοφάνεια* του κβαντικού μοντέλου καθορίζεται από την εξέταση του πως το κείμενο καταδεικνύει ότι το κβαντικό μοντέλο μπορεί να προβλέψει και να ερμηνεύσει φαινόμενα τα οποία δεν μπορεί να ερμηνεύσει το μοντέλο του Bohr. Και εδώ σημειώνουμε το γεγονός ότι αν και στο βιβλίο της φυσικής γίνεται αναφορά στο ότι το κβαντικό πρότυπο ερμήνευσε τα φάσματα ατόμων με περισσότερα ηλεκτρόνια δεν υπάρχουν παραδείγματα τέτοιων φασμάτων.

Η *αποδοτικότητα* καθορίστηκε με αναφορά στα προβλήματα που απαιτούσαν τη χρήση του κβαντικού μοντέλου. Κανένα από τα δύο βιβλία δεν συμπεριέλαβαν τέτοια προβλήματα.

Αν κανείς στηριχθεί στο μοντέλο του Posner για την εννοιολογική αλλαγή, γίνεται φανερό ότι τα βιβλία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης δεν παρέχουν ικανοποιητική βάση για την λογική απόρριψη του μοντέλου του Bohr έναντι του κβαντικού μοντέλου.

### 2.3 Διεθνής Βιβλιογραφία

Η έρευνα για την εισαγωγή εννοιών της κβαντικής φυσικής στην ύστερη δευτεροβάθμια ή σε τμήματα που δεν έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική αφορά είτε στην αναζήτηση των αντιλήψεων που έχουν οι μαθητές ή φοιτητές σε βασικές έννοιες ή φαινόμενα της κβαντικής φυσικής εξαιτίας της εκπαίδευσης που ήδη έχουν λάβει είτε και στην έρευνα για την ανάπτυξη αναλυτικών προγραμμάτων συνοδευμένων από το κατάλληλο εκπαιδευτικό υλικό για την εισαγωγή αυτών των εννοιών, αφού όμως προηγείται έρευνα για τις προαντιλήψεις των εκπαιδευομένων.

Ανάμεσα στις ερευνητικές προσπάθειες με δημοσιεύσεις σε διεθνή περιοδικά και πρακτικά συνεδρίων ξεχωρίζουν οι ακόλουθες:

#### **Visual Quantum Mechanics Project**

Το *Visual Quantum Mechanics Project*, που αναπτύχθηκε από ερευνητές του Πανεπιστημίου του Κάνσας (Kansas State University) και χρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών (National Science Foundation). Στην εφαρμογή του προγράμματος συμμετείχαν 175 καθηγητές φυσικής από 160 σχολεία των ΗΠΑ. Το πρόγραμμα (Zollman et. al., 2002) αφορά στην ανάπτυξη υλικού για την εισαγωγή της κβαντικής φυσικής σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και σε φοιτητές κολλεγίων που δεν έχουν υπόβαθρο στη σύγχρονη φυσική ή στη μαθηματική ανάλυση. Το υλικό περιλαμβάνει αλληλεπιδραστικά προγράμματα, ψηφιακά πολυμέσα και έντυπο υλικό σε ένα περιβάλλον δραστηριοτήτων (activity-based environment).

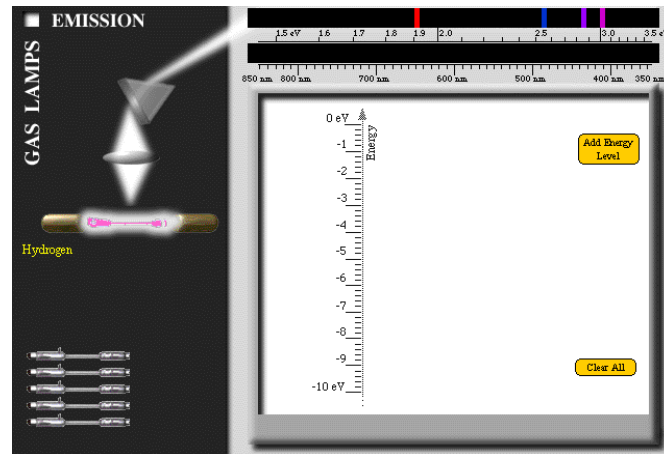
Οι στόχοι του προγράμματος είναι:

- αξιοποίηση των τεχνικών οπτικοποίησης αντί της χρήσης μαθηματικής ανάλυσης.
- Έμφαση σε δραστηριότητες hands-on και minds-on.
- Συνδυασμός έντυπου υλικού, αλληλεπιδραστικών προγραμμάτων και ψηφιακών πολυμέσων.
- Ενσωμάτωση της μάθησης της κβαντικής φυσικής στο αναλυτικό πρόγραμμα της φυσικής.
- Εφαρμογή στρατηγικής μάθησης στην οποία οι μαθητές δομούν τη γνώση μέσα από δραστηριότητες.
- Ανάδειξη του γεγονότος ότι οι αρχές της κβαντικής φυσικής εφαρμόζονται στη σύγχρονη τεχνολογία.

Το πρόγραμμα δομείται με βάση τις ακόλουθες ενότητες:

#### Στερεά και φως / Φθορισμός

οι φοιτητές χρησιμοποιούν φωτοδιόδους (LED) και λάμπες αερίων για να κατανοήσουν τις διακριτές ενεργειακές στάθμες, τις μεταβάσεις των ηλεκτρονίων και τα φάσματα (εικόνα 2.10).



εικόνα 2.10: Πρόγραμμα για την κατανόηση των ενεργειακών μεταβάσεων

#### Κύματα ύλης

Οι μαθητές μελετούν την κυματική φύση των σωματιδίων, τις κυματοσυναρτήσεις, την εξίσωση του Schrödinger (ποιοτική μελέτη) και τα κυματοπακέτα.

#### Φαινόμενο σήραγγας

Η χρήση προγράμματος προσομοίωσης ενός STM αποτελεί το όχημα για την κατανόηση από τους μαθητές του φαινομένου σήραγγας, τους παράγοντες που επιδρούν σε αυτό και κάποιες από τις εφαρμογές του.

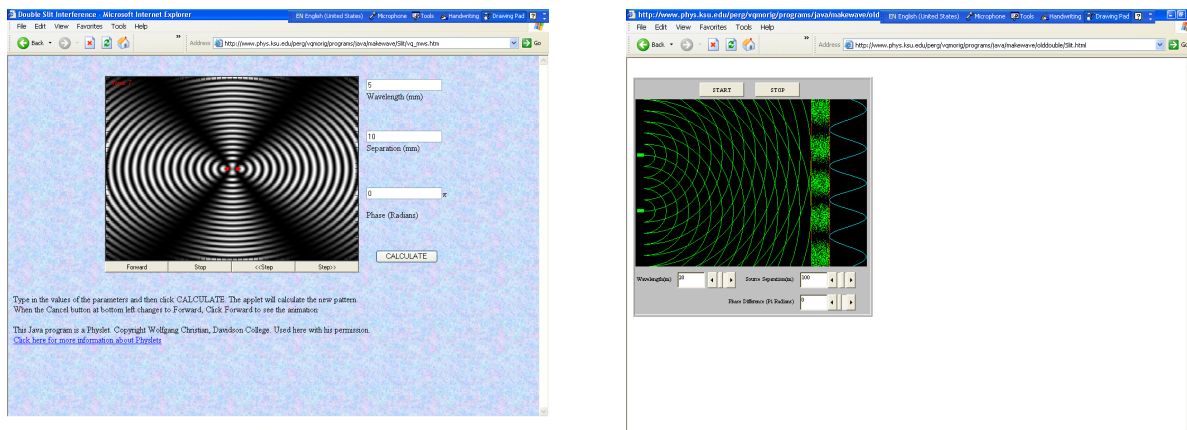
#### Ενεργειακά διαγράμματα Δυναμικού

Χρησιμοποιούνται μαγνήτες που τοποθετούνται κατά μήκος μίας τροχιάς και αυτοκινητάκια ώστε οι μαθητές να ανακαλέσουν την αρχή διατήρησης της ενέργειας και στη συνέχεια μελετούν τα ενεργειακά διαγράμματα διαφορετικών δυναμικών.

#### Δημιουργώντας Κύματα

Αρχικά πραγματοποιείται επανάληψη βασικών εννοιών που αφορούν στα κύματα. Επειδή οι μαθητές συναντούν δυσκολία στην κατανόηση του καθοριστικού ρόλου που παίζει η συμβολή για τον καθορισμό του κύματος γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σε αυτό (εικόνα 2.11).





εικόνα 2.11: Σελίδες που αφορούν στη συμβολή κυμάτων

### Quantum Science Across Disciplines Project (QSAD)

Το *Quantum Science Across Disciplines Project (QSAD)*, πρόκειται για ένα πρόγραμμα της ερευνητικής ομάδας του Πανεπιστημίου της Βοστώνης που χρηματοδοτείται από το Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών. Οι συνεργαζόμενοι ερευνητές προέρχονται από τα School of Education και το College of Arts and Sciences του Πανεπιστημίου της Βοστώνης.

Στόχοι του εν λόγω προγράμματος (Garik P. et al., 2000) είναι:

- η δημιουργία διαδραστικών λογισμικών που αφορούν στην οπτικοποίηση μοντέλων που μελετούν την κβαντική συμπεριφορά.
- Η διερεύνηση των εναλλακτικών ιδεών των μαθητών για την ατομική και μοριακή συμπεριφορά και τους μηχανισμούς που πραγματοποιούνται σε ατομική κλίμακα. Στόχο αποτελεί και η υποστήριξη των μαθητών ώστε να υιοθετήσουν το κβαντικό μοντέλο.
- Η διερεύνηση για το κατά πόσο οι διδάσκοντες κατανοούν τις αρχές της κβαντικής φυσικής
- Η διερεύνηση για το κατά πόσο οι διδάσκοντες χρησιμοποιούν κατά τη διδασκαλία λογισμικό και ο προσδιορισμός του ρόλου που παίζουν οι απόψεις και η γνώση παιδαγωγικών αρχών στο να διδάξουν τους μαθητές τους με χρήση λογισμικού.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων συστήθηκε μία ομάδα από την επιστημονική, την εκπαιδευτική κοινότητα καθώς και από ερευνητικές ομάδες που ανέπτυσαν λογισμικό.

### Το λογισμικό

Το λογισμικό περιλαμβάνει 5 προγράμματα που καλούνται *Quantum Explorers*. Αυτά είναι:

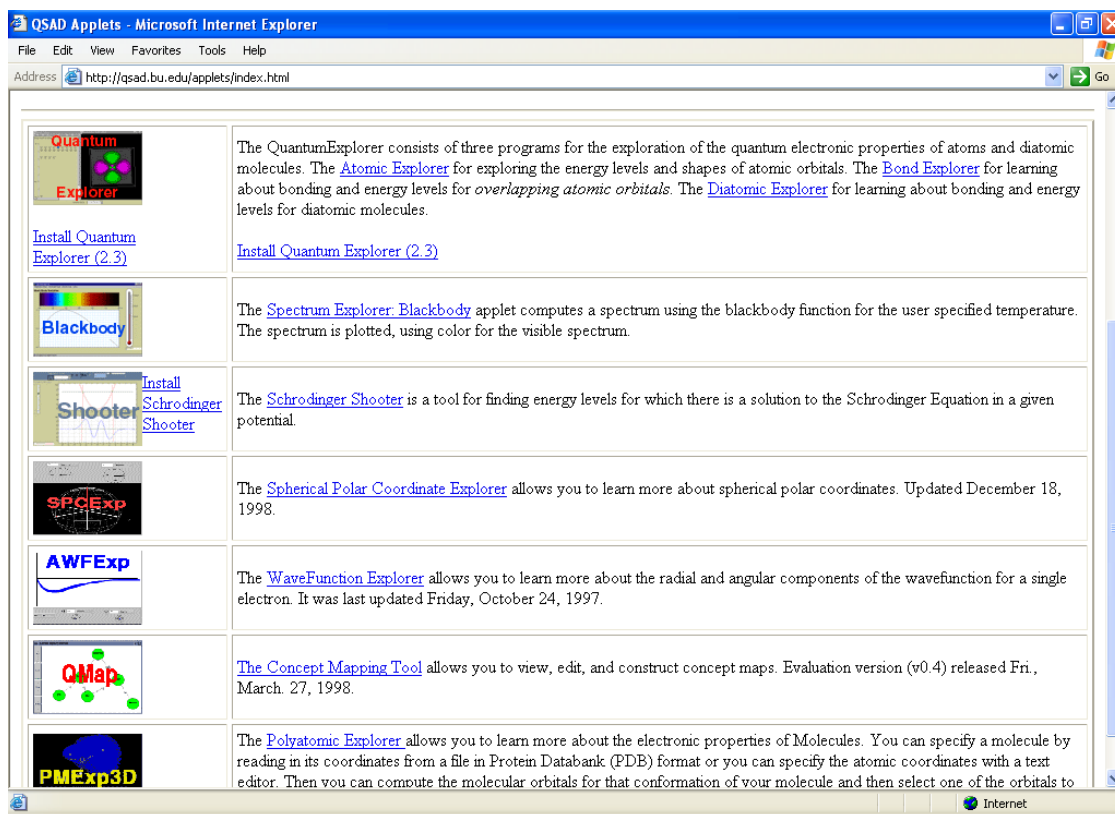
Ο *εξερευνητής δεσμών (Bond Explorer)* για να διερευνηθούν οι δεσμοί και τα ενεργειακά επίπεδα κατά την επικάλυψη των τροχιακών (εικόνα 2.12).

Ο εξερευνητής ατόμων (*Atomic Explorer*) για να διερευνηθεί η ηλεκτρονιακή δομή των ατόμων.

Ο εξερευνητής μεταξύ δύο ατόμων (*Diatomic Explorer*) για να διερευνηθούν οι δεσμοί και τα ενεργειακά επίπεδα των διατομικών μορίων.

Ο πολυατομικός εξερευνητής (*Polyatomic Explorer*) για να διερευνηθούν τα μοριακά τροχιακά.

Ο εξερευνητής φάσματος (*Spectrum Explorer*) για τη μελέτη του φάσματος μέλανος σώματος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία καθώς και για τη μελέτη του φάσματος εκπομπής του υδρογόνου.



εικόνα 2.12: Σελίδα με τα προγράμματα του λογισμικού του προγράμματος QSAD

### Πανεπιστήμιο της Βρέμης

Η παρέμβαση, που προέρχεται από ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου της Βρέμης με επικεφαλής τον Hans Niedderer (Niedderer et al, 1997), περιλαμβάνει την εισαγωγή λογισμικού που επιλύει διαφορικές εξισώσεις –και την εξίσωση του Schrödinger– ώστε οι μαθητές να εστιάσουν στην ερμηνεία της συνάρτησης  $\Psi$ . Επιπλέον περιλαμβάνει ένα μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου –το μοντέλο *electronium*– που δημιουργήθηκε από τον Friedrich Hermann και προσαρμόστηκε από τον Hans Niedderer σε εκπαιδευτική παρέμβαση σε γερμανικά σχολεία για τα έτη 8 και 9 (year 8 και 9).

Η εκπαιδευτική παρέμβαση –διάρκειας 6 εβδομάδων– περιλάμβανε τις ακόλουθες θεματικές ενότητες:

- Το ελεύθερο ηλεκτρόνιο ως κβάντο.
- Καταστάσεις σε ένα άτομο σε αναλογία με στάσιμα κύματα.
- Μοντέλα στον υπολογιστή και εργαστηριακά πειράματα με στάσιμα κύματα σε μία μη ομογενή χορδή.
- Το άτομο του υδρογόνου: η εξίσωση του Schrödinger.
- Οπτικοποίηση του μοντέλου *electronium* για το άτομο του υδρογόνου
- Το άτομο του υδρογόνου: σχήμα και μέγεθος, πειράματα με φάσματα, τροχιακά, το άτομο του  $\text{He}^+$ .
- Ακτίνες X.
- Μοντέλα πολύ-ηλεκτρονικών ατόμων He, Li, Be, Na.
- Μόρια.
- Ενεργειακές ζώνες στα στερεά με χρήση μοντέλου στον υπολογιστή για 4 άτομα.

### **Βασικές ιδέες της προσέγγισης για την ατομική φυσική**

Σύμφωνα με τους δημιουργούς της εκπαιδευτικής παρέμβασης για την καλύτερη κατανόηση της ατομικής φυσικής δύο σημεία είναι σημαντικά:

α) η κατανόηση των μαθηματικών που χρησιμοποιούνται και β) η κατάλληλη ερμηνεία της  $\psi$ -συνάρτησης. Για την πρώτη περίπτωση μελετάται η αναλογία μεταξύ των καταστάσεων στα στάσιμα κύματα και των στάσιμων καταστάσεων στα άτομα. Το δεύτερο σημείο της προσέγγισης επιτυγχάνεται μέσα από την καθοδήγηση των μαθητών σε μία απλούστερη ερμηνεία της  $\psi$ -συνάρτησης, σύμφωνα με τις ιδέες των χημικών για τα «νέφη ηλεκτρονίων» καθώς και το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Herrmann (Hans Niedderer et al, 1998) και αφορά στην άποψη ότι το ηλεκτρόνιο αποτελεί ένα είδος υγρού (μοντέλο Electronium). Κατά τη διδασκαλία λαμβάνονται υπόψη οι προαντιλήψεις των μαθητών –οι οποίες δεν θεωρούνται ως αντιλήψεις που πρέπει να ξεπερασθούν αλλά αποτελούν σημείο έναρξης, ώστε πάνω σε αυτό να επιτευχθεί η κατανόηση της επιστημονικής άποψης.

### **Πανεπιστήμιο Βερολίνου**

Οι Fischler και Lichtfeldt (1992 p. 183), από το Ελεύθερο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου, πρότειναν μία προσέγγιση της κβαντικής φυσικής για την ύστερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση σύμφωνα με την οποία:

- κάθε αναφορά στην κλασική φυσική θα πρέπει να αποφεύγεται,

- η διδασκαλία της θεματικής ενότητας θα πρέπει να ξεκινά από τα ηλεκτρόνια (όχι από τα φωτόνια κατά την εισαγωγή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου),
- η αρχή της απροσδιοριστίας θα πρέπει να εισάγεται σε πρώιμο στάδιο,
- το μοντέλο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου θα πρέπει να αποφεύγεται όσον αφορά στο άτομο του υδρογόνου.

Οι δύο ερευνητές δημιούργησαν μία εκπαιδευτική παρέμβαση που περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες. Η δομή του προγράμματος που αναπτύχθηκε είναι η ακόλουθη:

- Περίθλαση ηλεκτρονίων
- Σχέση του De Broglie  $p=h/\lambda$
- Πείραμα της διπλής σχισμής με ηλεκτρόνια
- Αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg
- Κβάντωση της ενέργειας για πηγάδι δυναμικού και για το άτομο του υδρογόνου
- Το πείραμα Frank – Hertz και φασματοσκοπική ανάλυση
- Κβαντικά αντικείμενα φωτός: φωτόνια (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, πείραμα Taylor)
- Προβλήματα ερμηνειών (ποια είναι η έννοια της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$ ; αιτιότητα στη σύγχρονη φυσική, ερμηνεία της Κοπεγχάγης)

Το υλικό που αναπτύχθηκε, εφαρμόσθηκε σε σχολεία του Βερολίνου. Το υλικό αποτελούνταν και από συνοδευτικό οδηγό για τους καθηγητές, που περιλάμβανε περιγραφές των πειραμάτων, πληροφορίες για τη θεωρία και προτάσεις για την εκπαιδευτική διαδικασία.

### **Πανεπιστήμιο του Ουάσιγκτον – Τμήμα Φυσικής**

Η Mc Dermott και οι συνεργάτες της (Wosilait, 2000) ασχολούνται με την ανάπτυξη υλικού για την κυματική και σωματιδιακή φύση του φωτός. Η ανάπτυξη περιλαμβάνει πειράματα που αφορούν στην περίθλαση και στη συμβολή του φωτός καθώς και στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Επίσης ερευνούν τις προαντιλήψεις των φοιτητών τους για αυτά τα φαινόμενα καθώς και την επίδραση της εκπαιδευτικής τους παρέμβασης.

### **Νορβηγία –Olsen**

Στη Νορβηγία πραγματοποιήθηκε έρευνα σε δείγμα 236 μαθητών του Λυκείου, ηλικίας 18-19 ετών (upper secondary students) (Olsen, 2001), στην οποία εξετάζονταν το πώς οι μαθητές αντιμετωπίζουν την κλασική φυσική σε σχέση με την κβαντική. Επιλέχθηκαν δύο ιδέες–αρχές ως δείκτες (indicators). Η ιδέα της μοντελοποίησης του ατόμου και αυτή της κυματικής–σωματιδιακής φύσης. Το κύριο συμπέρασμα είναι ότι οι περισσότεροι από τους μαθητές παραμένουν εγκλωβισμένοι στην κλασική αντιμετώπιση της θέασης του κόσμου όπου τα υλικά

σωματίδια έχουν καθορισμένη θέση κινούμενα σε καθορισμένη τροχιά. Λιγότεροι μαθητές φαίνεται να μπορούν να αντιληφθούν ότι τα φαινόμενα δεν μπορούν να κατανοηθούν από την οπτική της κλασικής μηχανικής.

#### **Αυστραλία – Azam Mashhadi**

Ο Mashhadi (Mashhadi, 1996) πραγματοποίησε έρευνα σε μαθητές τριών σχολείων με στόχο να αναδειχθούν οι αντιλήψεις των μαθητών για κβαντικά φαινόμενα.

#### **Αγγλία – Ireson**

Αντίστοιχη με την προηγούμενη έρευνα πραγματοποίησε στην Αγγλία ο Ireson (2000) σε μαθητές που παρακολουθούσαν το GCE Advanced-level physics course. Ο στόχος της έρευνας ήταν να αναδειχθούν οι αντιλήψεις των μαθητών για κβαντικά φαινόμενα.

#### **Η.Π.Α. – Cataloglu και Robinett**

Οι Cataloglu και Robinett από το κρατικό πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια (State University of Pennsylvania) ανέπτυξαν ένα εργαλείο αξιολόγησης για να ελέγξουν την κατανόηση εννοιών σχετικά με την κβαντική φυσική σε φοιτητές φυσικών τμημάτων.

## **2.4 Ελληνική Βιβλιογραφία**

### **Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (I)– Τσαπαρλής**

Από το πανεπιστήμιο Ιωαννίνων και την ομάδα Τσαπαρλή ο Παπαφώτης (2004) πραγματοποίησε έρευνα με ερωτηματολόγιο τον Οκτώβριο του 2001 στο οποίο απάντησαν 125 νεοεισαχθέντες πρωτοετείς φοιτητές των τμημάτων Χημείας, Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών και Επιστήμης και Τεχνολογίας των Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων καθώς και με ημιδομημένες συνεντεύξεις που ακολούθησαν το γραπτό ερωτηματολόγιο. Στις συνεντεύξεις έλαβαν μέρος 23 επιλεγμένοι φοιτητές και από τα τρία τμήματα. Οι γνώσεις που είχαν οι φοιτητές προέρχονταν από όσα είχαν διδαχθεί στη γ' λυκείου την προηγούμενη σχολική χρονιά στα πλαίσια μαθημάτων της χημείας θετικής κατεύθυνσης. Η έρευνα αφορούσε στο κατά πόσο πραγματοποιείται εννοιολογική αλλαγή και υιοθέτηση του κβαντομηχανικού μοντέλου έναντι του μοντέλου του Bohr μέσα από τη λυκειακή εκπαίδευση.

Από την ίδια ομάδα η Νταλαούτη (2004) επέλεξε να εισάγει σε μαθητές της στ' δημοτικού ένα ατομικό μοντέλο χωρίς τροχιές. Η έρευνα έδειξε ότι οι αρχικές αντιλήψεις των μαθητών σχετικά με την τροχιά του ηλεκτρονίου είναι ανθεκτικές. Στη διάρκεια συνεντεύξεων οι μαθητές των πειραματικών τμημάτων που δεν διδάχθηκαν τις τροχιές ανέπτυξαν σε μεγάλο ποσοστό νοητικά μοντέλα επιστημονικώς αποδεκτά ή συνθετικά, χωρίς τροχιές.

Από την ομάδα Τσαπαρλή η Στεφανή (2004) διερευνά τη γνώση που δομούν παλαιότεροι φοιτητές χημείας που είχαν διδαχθεί βασικές αρχές της κβαντικής χημείας μόνο στα πλαίσια εισαγωγικών πανεπιστημιακών μαθημάτων. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη

φαινομενογραφική μέθοδο. Αξιοσημείωτο είναι ότι οι μαθητές εμφάνισαν εναλλακτικές ιδέες και παρανοήσεις που αποδόθηκαν στα παραδοσιακά προγράμματα σπουδών και στα βιβλία.

### **Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων (II)– Μικρόπουλος**

Οι Κοντογεωργίου, Κώτσης και Μικρόπουλος (2004) πραγματοποίησαν έρευνα σε πρωτοετείς φοιτητές επιβεβαιώνοντας την αποτυχία των φοιτητών να χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο ατομικό μοντέλο, ακολουθώντας τους κανόνες δόμησής του και οριοθετώντας το ταυτόχρονα. Για την έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τρισδιάστατες οπτικοποιήσεις. Η χρήση τους έδωσε καλύτερα αποτελέσματα, αν και δεν απάλλαξε τους φοιτητές από τις λανθασμένες ιδέες του εγκαταστημένου κλασικού μοντέλου.

### **Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών και Περιβάλλοντος Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε. Πανεπιστημίου Αθηνών**

Στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών και Περιβάλλοντος του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Αθηνών οι Χατζηδάκη, Σταύρου και Καλκάνης (Χατζηδάκη, 1998), σχεδίασαν, υλοποίησαν και αξιολόγησαν εκπαιδευτική παρέμβαση στην οποία επιλέχθηκε το άτομο του Υδρογόνου και χρησιμοποιήθηκε ως ένα δυναμικό εργαλείο η προσομοίωση / οπτικοποίηση των τροχιακών του ατόμου του Υδρογόνου στον υπολογιστή, ώστε να αντιμετωπισθεί το περιορισμένο μαθηματικό υπόβαθρο των διδασκομένων και η έλλειψη βιωματικών εμπειριών για τα φαινόμενα του μικροκόσμου.

Η εκπαιδευτική παρέμβαση απευθύνεται σε ομάδες που συμπεριλαμβάνουν άτομα: α) των οποίων η επιστημονική / επαγγελματική κατεύθυνση απαιτεί την κατανόηση βασικών εννοιών της κβαντικής φυσικής, β) έχουν διδαχθεί θέματα σύγχρονης φυσικής μέσω των παραδοσιακών τρόπων και, συνεπώς, οι σχετικές γνώσεις τους χαρακτηρίζονται από σοβαρές παρανοήσεις, γ) τα οποία δε διαθέτουν το απαιτούμενο μαθηματικό υπόβαθρο για να παρακολουθήσουν μια φορμαλιστική διδασκαλία της κβαντικής φυσικής και δ) πολλά από τα οποία θα κληθούν να αργότερα να διδάξουν αντίστοιχα θέματα και συνεπώς θα πρέπει να παρακολουθήσουν, και τα ίδια, ειδικά εκπαιδευτικά προγράμματα.

Η εκπαιδευτική στρατηγική που προτείνεται στοχεύει στο να οδηγήσει τους δασκάλους–μαθητές να σχηματίσουν μία εννοιολογική δομή που περιλαμβάνει την κλασική και την κβαντική φυσική ως δύο ανεξάρτητα εννοιολογικά συστήματα. Αποδεχόμενοι επιπλέον, ότι η εξολοκλήρου διάκριση των συστημάτων αυτών απαιτεί μία ριζική αναδόμηση της αρχικής γνώσης των δασκάλων–μαθητών, παρουσιάζεται ένα εισαγωγικό μοντέλο που βασίζει την απαιτούμενη αναδόμηση στην αντιπαράθεση δύο μοντέλων που συνθέτουν το σημείο για την «αλλαγή παραδείγματος» κατά τον εικοστό αιώνα:

α) το ημι–κλασικό μοντέλο του Bohr και β) το μοντέλο του ατόμου που έγινε δεκτό από τη σύγχρονη θεωρία της φυσικής

Αυτή η ευθεία αντιπαράβολή των δύο μοντέλων

α) αντί της αποφυγής της αναφοράς στην κλασική φυσική, στοχεύει στο να αποκαλύψει την εξολοκλήρου διαφορετική θέαση του κόσμου και του πλέγματος της σκέψης σημειώνοντας την αλληλεπίδραση των μακροσκοπικών και μικροσκοπικών φαινομένων

β) αντί της αποφυγής του μοντέλου του Bohr, το χρησιμοποιεί –ως ένα αντιπροσωπευτικό ημι-κλασικό μοντέλο «ενάντια» στο μοντέλο του ατόμου που αποδέχεται η σύγχρονη φυσική– έτσι ώστε να κάνει εμφανείς τις βαθιές εννοιολογικές διαφορές ανάμεσα στην κβαντική και την κλασική φυσική

γ) αντί της αποφυγής των περιγραφών για διϊσμό, στοχεύει στην αποκάλυψη της εσωτερικής έννοιας της αρχής της αντιστοιχίας.

### 3. Προσομοιώσεις – Οπτικοποιήσεις

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 (Gilbert, 1997). Ο Black από το 1962 υποστήριζε ότι η κατανόηση των μοντέλων έχει ζωική 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, που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ο πατέρας της δυναμικής (χρονικής) μοντελοποίησης ενός συστήματος, υποστήριξε (Stratford, 1997) 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 (1993) 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 3.1) περιλαμβάνει όρους και ορισμούς που σχετίζονται με τα μοντέλα που δημιουργούνται στον υπολογιστή (computer-based models).



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

Πίνακας 3.1: όροι και ορισμοί που σχετίζονται με τα μοντέλα που δημιουργούνται στον υπολογιστή

### 3.1 Η χρήση των προσομοιώσεων

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.

### **3.2 Κατηγορίες προσομοίωσης**

Σύμφωνα με τους Thomas και Hooper (1991), οι προσομοιώσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 κατηγορίες:

(α) εμπειρικές προσομοιώσεις ("experiencing" simulations), που επιτρέπουν στους εκπαιδευόμενους να διερευνήσουν ένα συγκεκριμένο θέμα πριν την παρουσίαση του σχετιζόμενου περιεχομένου,

(β) πληροφοριακές προσομοιώσεις ("informing" simulations), που χρησιμοποιούνται στη θέση των σχολικών βιβλίων για να διδάξουν κάποια θεματική στους εκπαιδευόμενους,

(γ) ενισχυτικές προσομοιώσεις ("reinforcing" simulations), που στοχεύουν να ενισχύσουν την κατανόηση των εκπαιδευόμενων σε συγκεκριμένα θέματα και τους επιτρέπουν να εφαρμόσουν ιδέες που έχουν διδαχθεί προηγουμένως, και

(δ) εντοπισητικές προσομοιώσεις ("integrating" simulations), που επιτρέπουν στους εκπαιδευόμενους να εντοπίσουν τη γνώση και την κατανόηση ενός αριθμού ανεξάρτητων γεγονότων και ιδεών που έχουν διδαχθεί λίγο ή πολύ ανεξάρτητα.

Σύμφωνα με τον Weller (1996), υπάρχει και μία πέμπτη κατηγορία, οι προσομοιώσεις εννοιολογικής αλλαγής ("conceptual change" simulations), που λαμβάνουν υπόψη ότι οι εκπαιδευόμενοι φέρνουν στο μαθησιακό τους περιβάλλον προαντιλήψεις σχετικά με τα φυσικά φαινόμενα. Αυτές οι προαντιλήψεις συνήθως είναι αντίθετες με τις επιστημονικές αντιλήψεις και φαίνεται να παραμένουν αμετάβλητες και μετά την εκπαίδευση. Οι προσομοιώσεις αυτές σχεδιάζονται ώστε να βοηθήσουν στον έλεγχο των προαντιλήψεων και μετέπειτα στη μεταβολή τους προσεγγίζοντας τις επιστημονικές ιδέες.

### **3.3 Οπτικοποίηση**

Η οπτικοποίηση αποτελεί ένα σημαντικό συστατικό της τεχνολογίας των προσομοιώσεων (Rohrer, 2000) και πρόκειται για την γραφιστική αναπαράσταση του μοντέλου.

Οι οπτικοποιήσεις μπορούν να βοηθήσουν τη διαδικασία της προσομοίωσης στους ακόλουθους τομείς:

- επαλήθευση και τεκμηρίωση θεωρίας

Ο Robinson (Rohrer, 2000) υποστηρίζει ότι και η λογική του μοντέλου αλλά και η συμπεριφορά του πραγματικού κόσμου, μπορεί να επαληθευθεί μέσα από την οπτικοποίηση του μοντέλου. Η επαλήθευση αποτελεί εκείνη τη διαδικασία στην οποία γίνεται σύγκριση του εννοιολογικού μοντέλου με το μοντέλο του υπολογιστή. Το εννοιολογικό μοντέλο αποτελεί το ενδιάμεσο μοντέλο ανάμεσα στο πραγματικό σύστημα και στο μοντέλο του υπολογιστή. Η τεκμηρίωση αποτελεί τη διαδικασία καθορισμού του κατά πόσο το μοντέλο αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα.

- κατανόηση αποτελεσμάτων

Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι εμφανή τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, με άμεση συνέπεια η οπτικοποίηση να παρέχει τη δυνατότητα κατανόησης των αποτελεσμάτων. Ο δημιουργός αλλά και ο χρήστης του μοντέλου μπορεί να δει τι συμβαίνει και να κατανοήσει το πώς η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος επηρεάζει τα αποτελέσματα. εστιάζοντας κατά την οπτικοποίηση σε συγκεκριμένες περιοχές που τον ενδιαφέρουν.

- μεταβίβαση πληροφοριών

Η οπτικοποίηση είναι σημαντική για τη μεταβίβαση πληροφοριών προς τους εκπαιδευόμενους. Η παρατήρηση της οπτικοποίησης μπορεί να περιορίσει τις μακροσκελείς λεκτικές περιγραφές.

- επιτυχία αξιοπιστίας για την προσομοίωση

Παρατηρώντας την συμπεριφορά του μοντέλου και ελέγχοντας το μαθηματικό μοντέλο, μπορεί να διαπιστωθεί ότι το μοντέλο αποτελεί μία ακριβή αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος. Η αξιοπιστία της προσομοίωσης μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα πειραματικά αποτελέσματα.

Η κινούμενη εικόνα (animation) μπορεί να προσθέσει σημαντική δυναμική στην οπτικοποίηση που δημιουργείται από τον υπολογιστή. Μπορούμε να διαχωρίσουμε ανάμεσα σε δύο κυρίως χρήσεις της κινούμενης εικόνας. Πρώτα, η κινούμενη εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διευκρίνιση πληροφορίας που κατά κύριο λόγο είναι στατική. Για παράδειγμα, με την περιστροφή ενός μοντέλου μορίου που έχει παραχθεί από τον υπολογιστή μπορεί κανείς να πάρει πληροφορίες για την τρισδιάστατη δομή του. Δεύτερον, η κινούμενη εικόνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσφέρει δυναμικότητα –χρονική– στην οπτικοποίηση ενός συστήματος.

### **3.4 Θεωρία διπλής κωδικοποίησης (Dual Coding Theory)**

Υπάρχουν αρκετές έρευνες που καταδεικνύουν ότι ο τρόπος με τον οποίο οι πληροφορίες παρουσιάζονται κατά την εκπαιδευτική διαδικασία έχει ιδιαίτερη σημασία. Μία θεωρία που σχετίζεται με την έρευνα για τις αλληλεπιδραστικές προσομοιώσεις / οπτικοποιήσεις είναι η θεωρία διπλής κωδικοποίησης (dual coding theory).

Η θεωρία διπλής κωδικοποίησης (dual coding ) (Rieber, 2001) αποτελεί μία από τις πιο συχνά αναφερόμενες θεωρίες ψυχολογίας που προσφέρουν θεωρητικό υπόβαθρο για τη χρήση εικόνων και πολυμέσων στην εκπαίδευση. Η θεωρία διπλής κωδικοποίησης προτείνει ότι η μνήμη περιλαμβάνει δύο ξεχωριστά αλλά άμεσα συσχετιζόμενα συστήματα για την επεξεργασία της πληροφορίας –ένα λεκτικό και ένα οπτικό. Τα λεκτικά και οπτικά συστήματα αν και μπορούν να ενεργοποιηθούν ανεξάρτητα, πραγματοποιούν συνδέσεις μεταξύ τους, που επιτρέπουν την διπλή κωδικοποίηση της πληροφορίας. Οι συνδέσεις ανάμεσα στα δύο συστήματα επιτρέπουν παρεμβολές μεταξύ των δύο συστημάτων, που τελικά διευκολύνουν την ερμηνεία του περιβάλλοντος (Rieber, 2001; Simpson, 1995).

Κάθε ένα από τα συστήματα διαθέτει διαφορετικές λειτουργίες, αποθηκευτικές διεργασίες χαρακτηριστικών μονάδων μνήμης (Rieber, 2001). Το λεκτικό σύστημα αναφέρεται ειδικά στην επεξεργασία και την αποθήκευση της γλωσσικής πληροφορίας (λέξεις, προτάσεις, κ.λ.π.). Η πληροφορία αποθηκεύεται σε διακριτές, επάλληλες μονάδες που καλούνται logogens. Σε αντίθεση το οπτικό σύστημα αναφέρεται ειδικά στην επεξεργασία και την αποθήκευση εικόνων ή αναπαραστάσεων. Η επεξεργασία στο οπτικό σύστημα θεωρείται περισσότερο ολιστικό και βασίζεται σε συνεχείς οργανωμένες μονάδες που καλούνται imagens.

Η θεωρία διπλής κωδικοποίησης προβλέπει τρεις διακριτές διαδικασίες μέσα και ανάμεσα στα λεκτικά και οπτικά συστήματα:

αναπαραστατική (representational),

συνεργατική (associative), και

αναφορική (referential).

Η αναπαραστατική διαδικασία περιγράφει τις συνδέσεις ανάμεσα στα εισερχόμενα ερεθίσματα από το περιβάλλον και αφορούν είτε στα λεκτικά είτε στα οπτικά συστήματα.

Η συνεργατική διαδικασία αναφέρεται στην ενεργοποίηση των πληροφοριακών μονάδων είτε των λεκτικών είτε των οπτικών συστημάτων, ενώ η αναφορική είναι η διαδικασία δημιουργίας συνδέσεων ανάμεσα στα λεκτικά και στα οπτικά συστήματα.

Στο απλούστερο επίπεδο, η θεωρία διπλής κωδικοποίησης προβλέπει ότι οι λέξεις και οι εικόνες που χρησιμοποιούνται στην εκπαιδευτική διαδικασία θα ενεργοποιήσουν αυτά τα δύο συστήματα με διαφορετικούς τρόπους. Η θεωρία αυτή θεωρεί ότι η επίδραση της εικόνας είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τη λεκτική περιγραφή αφού οι εικόνες θεωρείται ότι είναι πολύ πιθανό

να κωδικοποιούνται τόσο οπτικά όσο και λεκτικά, ενώ αντιθέτως οι λέξεις θεωρείτε ότι δεν κωδικοποιούνται οπτικά. Αυτός είναι ο λόγος όπου γίνεται απαραίτητη η χρήση εικόνων και οπτικοποιήσεων κατά την εκπαιδευτική διαδικασία.

### **3.5 Κβαντική Φυσική και άτομο του υδρογόνου**

Γιατί να οπτικοποιήσουμε το άτομο του υδρογόνου;

Οι Χατζηδάκη κα., (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.

Πράγματι η μελέτη του ατόμου του υδρογόνου –ώστε να γίνουν κατανοητές έννοιες όπως: κατάσταση, κβαντικοί αριθμοί, πιθανή θέση– σύμφωνα με το κβαντικό πρότυπο απαιτεί τη γνώση λογισμού για την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης του Schrödinger αλλά και για την επίλυση ολοκληρωμάτων που αφορούν στις ακτινικές κατανομές για τις διάφορες καταστάσεις της κυματοσυνάρτησης  $\Psi$ . Η επίλυση αυτή, πέρα από το ότι είναι αρκετά δύσκολο να πραγματοποιηθεί από φοιτητές που δεν φοιτούν στις σχολές φυσικών επιστημών του πανεπιστημίου –παρά το ότι τα ολοκληρώματα αποτελούν κομμάτι της ύλης που διδάχθηκαν και εξετάστηκαν για την εισαγωγή τους στο πανεπιστήμιο– δεν ανήκει στη φιλοσοφία του αναλυτικού προγράμματος των φυσικών επιστημών ενός παιδαγωγικού τμήματος. Η χρήση ενός προγράμματος προσομοίωσης / οπτικοποίησης για την αναπαράσταση του ατόμου του υδρογόνου βοηθά στη μη διδασκαλία του φορμαλισμού που διέπει τη μελέτη του ατόμου του υδρογόνου. Αν, λοιπόν, ο φορμαλισμός της κβαντικής θεωρίας δεν αποτελεί σύμμαχο για τη διδασκαλία του μοντέλου του ατόμου του υδρογόνου, σίγουρα η βιωματική εμπειρία είναι αδύνατο να αποτελέσει σύμμαχο για τη διδασκαλία της συγκεκριμένης θεματικής, όπως εξάλλου και για κάθε άλλη θεματική ενότητα που αναφέρεται σε διαδικασίες ή φαινόμενα του μικροκόσμου.

Η χρήση της προσομοίωσης / οπτικοποίησης εστιάζει σε αυτό καθαυτό –το μη ορατό– μοντέλο που αναπαρίσταται και αναδεικνύει συγκεκριμένα στοιχεία. Καταρχάς η προσομοίωση / οπτικοποίηση εμφανίζει το ηλεκτρόνιο σε διάφορες και τυχαίες θέσεις καταδεικνύοντας το γεγονός της μη ύπαρξης τροχιάς του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα αλλά της εμφάνισής του σε τυχαίες θέσεις γύρω από αυτόν. Στις καταστάσεις μάλιστα που έχουν τη μεγαλύτερη δυνατή τιμή στον δευτερεύοντα κβαντικό αριθμό / για κάθε  $n$ , αναδεικνύεται το γεγονός ότι η ακτινική κατανομή παρουσιάζει ένα και μόνο μέγιστο σε απόσταση  $n^2 a_0$ .

Η προσομοίωση / οπτικοποίηση αναδεικνύει, εξάλλου την αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg. Η αποδοχή αυτής της αρχής οδηγεί αυτομάτως στην κατάρριψη όλων των πλανητικών προτύπων, συμπεριλαμβανομένου και του ατομικού προτύπου του Bohr, μιας και η κίνηση του ηλεκτρονίου σε καθορισμένη τροχιά προϋποθέτει επακριβή γνώση της θέσης και της ορμής (ταχύτητας).

Η χρήση εξάλλου της προσομοίωσης / οπτικοποίησης δικαιολογείται και από τα ευρήματα της βιβλιογραφικής έρευνας (Robblee et. al., 1999; Petri et.al., 1998) –αλλά και από την έρευνα που διεξήγαμε και παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο– σύμφωνα με τα οποία η χρήση των προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία έχει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα σε σχέση με την χρήση μόνο λεκτικών περιγραφών ή μόνο στατικών εικόνων.

### 3.6 Το μοντέλο των πιθανοτήτων

#### 3.6.α Πυκνότητα πιθανότητας και ακτινικές κατανομές

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

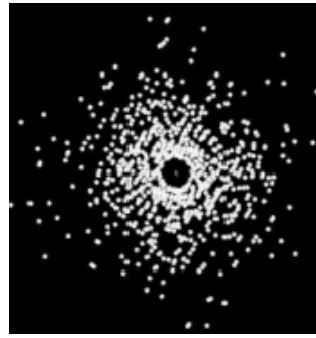
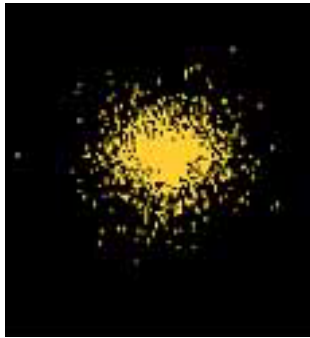
Ένα άλλο βοηθητικό μέσο για την έμμεση απεικόνιση των κυματοσυναρτήσεων είναι η ακτινική κατανομή πιθανότητας που ερμηνεύεται ως η πιθανότητα να βρεθεί το ηλεκτρόνιο σε διαφορετικές αποστάσεις από την αρχή των αξόνων. Η ακτινική κατανομή πιθανότητας προσδιορίζεται από το ολοκλήρωμα:

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

Η αναπαράσταση της  $\psi^2$  δίνει διαφορετική οπτική εικόνα από την αναπαράσταση της  $P(r)$  (εικόνα 3.1.α και 3.1.β). Αν χρησιμοποιήσουμε για παράδειγμα την κυματοσυνάρτηση της 1s κατάστασης

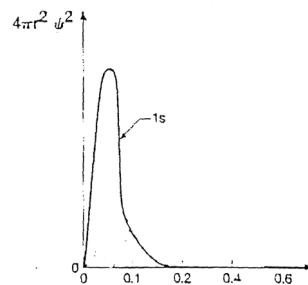
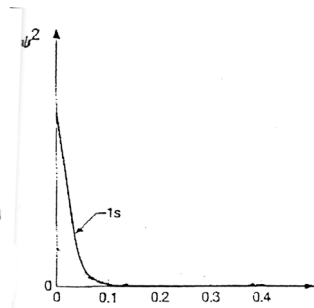
$$\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}$$

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



εικόνα 3.1.α: αναπαράσταση  $\psi^2$  για την 1s κατάσταση  
 εικόνα 3.1.β: αναπαράσταση  $P(r)$  για την 1s κατάσταση

Αντίστοιχα οι γραφικές παραστάσεις των δύο συναρτήσεων είναι (εικόνα 3.2.α και 3.2.β):



εικόνα 3.2.α: αναπαράσταση  $\psi^2$  για την 1s κατάσταση  
 εικόνα 3.2.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  $\psi^2$  η μέγιστη τιμή βρίσκεται στον πυρήνα ενώ για την περίπτωση της  $P(r)$  βρίσκεται στην πρώτη τροχιά του Bohr (Young, 1994, σελ. 1189-1190).

### 3.6.β Προγράμματα προσομοίωσης / οπτικοποίησης στο διαδίκτυο

Πριν τη δημιουργία του προγράμματος προσομοίωσης / οπτικοποίησης για το άτομο του υδρογόνου, πραγματοποιήθηκε αναζήτηση στο διαδίκτυο αντίστοιχων προγραμμάτων. Η ανάλυση των προγραμμάτων (προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων) που προέκυψαν από την αναζήτηση στο διαδίκτυο (βλ. παραδείγματα σελίδων στο παράρτημα 7) έγινε με βάση τις ακόλουθες κατηγορίες:

- η οπτικοποίηση αφορά σε απεικόνιση της πυκνότητας πιθανότητας και μάλιστα γίνεται η διάκριση για το αν η απεικόνιση πραγματοποιείται με επιφάνειες ή κουκίδες,
- η οπτικοποίηση αφορά σε απεικόνιση της ακτινικής κατανομής και μάλιστα γίνεται η διάκριση για το αν η απεικόνιση πραγματοποιείται με επιφάνειες ή κουκίδες,

- το πρόγραμμα εμφανίζει τις μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την οπτικοποίηση,
- το πρόγραμμα εμφανίζει διαγράμματα των μαθηματικών σχέσεων που χρησιμοποιήθηκαν για την οπτικοποίηση,
- το πρόγραμμα περιλαμβάνει επεξηγηματικό κείμενο,
- το πρόγραμμα περιλαμβάνει φύλλο εργασίας.

Από την ανάλυση των ιστοσελίδων προέκυψε ότι οι περισσότερες σελίδες περιλαμβάνουν οπτικοποιήσεις για την πυκνότητα πιθανότητας. Η αναπαράσταση γίνεται κατά κύριο λόγο με επιφάνειες ενώ σε πολύ μικρό ποσοστό με κουκίδες. Πάλι, για την αναπαράσταση των ακτινικών κατανομών χρησιμοποιούνται επιφάνειες ενώ σε μεγάλο ποσοστό χρησιμοποιούνται και επιφάνειες αλλά και κουκίδες.

Σε πολύ μικρό ποσοστό στις σελίδες αναγράφονται οι μαθηματικές σχέσεις ενώ σε μεγαλύτερο ποσοστό γίνεται χρήση διαγραμμάτων, που αφορούν κατά κύριο λόγο την  $\Psi^2$ . Τέλος το ένα τρίτο περίπου των σελίδων περιλαμβάνουν επεξηγηματικά κείμενα για τις αναπαραστάσεις.

Ένα αρκετά διαδεδομένο μοντέλο, για το άτομο του υδρογόνου, στο οποίο έχει όμως ασκηθεί κριτική είναι το μοντέλο «Electronium». Πρόκειται για ένα μοντέλο (Niedderer H. et al, 1998) που δημιουργήθηκε από τον *Friedrich Hermann* το 1990 και στηρίζεται στην εξίσωση του *Schrödinger*. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, το ηλεκτρόνιο είναι ένα επιμηκυμένο αντικείμενο, που αποτελείται από το συστατικό *Electronium*, που κατανέμεται γύρω από τον πυρήνα. Οι δημιουργοί του μοντέλου παρομοιάζουν το *Electronium* ως ένα υγρό. Το *Electronium* δεν είναι συγκεκριμένο ως προς τη φύση, αλλά είναι συνεχές με διαφορετική ένταση. Το  $\Psi^2$  είναι ανάλογο της έντασης του *Electronium*, και στη θεμελιώδη κατάσταση η πυκνότητα του *Electronium* ελαττώνεται συνεχώς καθώς απομακρυνόμαστε από το κέντρο του ατόμου. Στις στάσιμες καταστάσεις το σχήμα του *Electronium* παραμένει σταθερό με το χρόνο, συνεπώς δεν υπάρχει καμία αναφορά σε κίνηση. Στην περίπτωση της μετάβασης από μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη σε μία χαμηλότερη μεταβάλλεται η κατανομή του φορτίου και εκπέμπεται *H/M* ακτινοβολία. Αν μετρηθεί η θέση του ηλεκτρονίου, το φορτίο συγκεντρώνεται σε ένα σημείο. Σε αυτή την περίπτωση το  $\Psi^2$  ερμηνεύεται ως η μέτρηση της πιθανότητας για τη μετάβαση από την κατάσταση στην οποία το ηλεκτρόνιο κατανέμεται σε ολόκληρο το χώρο στην κατάσταση στην οποία το ηλεκτρόνιο βρίσκεται στη συγκεκριμένη θέση.

Στο μοντέλο έχει ασκηθεί κριτική από τους *Strnad* και *Warren* (2003) για τους ακόλουθους λόγους:

1. Οι μαθητές που θα ακολουθήσουν σπουδές στο πεδίο της φυσικής θα πρέπει να ξεχάσουν αυτό το μοντέλο.



2. Οι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης θα αναρωτηθούν που βρίσκεται το θετικό «υγρό»; Γιατί δεν παρουσιάζεται το “protonium”;

3. Ενώ υπάρχει ένα τεράστιο κεντρικό θετικό φορτίο η ελκτική δύναμη θα έπρεπε να επιταχύνει τα μέρη του αρνητικού «υγρού» προς το κέντρο. Το Electronium θα ήταν στατικό μόνο αν ήταν άκαμπτο.

4. Το μοντέλο στερεί τους μαθητές υπό την έννοια ότι τα σωματίδια για να συνδέονται σε έναν μικρό όγκο απαιτείται γρήγορη κίνηση σε συνδυασμό με μία ισχυρή ελκτική δύναμη.

5. Το εκτεταμένο ηλεκτρόνιο αναφέρεται στην περιγραφή του μοντέλου αρκετές φορές. Πειράματα σε επιταχυντές με ηλεκτρόνια που συγκρούονται με ποζιτρόνια σε υψηλές ενέργειες δεν έδειξαν καμία ένδειξη ότι το φορτίο του ηλεκτρονίου μπορεί να είναι εκτεταμένο.

6. Το προτεινόμενο μοντέλο δεν είναι ακριβές όταν αναφέρεται ότι μπορεί να ερμηνεύσει τους χημικούς δεσμούς. Σε ένα άτομο με ατομικό αριθμό  $Z$ , πώς μπορεί το φορτίο ενός ηλεκτρονίου, στην προσέγγιση του ενός σωματιδίου, να διαχωριστεί από το σφαιρικά συμμετρικό φορτίο των  $Z-1$  ηλεκτρονίων του πυρήνα; Ηλεκτρόνια σε πολυηλεκτρονικά άτομα στη θεμελιώδη κατάσταση μπορούν να έχουν στροφορμή. Πως μπορεί αυτό να συμβιβασθεί με την φράση ότι το ηλεκτρόνιο δεν κινείται καθόλου;

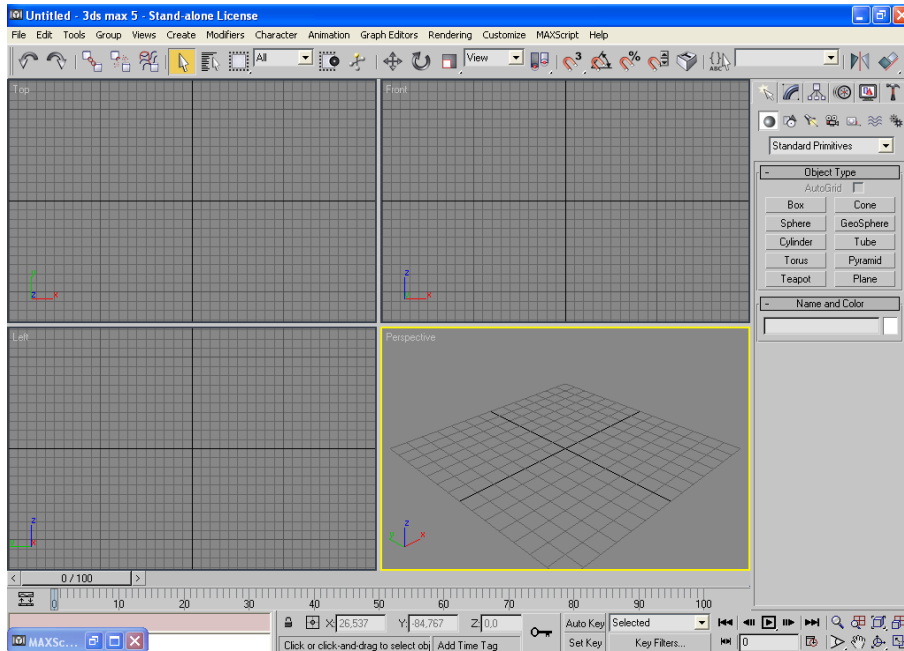
7. Το 1926 ο Schrödinger πρότεινε την πυκνότητα φορτίου για ένα μέρος του συνολικού φορτίου, ιδέα που γρήγορα εγκαταλείφθηκε αφού πάντα παρατηρείται το συνολικό φορτίο και όχι ένα μέρος αυτού.

Το μοντέλο ‘Electronium’ έρχεται σε αντίθεση με την κβαντική θεωρία. Συγκεκριμένα αρνείται την κίνηση στο εσωτερικό των ατόμων. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg αφού αν κάποιο από τα μέρη του ‘Electronium’ δεν κινείται τότε η ορμή θα είναι ίση με το μηδέν και η θέση μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Έτσι το μοντέλο έρχεται σε πλήρη αντίθεση με βασικές αρχές και δεν μπορεί να θεωρείται ως επιτυχές με μοναδικό κριτήριο το ότι οι μαθητές πείθονται να το χρησιμοποιούν.

### **3.6.γ Προσομοιώνοντας το άτομο του υδρογόνου με το μοντέλο πιθανοτήτων**

#### **α) 3d studio max**

Για την κατασκευή της προσομοίωσης / οπτικοποίησης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα τρισδιάστατων αναπαραστάσεων 3D studio max 5. Το 3D studio max αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα πακέτα για τη δημιουργία τρισδιάστατων γραφικών. Χρησιμοποιεί το παραθυρικό σύστημα (εικόνα 3.3), έχει ισχυρές δυνατότητες αναπαραστάσεως τρισδιάστατων γραφικών και παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας δυναμικών προσομοιώσεων.



Εικόνα 3.3: Το παράθυρο της εφαρμογής

Η όποια χρήση των δυνατοτήτων του προγράμματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Είτε με χρήση των μενού του παραθύρου της εφαρμογής είτε με συγγραφή κώδικα σε γλώσσα Max script, που στηρίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού C++.

## β) περιγραφή κώδικα

Για την προσομοίωση / οπτικοποίηση του φαινομένου χρησιμοποιήθηκαν οι ακτινικές κατανομές πιθανότητας των κυματοσυναρτήσεων που προκύπτουν από τη λύση της εξίσωσης του Schrödinger για τις καταστάσεις  $1s$ ,  $2s$ ,  $2p$ .

Οι κυματοσυναρτήσεις είναι οι ακόλουθες:

$$\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}, \quad \psi_{200} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi a_0^3}} \left(2 - \frac{r}{a_0}\right) e^{-r/2a_0}$$

$$\psi_{210} = \frac{1}{4\sqrt{2\pi a_0^3}} \left(2 - \frac{r}{a_0}\right) e^{-r/2a_0} \cos \vartheta, \quad \psi_{21\pm 1} = \frac{1}{8\sqrt{\pi a_0^3}} \frac{r}{a_0} e^{-r/2a_0} \sin \vartheta e^{\pm i\varphi}$$

Για την απεικόνιση της ακτινικής κατανομής πιθανότητας με κουκίδες ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία. Η κυματοσυνάρτηση της θεμελιώδους κατάστασης  $1s$  του ατόμου του ατόμου υδρογόνου είναι:

$$\varphi_{1s}(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} e^{-r/a_0}$$

Για να βρούμε την πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου σε απόσταση από  $x < r < y$ , υπολογίζουμε το ολοκλήρωμα:

$$P(x < r < y) = \int_x^y |\varphi_{1s}|^2 dV.$$

Οι τιμές που προκύπτουν (βλ. παράρτημα Α για την επίλυση των εξισώσεων) είναι:

Περιοχές	Πιθανότητα	Πιθανότητα ×100	Στρογγυλοποίηση	Κανονικοποίηση %	Άθροισμα
0- $a_0/4$	0,014388	1,438768	1	2	
$a_0/4$ - $a_0/2$	0,065914	6,591372	7	11	14
$a_0/2$ - $3a_0/4$	0,110852	11,08518	11	19	33
$3a_0/4$ - $a_0$	0,13217	13,21704	13	23	56
$a_0$ - $5a_0/4$	0,132863	13,28633	13	23	79
$5a_0/4$ - $6a_0/4$	0,120623	12,0623	12	21	99

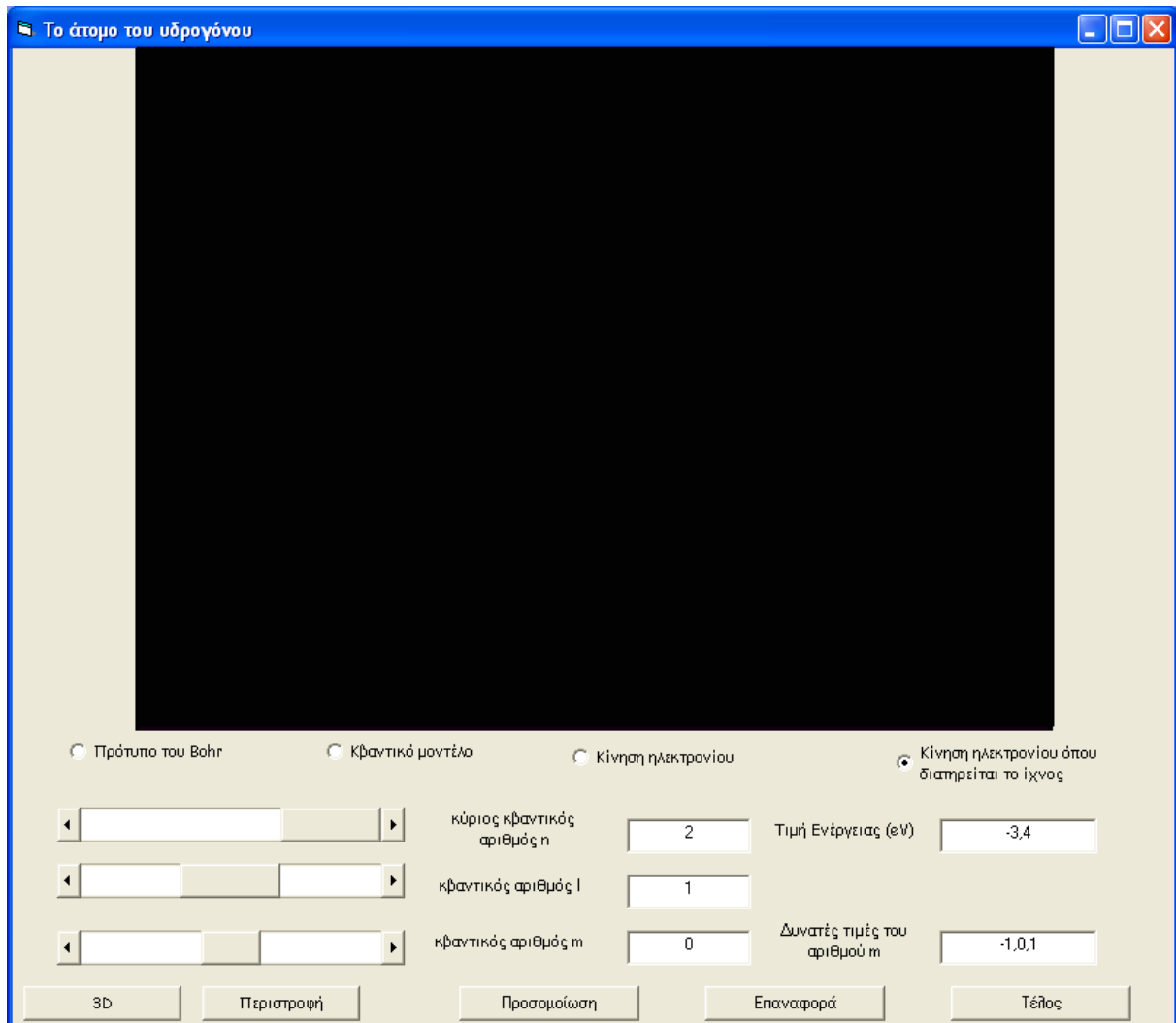
Για χρονικό διάστημα 1 –100 παράγουμε μια σειρά από 100 αριθμούς στο διάστημα [1,100]. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται επίπεδη –ισοπίθανη– συνάρτηση παραγωγής τυχαίων αριθμών. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τη στήλη «Άθροισμα» του παραπάνω πίνακα. Την κάθε φορά που παράγεται ένας αριθμός αποτυπώνεται στην 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  $a_0/2$ -  $3a_0/4$ . Η αποτύπωση της σφαίρας–ηλεκτρονίου γίνεται και πάλι με χρήση συνάρτησης παραγωγής τυχαίων αριθμών. Ο πλήρης κώδικας του προγράμματος φαίνεται στο αντίστοιχο παράρτημα (παράρτημα Α).

### γ) περιγραφή πλατφόρμας

Τα αρχεία που προκύπτουν στην εφαρμογή 3d studio max, εξάγονται με τη μορφή βίντεο. Για την καλύτερη εκπαιδευτική χρήση τους αναπτύχθηκε μία πλατφόρμα στη Visual Basic, η οποία με κατάλληλη μεταβολή παραμέτρων καλεί τα αντίστοιχα βίντεο.

Η πλατφόρμα (εικόνα 3.4) δίνει τη δυνατότητα επιλογής του προτύπου του Bohr και του μοντέλου πιθανοτήτων (probability model). Η πλατφόρμα επίσης παρέχει τη δυνατότητα να παραμένει το ίχνος του ηλεκτρονίου στην οθόνη ώστε οι φοιτητές να διαπιστώνουν την κυκλική τροχιά στο μοντέλο του Bohr αλλά και την τυχαιότητα –με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης σε ορισμένες περιοχές– στην κίνηση του ηλεκτρονίου στην περίπτωση της κβαντικής φυσικής.

Στην τελευταία περίπτωση οι φοιτητές μπορούν να μεταβάλλουν παραμέτρους που αφορούν στους κβαντικούς αριθμούς βλέποντας κατά την προσομοίωση τόσο τα διαφορετικά σχήματα του μοντέλου πιθανότητας που σταδιακά σχηματίζεται όσο και τις τιμές της ενέργειας.



Εικόνα 3.4: Πλατφόρμα για διάφορες καταστάσεις στο άτομο του υδρογόνου

#### 4. Η Αναγκαιότητα

Η κβαντική φυσική αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα οικοδομήματα της σύγχρονης επιστήμης. Οι ιδιότητες των υλικών, τα φάσματα, η θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα ..., απαιτούν την κβαντική φυσική για την ερμηνεία τους. Η θεωρία αυτή οδήγησε, εξάλλου, στην ανάπτυξη των τρανζίστορ και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, που αποτελούν τα σημαντικότερα στοιχεία ηλεκτρονικών συσκευών όπως είναι η τηλεόραση και οι υπολογιστές. Είναι σχεδόν αδύνατον να φανταστούμε τη σύγχρονη εποχή χωρίς τη συνεισφορά της κβαντικής φυσικής.

Παρόλα αυτά και παρά το γεγονός ότι η κβαντική φυσική αποτελεί μία πλήρη θεωρία εδώ και περισσότερο από μισό αιώνα εμφανίζεται μία υστέρηση στην ενημέρωση των αναλυτικών προγραμμάτων της εκπαίδευσης στις Φυσικές Επιστήμες με τις αρχές και της προσεγγίσεις της. Πράγματι, όπως πιστοποιείται από πλήθος ερευνητών (Dobson, 1985; Mashadi, 1996), το αντικείμενο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών εστιάζεται και περιλαμβάνει κυρίως τις επιστημονικές γνώσεις του 19<sup>ου</sup> αιώνα, αφήνοντας περιορισμένο χώρο για τις γνώσεις του 20ού αιώνα, την αποκαλούμενη «σύγχρονη» φυσική.

Κάποιοι υποστηρίζουν ότι αυτή η υστέρηση οφείλεται στον αφαιρετικό χαρακτήρα της κβαντικής φυσικής (Zollman, 2001) καθώς και στη δυσκολία εποπτείας των μικροσκοπικών δομών και διαδικασιών, όπως προτείνονται από τη μετακλασική φυσική (Muller and Wiesner, 2002; Kalkanis, G. et.al., 2001). Επιπλέον, ούτε οι εφαρμοζόμενες διδακτικές προσεγγίσεις των παραδοσιακών αναλυτικών προγραμμάτων ούτε τα παραδοσιακά εκπαιδευτικά υλικά, δείχνουν να διευκολύνουν τους μαθητευόμενους (και κυρίως όσους έχουν περιορισμένες γνώσεις φυσικών επιστημών και μαθηματικών) και να τους βοηθούν να μη δημιουργούν εναλλακτικές αντιλήψεις που οφείλονται σε επιστημολογικά και γνωστικά εμπόδια, τα οποία μοιάζουν να προέρχονται από την παραδοσιακή εκπαίδευση τόσο πριν όσο και κατά τη διάρκεια της πανεπιστημιακής εκπαίδευσης. Η πιθανοκρατική –έναντι της αιτιοκρατικής– λειτουργίας του μικροκόσμου, η δυϊδική αντιμετώπιση (σωματιδιακή, κυματική) των δομών και διαδικασιών του –έναντι της παραδοσιακής αντίληψης της τροχιάς των σωματιδίων –αλλά και η αβεβαιότητα / απροσδιοριστία –έναντι της σαφούς απεικόνισής τους– που επιβάλλουν οι αρχές της, απαιτούν μια νέα αντιμετώπιση, τουλάχιστον (και) στους φοιτητές της τριτοβάθμιας εκπαίδευσης που δεν έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική (Kalkanis, G., 2001).

Ορισμένες πρόσφατες μελέτες προτείνουν μια μετατόπιση του διδακτικού περιεχομένου των φυσικών επιστημών από την κλασική (νευτώνεια μηχανική, ηλεκτρομαγνητισμός, θερμοδυναμική) στη μετακλασική φυσική (σχετικότητα, κβαντική- και άστρο-φυσική) και τη σύγχρονη (κβαντική κοσμολογία, κβαντική πληροφορική, σύνθετα συστήματα, θερμοδυναμική της πρωταρχικής ύλης (Kalkanis, G., 2000)) και την εφαρμογή των μετακλασικών μοντέλων στα αρχικά στάδια των εκπαιδευτικών προγραμμάτων φυσικών επιστημών καθώς και αλλαγές στη διδακτική πρακτική (Zollman D., 1999).

Επίσης, έχουν δημοσιευθεί πληθώρα προτάσεων για εκπαιδευτικό υλικό βασισμένο σε σύγχρονες τεχνολογίες πληροφόρησης (G. Kalkanis, 1997, Zollman et. al, 2001, Petri et. al. , 1998 ; Robblee et.al., 1999). Ωστόσο, ερωτήματα τα οποία εκκρεμούν –σχετικά με τη δυνατότητα επίτευξης ή την αποδοτικότητα των διαφόρων προτάσεων που θέλουν να έρθουν αντιμέτωπες με διάφορα επιστημολογικά αλλά και γνωστικά εμπόδια– περιμένουν προς το παρόν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από σχετικές εφαρμογές.

#### **4.1 Γιατί να διδάξουμε κβαντική φυσική:**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η κβαντική φυσική αποτελεί ένα θεμελιακό κομμάτι της σύγχρονης επιστήμης με εφαρμογή τόσο σε επίπεδο ερμηνείας φαινομένων όσο και σε επίπεδο τεχνολογικών επιτευγμάτων.

Όσον αφορά στην ερμηνεία φαινομένων η κβαντική φυσική εισήγαγε την πιθανοκρατία στα θεμέλια της Φυσικής και μας οδήγησε να σχηματίσουμε μία εικόνα της φύσης με έναν νέο – θεμελιακά διαφορετικό σε σχέση με πριν– τρόπο (Muller and Wiesner, 2002). Τα μέχρι τώρα αναλυτικά προγράμματα παρέχουν στους μαθητές ένα γνωστικό πλαίσιο που προέρχεται από την Νευτώνεια μηχανική το οποίο μάλιστα σε κάθε περίπτωση παρουσιάζεται ως μη-προβληματικό και ισχυρό –παρότι γνωρίζουμε ότι είναι εννοιολογικά λανθασμένο (Shabajee et. al. , 2000). Υπάρχει μία πληθώρα από ερευνητικά δεδομένα σύμφωνα με τα οποία τα παιδιά τα οποία αφομοιώνουν λανθασμένα ή περιορισμένα γνώσεις που αφορούν στην κατανόηση του κόσμου, είναι δύσκολο να μεταβάλλουν αυτές τις απόψεις (Driver 1985, 1994).

Όσον αφορά στα τεχνολογικά επιτεύγματα η μη ένταξη της κβαντικής φυσικής στα αναλυτικά προγράμματα περιορίζει την ανάδειξη της σχέσης των φυσικών επιστημών με την καθημερινή μας ζωή (Zollman, 2001; Shabajee et. al. , 2000). Ας μην ξεχνάμε ότι άμεση σχέση υπάρχει ανάμεσα στις φυσικές επιστήμες και την τεχνολογία αφού όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αρχές της κβαντικής φυσικής σχετίζονται με τεχνολογικά επιτεύγματα. Λογισμικά, κινηματογραφικές ταινίες, εκπομπές, σελίδες στο διαδίκτυο οδηγούν τα παιδιά να μιλούν για γαλαξίες, μαύρες τρύπες, παράλληλα σύμπαντα και θεωρίες για διαστημικά ταξίδια. Τα παιδιά χρησιμοποιούν υπολογιστικά συστήματα με ημιαγωγούς που στηρίζονται στην κβαντική φυσική. Καινούργιες τεχνολογίες αναφέρονται σε δημοφιλή προγράμματα της τηλεόρασης στα οποία χρησιμοποιούνται όροι όπως «τομογράφοι ποζιτρονίων», «κβαντικοί υπολογιστές», «κβαντική κρυπτογραφία». Έτσι υπάρχει μία εμφανής διαφορά ανάμεσα στη φυσική που είναι σχετική με αυτές τις τεχνολογίες και τη φυσική που τα παιδιά μαθαίνουν στο σχολείο, που αναφέρεται κυρίως σε μπαταρίες και λάμπες, αβαρή ελατήρια και τροχαλίες που δεν εμφανίζουν τριβές. Για τους λόγους αυτούς η επιστήμη που σχετίζεται με τις τεχνολογικές εξελίξεις του 20<sup>ου</sup> αιώνα θα πρέπει να περιγράφονται και να συζητούνται και στις σχολικές τάξεις.

Εξάλλου σύμφωνα με τον Zollman (2001) οι ειδικοί προβλέπουν ότι μέσα στα επόμενα 10 χρόνια η νανοτεχνολογία θα φθάσει στο επίπεδο της κβαντικής μηχανικής. Είναι σημαντικό οι πολίτες να κατανοούν τη νέα τεχνολογία την οποία θα κληθούν να χρησιμοποιήσουν, είναι όμως ακόμα πιο σημαντικό οι μαθητές που προγραμματίζουν τη μελλοντική τους καριέρα να είναι ενήμεροι για την υπάρχουσα θεωρία που θα οδηγήσει σε νέες θέσεις εργασίας.

Κάποιοι μπορεί να επιχειρηματολογήσουν ενάντια στην άποψη αναφέροντας ότι οι τεχνολογίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα μπορεί να μην αναπτύχθηκαν εξαιτίας της φυσικής, κάτι όμως που δεν ισχύει αφού για παράδειγμα η κατασκευή του τρανζίστορ έγινε από ανθρώπους που συνεισέφεραν στη θεωρία των στερεών, καθώς και τα κυκλώματα των υπολογιστών σχεδιάστηκαν από ανθρώπους που σχετίζονταν με τη σωματιδιακή φυσική.

Στο χώρο όμως της εκπαίδευσης σύμφωνα με τους Shabajee και Postlethwaite (2000) η μη ένταξη της μετακλασικής φυσικής στα αναλυτικά προγράμματα περιορίζει την πιθανότητα το σχολικό αναλυτικό πρόγραμμα να βοηθήσει τους μαθητές να αποκτήσουν θετική στάση για το μάθημα της φυσικής. Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο αναζήτησης τρόπων για την ενίσχυση του ενθουσιασμού και του ενδιαφέροντος των μαθητών στις φυσικές επιστήμες αποτελεί χαμένη ευκαιρία η άρνηση στους μαθητές να έχουν πρόσβαση σε ένα κομμάτι της φυσικής που είναι γεμάτο από μυστήριο, ομορφιά και πολυπλοκότητα. Μία καθοδηγούμενη πρόσβαση στις ιδέες της σύγχρονης φυσικής μπορούν να διεγείρουν ένα δια βίου ενδιαφέρον σχετικά με τις φυσικές επιστήμες. Ο Ogborn (1998) σχολιάζει ότι «δεν είναι σωστό ότι εμφανίζεται με τόση έμφαση στα εκλαϊκευμένα βιβλία φυσικής ή και στην τηλεόραση να μην περιλαμβάνονται στα αναλυτικά προγράμματα».

Πέρα όμως αυτά η κβαντική θεωρία παρέχει μία έξοχη παρουσίαση της ιστορίας και της φιλοσοφίας της επιστήμης, που αποτελούν μέρος της επιστημονικής εγγραμμοσύνης. Πρώτα από όλα δεν εφευρέθηκε από μία διάνοια αλλά αποτελεί το αποτέλεσμα συζητήσεων μεταξύ πολλών ανθρώπων, με πολλές διαφορετικές ιδέες. Ακόμα, εξαιτίας των εννοιολογικών προβλημάτων που εισάγει η κβαντική φυσική, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συζητηθούν θέματα όπως τα επιστημονικά μοντέλα και οι θεωρίες.

## **4.2 Η Πρόταση: τα Πρότυπα, η Μεθοδολογία, τα Μέσα**

### **4.2.α Τα επιστημονικά / εκπαιδευτικά πρότυπα**

Σε ό,τι αφορά το περιεχόμενο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών, η ιδέα της εισαγωγής των βασικών ιδεών της κβαντικής φυσικής στην αρχή ενός σχετικού κύκλου σπουδών –σε αντίθεση με τη συνήθη εμφάνισή τους προς το τέλος των σπουδών ή τη μη εμφάνισή τους– ελέγχθηκε και εφαρμόστηκε σταδιακά. Προτείνεται –και επιχειρείται– η προσαρμογή επιστημονικών προτύπων της μετακλασικής (σχετικιστικής, κβαντικής) φυσικής σε εκπαιδευτικά πρότυπα.

### **4.2.β Η μεθοδολογία**

Σε ό,τι αφορά την εκπαιδευτική προσέγγιση, τα μοντέλα της κλασικής και μετακλασικής φυσικής λαμβάνονται υπόψη και παρουσιάζονται ως δύο εξ ολοκλήρου ανεξάρτητα εννοιολογικά συστήματα. Αυτή η προσέγγιση δεν επιτρέπει καμία ανάμιξη ή μεταφορά μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων, και ως εκ τούτου, οδηγεί σε μια πλήρη και σαφή διάκριση ανάμεσά τους, επιβάλλοντας μια αυστηρά καθορισμένη ερμηνεία των σχετικών εννοιών. Αυτή η ερμηνεία απαιτεί την κατανόηση τόσο του όλου όσο και των επί μέρους, με τα τελευταία να ταξινομούνται και να νοούνται στο πλαίσιο των όλων εντός του εκάστοτε εννοιολογικού συστήματος. Θεωρείται ότι η παράθεση μεταξύ των εννοιών των δύο παραδειγμάτων, θα μπορούσε να προκαλέσει μια κατάσταση "κρίσης", παρόμοια με τις ιστορικές (κατά Κυην) κρίσεις, ικανή να αποκαλύψει κάθε εννοιολογική σύγχυση, γεγονός που συνεπάγεται τη ριζική αναδόμηση της γνώσης από τους εκπαιδευόμενους. Η προσθήκη νέας γνώσης ή η επέκταση της υπάρχουσας θα αντιστοιχεί σε μία ασθενή αναδόμηση. Οι βασικές έννοιες κάθε συστήματος, λειτουργώντας ως οι βασικοί κόμβοι του σχετικού εννοιολογικού δικτύου, αντιπροσωπεύουν εννοιολογικά τα μέρη ενός συστήματος (Stavrou, D., et.al., 1999; Hadzidakis, P., et. al., 1999 ).

### **4.2.γ Τα μέσα / το λογισμικό**

Τέλος, όσον αφορά στο υποστηρικτικό υλικό της εκπαιδευτικής παρέμβασης, χρησιμοποιείται ως εργαλείο, λογισμικό που προσομοιώνει / οπτικοποιεί με δυναμικό τρόπο τις πιθανοκρατικές και στοχαστικές διαδικασίες του μικροκόσμου. Η εκπαιδευτική διαδικασία υποστηρίχθηκε από τις σύγχρονες τεχνολογίες πληροφόρησης και τις μεθόδους / τεχνικές της στοχαστικής ανάλυσης για την προσομοίωση και δυναμική οπτικοποίηση των δομών, των αλληλεπιδράσεων, των κινήσεων και των διαδικασιών του μικροκόσμου, σύμφωνα (και) με τα κβαντικά πρότυπα (Σταύρου, Δ., κ.α., 1999; Γ.Θ. Καλκάνης, 2002).

## **4.3 Τα Καινοτομικά Χαρακτηριστικά**

Τα καινοτομικά χαρακτηριστικά της εκπαιδευτικής παρέμβασης αφορούν:



- στο μετασχηματισμό επιστημονικών κβαντικών προτύπων σε εκπαιδευτικά πρότυπα
- στην προσπάθεια εισαγωγής της μετακλασικής φυσικής σε ευρύτερο κύκλο φοιτητών (ακόμη και τμημάτων που δεν έχουν ως κύριο γνωστικό αντικείμενο τη φυσική)
- μεθοδολογικά, στην παράλληλη εισαγωγή της κλασικής και μετακλασικής φυσικής (και όχι σειριακά και συμπληρωματικά)
- τη χρήση των μεθόδων και των τεχνικών της στοχαστικής ανάλυσης, και ειδικότερα των μεθόδων και των τεχνικών Monte Carlo, για την προσομοίωση και δυναμική οπτικοποίηση του μικροκόσμου από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή με χρήση τυχαίων αριθμών.

#### **4.4 Οι Στόχοι**

Η ερευνητική διαδικασία σκοπεύει στην υπερκέραση των επιστημολογικών και γνωστικών εμποδίων που εγείρονται κατά τη διαδικασία απόκτησης των γνώσεων που σχετίζονται με τη «σύγχρονη» / μετακλασική φυσική από τους δασκάλους που διδάσκουν φυσικές επιστήμες (τόσο τους μελλοντικούς όσο και τους εν ενεργεία). Στους βασικούς στόχους της έρευνας περιλαμβάνεται μια ριζική αναμόρφωση στο περιεχόμενο της διδασκαλίας των φυσικών επιστημών το οποίο προσφέρεται στους προπτυχιακούς φοιτητές παιδαγωγικών τμημάτων, αλλά και ο σχεδιασμός μιας διδακτικής προσέγγισης στην κατεύθυνση της κβαντικής φυσικής.

Δεύτερος στόχος είναι η δημιουργία δύο ανεξάρτητων εννοιολογικών συστημάτων / παραδειγμάτων που αντιστοιχούν στα μετακλασικά (κβαντικά) και τα κλασικά μοντέλα για τον μικρόκοσμο και τον μακρόκοσμο, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να επισημαίνεται η μεταξύ τους σχέση και αλληλεπίδραση.

Τρίτος στόχος είναι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη υλοποιήσιμου και αποδοτικού εκπαιδευτικού υλικού για την υποστήριξη της σχετικής διδασκαλίας. Στοχεύουμε στην περιγραφή του κόσμου από μια σχετικιστική / πιθανοκρατική αντίληψη του μικροκόσμου σε μια ντεντερμινιστική / σχεδόν βέβαιη αντίληψη του μακροκόσμου. Αυτή η προσπάθεια θα μπορούσε να προάγει τη διαθεματική αντίληψη της γνώσης, χρησιμοποιώντας τις δομές, τις αλληλεπιδράσεις και τις διαδικασίες του μικροκόσμου ως το ενοποιητικό στοιχείο. Το τελευταίο θα μπορούσε επίσης να προάγει τον ενοποιητικό / συνεκτικό χαρακτήρα της επιστήμης όπως γίνεται αποδεκτός από τις σύγχρονες θεωρίες.

## 5 Σχεδίαση

Κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2002 – 2003 αναπτύχθηκε λογισμικό με στόχο να αξιολογηθεί σε φοιτητές του Παιδαγωγικού τμήματος που αυτό το έτος και κατά το εαρινό εξάμηνο παρακολουθούσαν το υποχρεωτικό εργαστηριακό μάθημα φυσικής του τρίτου έτους. Το αρχικό λογισμικό δομήθηκε σε τρεις θεματικές ενότητες.

	Θεματικές ενότητες
1 <sup>η</sup> ενότητα	Η κυματοσωματιδιακή φύση του φωτός Με τρεις υπο-ενότητες: α) περίθλαση επιφανειακών κυμάτων νερού, β) περίθλαση φωτός, γ) φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.
2 <sup>η</sup> ενότητα	Το άτομο και η κβαντική θεωρία Με δύο υπο-ενότητες: α) Ταλάντωση σώματος, β) Άτομο
3 <sup>η</sup> ενότητα	Φάσματα Με τέσσερις υπο-ενότητες: α) συνεχές φάσμα εκπομπής, β) συνεχές φάσμα απορρόφησης, γ) γραμμικό φάσμα εκπομπής, δ) γραμμικό φάσμα απορρόφησης

Όλες οι θεματικές ενότητες δομούνται με βάση την εκπαιδευτική μεθοδολογία. Οι οθόνες του λογισμικού είναι χωρισμένες σε δύο πλαίσια, όπου το αριστερό πλαίσιο περιλαμβάνει 5 κουμπιά, που αντιστοιχούν στα βήματα της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας. Όταν επιλεγεί κάποιο από αυτά, στο δεξί πλαίσιο ανοίγει τις αντίστοιχες σελίδες.

### 5.1 Το φως

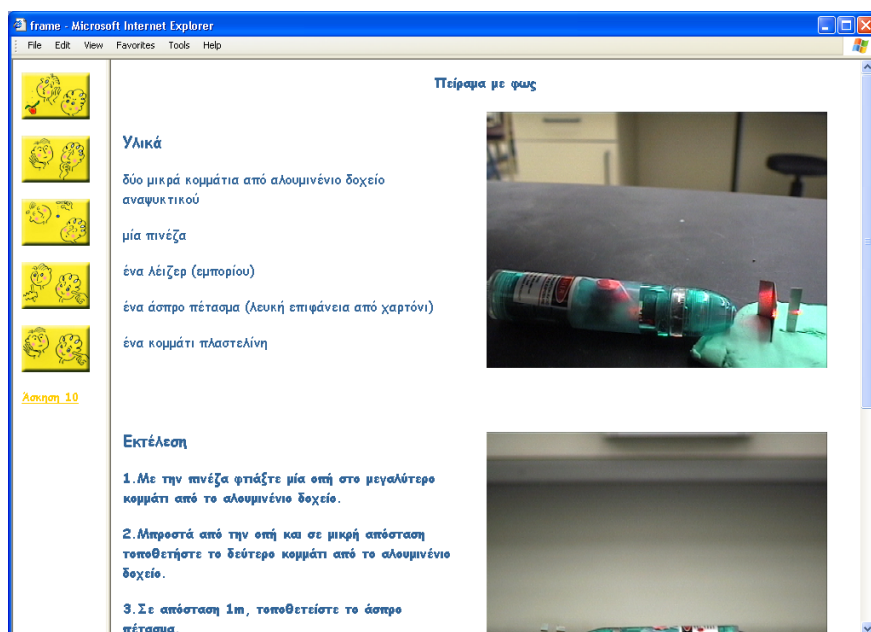
#### Συμβολή επιφανειακών κυμάτων

Έναυσμα της θεματικής ενότητας αποτελεί η συμβολή επιφανειακών κυμάτων του νερού. Ο χρήστης επιλέγοντας το εικονίδιο «Έναυσμα» μεταβαίνει σε σελίδα που υπάρχουν εικόνες που περιγράφουν τη συμβολή επιφανειακών κυμάτων νερού που προέρχονται από δύο πηγές. Στο βήμα «Υποθέσεις», ζητείται από τους χρήστες να διατυπώσουν απόψεις σχετικά με το τι συμβαίνει κατά τη συνάντηση των ομόκεντρων κύκλων που προέρχονται από τις δύο πηγές κυματισμού. Στο βήμα «Πειραματισμός» προτείνεται ως πείραμα επίδειξης η σύγχρονη και ταυτόχρονη ρίψη σταγόνων νερού –με στόχο τη συμβολή των κυμάτων– στην επιφάνεια νερού

που βρίσκεται σε διαφανή λεκάνη και η οποία είναι τοποθετημένη σε επιδιασκόπιο. Οι φοιτητές καταλήγουν σε συμπεράσματα για το φαινόμενο της συμβολής υδάτινων κυμάτων από δύο πηγές ενώ η γενίκευση αναφέρεται στη συμβολή ηχητικών κυμάτων που προέρχονται από ένα διαπασόν.

### Συμβολή φωτός

Η επόμενη θεματική ενότητα αφορά στην κυματική φύση του φωτός. Στο σελίδα του εναύσματος εμφανίζεται εικόνα που προέκυψε από τη διέλευση μίας δέσμης λέιζερ από ένα διάφραγμα με δύο οπές. Οι φοιτητές καλούνται να απαντήσουν στο ερώτημα πόσες οπές υπάρχουν στο διάφραγμα. Στο βήμα «Πειραματισμός» προτείνεται το ακόλουθο πείραμα (εικόνα 5.1): με μία πινέζα δημιουργούμε μία οπή σε ένα κομμάτι από αλουμινένιο δοχείο. Στη συνέχεια μπροστά από την οπή και σε μικρή απόσταση τοποθετούμε ένα δεύτερο κομμάτι από το αλουμινένιο δοχείο έτσι ώστε η δέσμη του laser που γίνεται περισσότερο κατευθυντική κατά τη διέλευσή της από την οπή να διαχωρίζεται σε δύο δέσμες εξαιτίας της ύπαρξης του δεύτερου κομματιού αλουμινίου. Σε απόσταση 1m, περίπου, τοποθετούμε ένα άσπρο πέτασμα και στη συνέχεια ένα λέιζερ πίσω από την οπή. Ανάβουμε το λέιζερ και παρατηρούμε στο άσπρο πέτασμα.



εικόνα 5.1 Πείραμα συμβολής από δύο οπές

Στο βήμα «Συμπεράσματα», δίνονται τα συμπεράσματα σχετικά με τη συμβολή –όπου και αναφέρεται το πείραμα του Young– , ενώ στο βήμα «Γενίκευση», αναφέρονται παραδείγματα συμβολής στη φύση.

### Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Η επόμενη θεματική ενότητα αφορά στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Από την κεντρική σελίδα και με την επιλογή του εικονιδίου «Εναυσμα» ανοίγει η αντίστοιχη σελίδα στην οποία εμφανίζεται

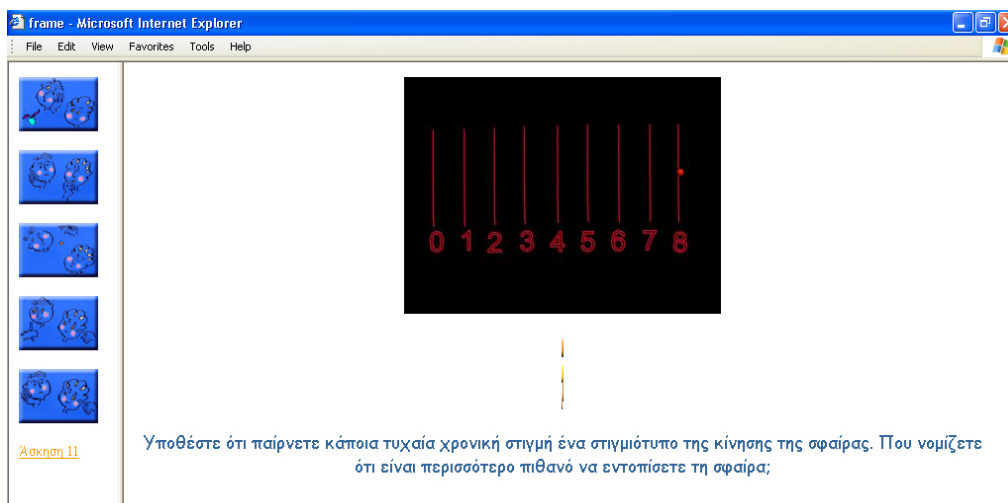
εικόνα που δείχνει έναν αριθμομετρητή που λειτουργεί με φωτεινή ενέργεια. Οι χρήστες καλούνται να απαντήσουν στο ερώτημα σχετικά με το πώς παράγεται ρεύμα από το φως που προσπίπτει στον αριθμομετρητή. Στο βήμα του πειραματισμού υπάρχει ένα πρόγραμμα αλληλεπιδραστικής οπτικοποίησης του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Ο χρήστης χρησιμοποιώντας το φύλλο εργασίας μεταβάλλει παραμέτρους διαπιστώνοντας: α) την εξάρτηση της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων από τη συχνότητα του φωτός και β) τη μη εξάρτηση της κινητικής ενέργειας από την ένταση του φωτός.

Στο βήμα «Συμπεράσματα», αναφέρονται τα συμπεράσματα σχετικά με το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, όπου και δίνεται έμφαση στον όρο φωτόνιο, ενώ στο βήμα της «Γενίκευσης» περιλαμβάνονται εφαρμογές του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Στο ίδιο βήμα υπάρχει άλλη μία σελίδα που αφορά στη γενίκευση της έννοιας του κυματοσωματιδιακού χαρακτήρα και των υποατομικών σωματιδίων.

## 5.2 Το άτομο και η κβαντική θεωρία

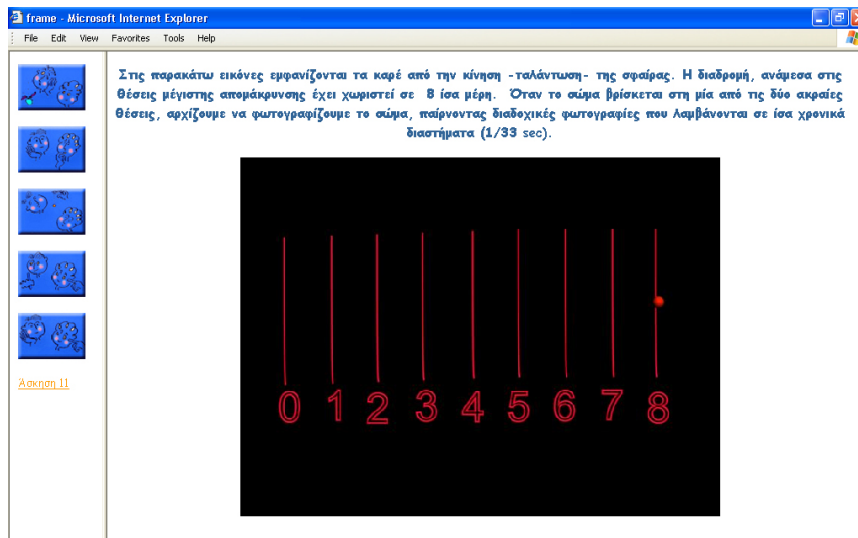
### Ταλάντωση σώματος

Σε αυτή τη θεματική ενότητα μελετάται η ταλάντωση ενός σώματος και μάλιστα πραγματοποιείται η προσομοίωση της ταλάντωσης μίας σφαίρας γύρω από κάποια θέση ισορροπίας. Στόχος της άσκησης ήταν η μελέτη ενός μοντέλου πιθανοτήτων, που προκύπτει από τη διατήρηση του ίχνους της σφαίρας στην οθόνη, ώστε να γίνει κατανοητή, τελικά η έννοια του μοντέλου πιθανοτήτων για το άτομο του υδρογόνου. Ο χρήστης επιλέγοντας το εικονίδιο «Έναυσμα» μεταβαίνει σε σελίδα που εμφανίζεται βίντεο στο οποίο παρουσιάζεται η κίνηση -ταλάντωση- μίας σφαίρας. Στο βήμα «Υποθέσεις» (εικόνα 5.2), ζητείται από το φοιτητή να υποθέσει ότι παίρνει κάποια τυχαία χρονική στιγμή ένα στιγμιότυπο της κίνησης της σφαίρας και στη συνέχεια ερωτάται για το που είναι περισσότερο πιθανό να εντοπίσει τη σφαίρα.



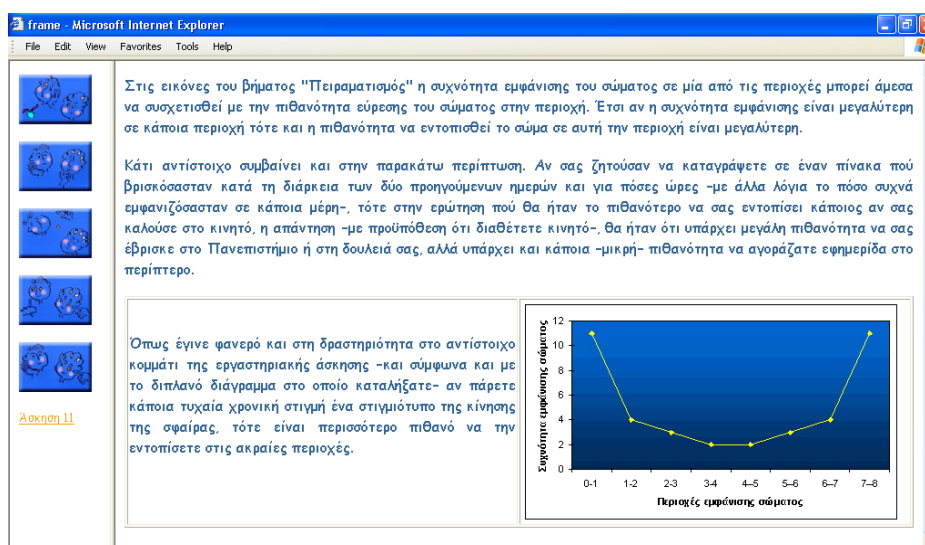
εικόνα 5.2: Σελίδα υποθέσεων για την ταλάντωση της σφαίρας

Στο βήμα «Πειραματισμός» υπάρχει η εξής δραστηριότητα: Σε διαδοχικές ιστοσελίδες εμφανίζονται τα καρέ της κίνησης μίας σφαίρας που ταλαντώνεται σε οριζόντιο επίπεδο. Οι χρήστες πληροφορούνται για το ότι η διαδρομή, ανάμεσα στις θέσεις μέγιστης απομάκρυνσης έχει χωριστεί σε 8 ίσα μέρη (εικόνα 5.3). Στη συνέχεια ζητείται από αυτούς να κάνουν τη γραφική παράσταση των μεγεθών: φορές εμφάνισης σώματος σε μια περιοχή συναρτήσε της περιοχής.



εικόνα 5.3: καρέ από βίντεο που αναπαριστά την ταλάντωση της σφαίρας

Στο βήμα «Συμπεράσματα» (εικόνα 5.4), δίνονται τα συμπεράσματα σχετικά με τη σύνδεση των εννοιών συχνότητα εμφάνισης του σώματος σε μία από τις περιοχές και πιθανότητα εύρεσης του σώματος στην περιοχή καθώς και της έννοιας του μοντέλου πιθανοτήτων.



εικόνα 5.4: σελίδα συμπερασμάτων όπου φαίνεται η γραφική παράσταση του πόσο συχνά εμφανίζεται το σώμα σε μια περιοχή συναρτήσε της περιοχής.

Στο βήμα της «Γενίκευσης» (εικόνα 5.5), δίνεται μια στραβοσκοπική εικόνα που αφορά στην ταλάντωση ενός εκκρεμούς με βάση την οποία κανείς καταλήγει στο συμπέρασμα ότι στις περιοχές που η ταχύτητα είναι μεγάλη δεν είναι εύκολο να προσδιορισθεί η θέση ενός σώματος. Γενικεύοντας καταλήγουμε στην αρχή του Heisenberg σύμφωνα με την οποία δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε συγχρόνως τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου, όπως προβλέπει η κλασική φυσική.

The screenshot shows a browser window titled "frame - Microsoft Internet Explorer". The main content area contains the following text:

Το βίντεο που χρησιμοποιήσαμε για τη μελέτη της ταλάντωσης της σφαίρας έχει δημιουργηθεί στον υπολογιστή. Υπάρχουν παρόλ' αυτά μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να μελετήσουμε την κίνηση των σωμάτων. Μια τέτοια μέθοδος είναι η χρονοφωτογράφιση, κατά την οποία **φωτογραφίζουμε το σώμα, παίρνοντας διαδοχικές φωτογραφίες που λαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα (1/33 sec)**. Το αποτέλεσμα μιας τέτοιας χρονοφωτογράφισης για την ταλάντωση ενός εκκρεμούς εμφανίζεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Παρατηρήστε στη φωτογραφία ότι το είδωλο της σφαίρας σε κάποιες περιοχές είναι ιδιαίτερα ασαφές -προς το μεσαίο τμήμα της κίνησης- ενώ σε κάποιες άλλες -ακραίες περιοχές- είναι πιο ευκρινές. Η ευκρίνεια στο σχηματισμό αφορά στην ταχύτητα του σώματος. Είναι φανερό ότι όταν η ταχύτητα ενός σώματος είναι μεγάλη έχουμε μικρότερη δυνατότητα να προσδιορίσουμε τη θέση στην οποία βρίσκεται. Ενώ αντίθετα όταν η ταχύτητα είναι μικρή τότε η δυνατότητα προσδιορισμού της θέσης είναι μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξαχθεί και από τη φωτογραφία όπου στις ακραίες θέσεις όπου και η ταχύτητα είναι μικρότερη το είδωλο της σφαίρας έχει προλάβει να αποτυπωθεί στη φωτογραφία.

[Άσκηση 11](#)

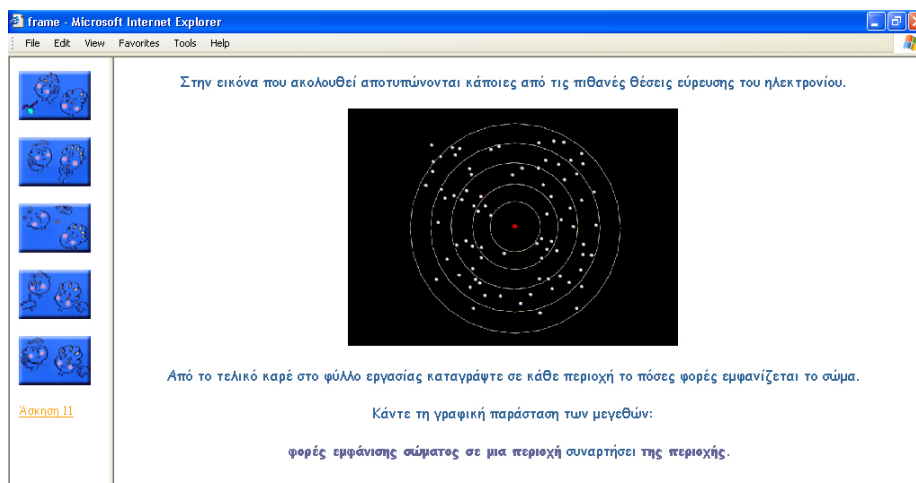
*Τα συμπεράσματα της προηγούμενης παραγράφου μας οδηγούν στο συμπέρασμα που και ο Heisenberg είχε καταλήξει, ότι δηλαδή δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε συγχρόνως τη θέση και την ορμή ενός σωματιδίου, όπως προβλέπει η κλασική φυσική.*



εικόνα 5.5: Στραβοσκοπική εικόνα της ταλάντωσης ενός εκκρεμούς και η αρχή της απροσδιοριστίας

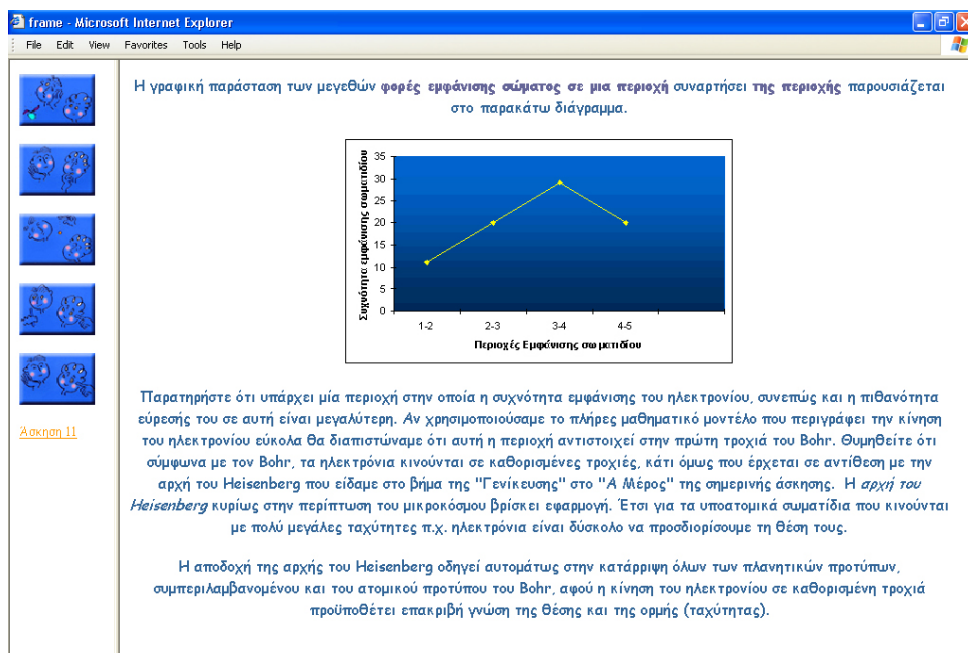
## Το άτομο

Το δεύτερο μέρος της άσκησης αφορά στην κίνηση του ηλεκτρονίου στο άτομο. Στο βήμα του «πειραματισμού» (εικόνα 5.6) εμφανίζεται ένα βίντεο που αναπαριστά την κίνηση ενός ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα. Η κίνηση του δεν ακολουθεί συγκεκριμένη τροχιά ενώ η περιοχή εμφάνισής του έχει χωρισθεί σε κυκλικούς τομείς. Στο βίντεο αποτυπώνονται κάποιες από τις πιθανές θέσεις εύρεσης του ηλεκτρονίου σε αργή κίνηση ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν. Στη συνέχεια ζητείται να πραγματοποιηθεί η γραφική παράσταση: φορές εμφάνισης σώματος σε μια περιοχή συναρτήσει της περιοχής.



εικόνα 5.6: Βίντεο που αποτυπώνονται κάποιες από τις πιθανές θέσεις εύρεσης του ηλεκτρονίου σε αργή κίνηση ώστε να μπορούν να παρατηρηθούν

Στο βήμα «Συμπεράσματα» (εικόνα 5.7), δίνονται τα συμπεράσματα σχετικά με τη σύνδεση των εννοιών συχνότητα εμφάνισης του ηλεκτρονίου σε μία από τις περιοχές και πιθανότητα εύρεσης του ηλεκτρονίου στην περιοχή καθώς και της έννοιας του μοντέλου πιθανοτήτων. Με βάση αυτό συνάγεται το συμπέρασμα ότι υπάρχει μία περιοχή στην οποία η συχνότητα εμφάνισης του ηλεκτρονίου, συνεπώς και η πιθανότητα εύρεσής του σε αυτή είναι μεγαλύτερη. Μάλιστα γίνεται αναφορά στο ότι αν χρησιμοποιούνταν το πλήρες μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει την κίνηση του ηλεκτρονίου εύκολα θα διαπιστωνόταν ότι αυτή η περιοχή αντιστοιχεί στην πρώτη τροχιά του Bohr.



εικόνα 5.7: Σελίδα συμπερασμάτων όπου φαίνεται η γραφική παράσταση του πόσο συχνά εμφανίζεται το ηλεκτρόνιο σε μια περιοχή συναρτήσει της περιοχής.

Τέλος στο στάδιο της Γενίκευσης δίνονται πληροφορίες για το πώς μπορούν να αναπαρασταθούν τα άτομα ενώ επισημαίνονται και κάποιες διαφορές μεταξύ του κβαντικού μοντέλου και του μοντέλου του Bohr.

### 5.3 Φάσματα

#### Συνεχή φάσματα

Στην άσκηση οι φοιτητές παρατηρούν συνεχή ή γραμμικά φάσματα εκπομπής και απορρόφησης με χρήση ενός φασματοσκοπίου. Οι φοιτητές καλούνται να χρωματίσουν στο φύλλο εργασίας την εικόνα που βλέπουν παρατηρώντας μέσα στο φασματοσκόπιο. Ακολουθούν τα συμπεράσματα (εικόνα 5.8) σχετικά με το πώς προκύπτουν οι διαφορετικές μακροσκοπικές παρατηρήσεις, αναφορικά πάντα με τις διαδικασίες διέγερσης και αποδιέγερσης των ατόμων και τις αιτίες που τις προκαλούν.

The screenshot shows a web browser window with the title "frame - Microsoft Internet Explorer". The page content is as follows:

### Διέγερση και αποδιέγερση

Για να κατανοήσει κανείς τη δημιουργία των φασμάτων είναι απαραίτητο να αναφερθεί σε δύο διαδικασίες που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό των ατόμων. Αυτές είναι οι διαδικασίες της διέγερσης και της αποδιέγερσης.

Ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται μακριά από τον πυρήνα έχει μεγαλύτερη δυναμική ενέργεια ως προς τον πυρήνα από κάποιο άλλο που βρίσκεται πιο κοντά του. Λέμε, λοιπόν, πως το πιο απομακρυσμένο ηλεκτρόνιο βρίσκεται σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη.

Ένα ηλεκτρόνιο έχει τη δυνατότητα να βρεθεί σε μεγαλύτερη απόσταση από τον πυρήνα σε σχέση με την προηγούμενη θέση του, συνεπώς έχει τη δυνατότητα να βρεθεί σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη. Στην περίπτωση αυτή ονομάζουμε το άτομο *διεγερμένο*. Το ηλεκτρόνιο όμως έχει την τάση να επιστρέψει στην προηγούμενη κατάστασή του, στη χαμηλότερη δηλαδή ενεργειακή στάθμη. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται με την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, φωτονίου, που η συχνότητά της σχετίζεται με την ενέργεια μετάβασης από την υψηλότερη στη χαμηλότερη στάθμη.

### Συνεχές φάσμα εκπομπής

Όταν παρατηρήσουμε με ένα φασματοσκόπιο πηγή λευκού φωτός παίρνουμε συνεχές φάσμα εκπομπής.

400 nm      500 nm      600 nm      700 nm

εικόνα 5.8: Σελίδα συμπερασμάτων για τις διαδικασίες της διέγερσης και αποδιέγερσης

Η γενίκευση αναφέρεται σε πληροφορίες για το σύνολο του φάσματος και για το φαινόμενο του φθορισμού.



## 6. Επανασχεδίαση του λογισμικού

Κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2003-2004 στο –ήδη αξιολογημένο– υλικό προστέθηκαν νέες θεματικές ενότητες που αφορούν στα μηχανικά κύματα (χαρακτηριστικά κύματος, διαμήκη και εγκάρσια κύματα, συμβολή κυμάτων, στάσιμα κύματα), στην περίθλαση φωτός ενώ γίνεται αναφορά στο ιστορικό πείραμα των δύο σχισμών με ηλεκτρόνια του Claus Jönsson.

Η εισαγωγή της θεματικής ενότητας σχετικά με τα κύματα έγινε κυρίως για δύο λόγους. Οι έλληνες μαθητές διδάσκονται έννοιες που αφορούν στα κύματα κατά τις γυμνασιακές τους σπουδές ενώ κατά τις σπουδές τους στο λύκειο αυτές τις έννοιες διδάσκονται μόνο όσοι ακολουθούν την τεχνολογική ή τη θετική κατεύθυνση. Επιπλέον κύματα, μπορούν εύκολα να παρατηρηθούν και να μελετηθούν σε λεκάνη κυματισμού και οι μαθητές να σχηματίσουν οπτικές αναπαραστάσεις για τα μέτωπα του κύματος. Μελετώντας τι συμβαίνει όταν συμβάλλουν τα υδάτινα κύματα είναι σε θέση να εφαρμόσουν τη γνώση τους και στην περίπτωση της συμβολής του φωτός (Wosilait, et. al., 1999).

Οι θεματικές ενότητες, όπως προέκυψαν κατά τον επανασχεδιασμό εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα:

	Θεματικές ενότητες
1 <sup>η</sup> ενότητα	Χαρακτηριστικά των κυμάτων (μέρος Α) – Διαμήκη και εγκάρσια κύματα (μέρος Β) – Κυματικά φαινόμενα (μέρος Γ) – Στάσιμα κύματα (μέρος Δ)
2 <sup>η</sup> ενότητα	Περίθλαση φωτός / ηλεκτρονίων (μέρος Α) – Συμβολή φωτός / ηλεκτρονίων (μέρος Β) – Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (μέρος Γ)
3 <sup>η</sup> ενότητα	Συνεχή Φάσματα Εκπομπής και Απορρόφησης (μέρος Α) – Γραμμικά Φάσματα Εκπομπής και Απορρόφησης (μέρος Β)
4 <sup>η</sup> ενότητα	Κίνηση Brown (μέρος Α) – το μοντέλο του Rutherford (μέρος Β) – το μοντέλο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου (μέρος Γ)
5 <sup>η</sup> ενότητα	Το άτομο του υδρογόνου (κβαντικό μοντέλο σε σύγκριση με το μοντέλο του Bohr)
6 <sup>η</sup> ενότητα	Ηλεκτρικό ρεύμα (ερμηνεία με το κλασικό και με το κβαντικό μοντέλο)

### 6.1 Στόχοι των ασκήσεων– Προτεινόμενες δραστηριότητες

Στον πίνακα που ακολουθούν περιλαμβάνονται οι στόχοι της κάθε άσκησης ξεχωριστά καθώς και οι προτεινόμενες δραστηριότητες.

	Άξονες γνωστικού περιεχομένου	Στόχοι	Προτεινόμενες Δραστηριότητες
2 ώρες	χαρακτηριστικά των κυμάτων	Οι φοιτητές επιδιώκεται: Να γνωρίζουν το μηχανικό κύμα ως τον μηχανισμό διάδοσης ενέργειας σε κάποιο μέσο (Μηχανικά κύματα) κατανοήσουν ό,τι το κύμα δε μεταφέρει ύλη (αλλά ενέργεια και ορμή) Να περιγράψουν τα βασικά χαρακτηριστικά των κυμάτων (συχνότητα, μήκος κύματος, πλάτος) Να διατυπώνουν τον θεμελιώδη νόμο της κυματικής και να μπορούν να τον εφαρμόζουν σε απλές περιπτώσεις. (Θεμελιώδης εξίσωση του κύματος)	Χρήση προγράμματος προσομοίωσης για τη μελέτη των χαρακτηριστικών του κύματος
2 ώρες	Διαμήκη και εγκάρσια κύματα, κυματικά φαινόμενα	Οι φοιτητές επιδιώκεται: Να διακρίνουν τα κύματα σε εγκάρσια και διαμήκη Επιπλέον να μπορούν: να χειριστούν προγράμματα προσομοίωσης που αφορούν: στην επαλληλία παλμών που βρίσκονται σε φάση ή σε διαφορά φάσης στη συσχέτιση της ταχύτητας με τη συχνότητα και το μήκος κύματος  να χειριστούν το πρόγραμμα Excel του MsOffice ώστε να παράγουν διάγραμμα με τη συμβολή μεταξύ κυμάτων των οποίων οι συχνότητες διαφέρουν κατά λίγο (διακρότημα)  να εκτελέσουν πειράματα με απλά υλικά (για την επίδειξη κυμάτων – εγκάρσιων και διαμηκών–).	Κατασκευή διάταξης εκκρεμών με απλά υλικά για τη δημιουργία εγκάρσιων και διαμηκών κυμάτων  Χρήση ελατηρίου για τη δημιουργία διαμηκών και εγκαρσίων κυμάτων
2 ώρες	Στάσιμα κύματα	Οι φοιτητές επιδιώκεται: Να κατανοήσουν τη συμβολή των κυμάτων – παλμών, Να κατανοήσουν ότι το διακρότημα οφείλεται στην επαλληλία κυμάτων που έχουν μικρή διαφορά στη συχνότητα	Χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης για τη μελέτη των στάσιμων κυμάτων  Πείραμα επίδειξης συμβολής υδάτινων κυμάτων σε λεκάνη κυματισμού

		<p>Να διακρίνουν στα στάσιμα κύματα σημεία που παραμένουν ακίνητα (δεσμούς)</p> <p>Να επεκτείνουν την έννοια του στάσιμου κύματος όχι μόνο σε ευθύγραμμη διάδοση αλλά και στην περίπτωση του κύκλου (σύνδεση με το κύμα του de Broglie)</p>	<p>Αρχεία ήχων για τη δημιουργία διακροτήματος</p>
2 ώρες	περίθλαση, συμβολή φωτός / ηλεκτρονίων	<p>Οι φοιτητές να κατανοήσουν ότι το φως:</p> <p>εμφανίζει όπως και τα επιφανειακά κύματα του νερού φαινόμενα συμβολής</p> <p>εμφανίζει όπως και τα επιφανειακά κύματα του νερού φαινόμενα περίθλασης</p> <p>συμπεριφέρεται ως κύμα</p>	<p>Πειράματα με απλά υλικά για τη δημιουργία φαινομένων περίθλασης και συμβολής</p> <p>Βίντεο για την επίδειξη πειραμάτων συμβολής από δύο σχισμές</p>
2 ώρες	Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	<p>Οι φοιτητές να γνωρίζουν ότι κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο:</p> <p>φωτόνια προσπίπτουν στην άνοδο και ηλεκτρόνια εκπέμπονται από αυτή</p> <p>η κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη συχνότητα των φωτονίων</p> <p>η κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων δεν εξαρτάται από την ένταση του φωτός</p> <p>τα φωτόνια δε συμπεριφέρονται όπως τα μηχανικά κύματα</p> <p>τα φωτόνια συμπεριφέρονται ως σωματίδια</p> <p>τα φωτόνια εμφανίζουν κυματική και σωματιδιακή συμπεριφορά (αρχή της συμπληρωματικότητας)</p> <p>όλα τα σωματίδια σε αντιστοιχία με τα φωτόνια εμφανίζουν κυματική και σωματιδιακή συμπεριφορά</p>	<p>Αλληλεπιδραστικό πρόγραμμα οπτικοποίησης για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο</p>
2 ώρες	Συνεχή Φάσματα Εκπομπής και Απορρόφησης – Γραμμικά Φάσματα Εκπομπής και Απορρόφησης	<p>Οι φοιτητές να γνωρίσουν τα:</p> <p>συνεχή φάσματα εκπομπής</p> <p>συνεχή φάσματα απορρόφησης</p> <p>γραμμικά φάσματα εκπομπής</p> <p>γραμμικά φάσματα απορρόφησης</p>	<p>Χρήση φασματοσκοπίου για τη λήψη συνεχών και γραμμικών φασμάτων εκπομπής και απορρόφησης</p>
2 ώρες	το μοντέλο του Rutherford, το μοντέλο του Bohr	<p>Οι φοιτητές επιδιώκεται:</p> <p>να κατανοήσουν ότι οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν διαφορετικά μοντέλα για την περιγραφή του</p>	<p>Βίντεο για το πείραμα του Rutherford</p> <p>Αλληλεπιδραστικό πρόγραμμα</p>

	για το άτομο του υδρογόνου	ατόμου να κατανοήσουν ότι τα πρώιμα μοντέλα για το άτομο του υδρογόνου στηρίχθηκαν και ελέγχθηκαν και μέσα από πειράματα	οπτικοποίησης και στατικές εικόνες για το πρότυπο του Bohr
2 & 1/2 ώρες	Το άτομο του υδρογόνου (σε σύγκριση με το μοντέλο του Bohr)	Οι φοιτητές επιδιώκεται: να κατανοήσουν ότι τα ηλεκτρόνια δεν κινούνται σε συγκεκριμένες τροχιές όπως προέβλεπε το πρότυπο του Bohr να κατανοήσουν την έννοια του μοντέλου πιθανοτήτων να διαχωρίσουν έννοιες που προέρχονται από το μοντέλο του Bohr και το μοντέλο των πιθανοτήτων να διερευνηθεί ο ρόλος της προσομοίωσης, έναντι των στατικών εικόνων, στην κατανόηση των μοντέλων του Bohr και του μοντέλου των πιθανοτήτων να κατανοήσουν την αρχή του Heisenberg σχετικά με την αδυναμία εντοπισμού ενός σωματιδίου στο χώρο	Αλληλεπιδραστικό πρόγραμμα προσομοίωσης / οπτικοποίησης και στατικές εικόνες για το άτομο του υδρογόνου σύμφωνα με το κβαντικό άτομο σε αντιδιαστολή με το πρότυπο του Bohr
2 ώρες	Ηλεκτρικό ρεύμα	Οι φοιτητές επιδιώκεται: να γνωρίσουν τα δύο μοντέλα (κλασικό και κβαντικό) για την ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος να διερευνηθεί ο ρόλος της κινούμενης εικόνας, έναντι των στατικών εικόνων, στην κατανόηση των δύο μοντέλων	Πειράματα με απλά υλικά για τη δημιουργία κυκλωμάτων  Βίντεο οπτικοποίησης και στατικές εικόνες για την περιγραφή των μικροσκοπικών διαδικασιών του ηλεκτρικού ρεύματος σύμφωνα με το κβαντικό πρότυπο σε αντιδιαστολή με το κλασικό πρότυπο

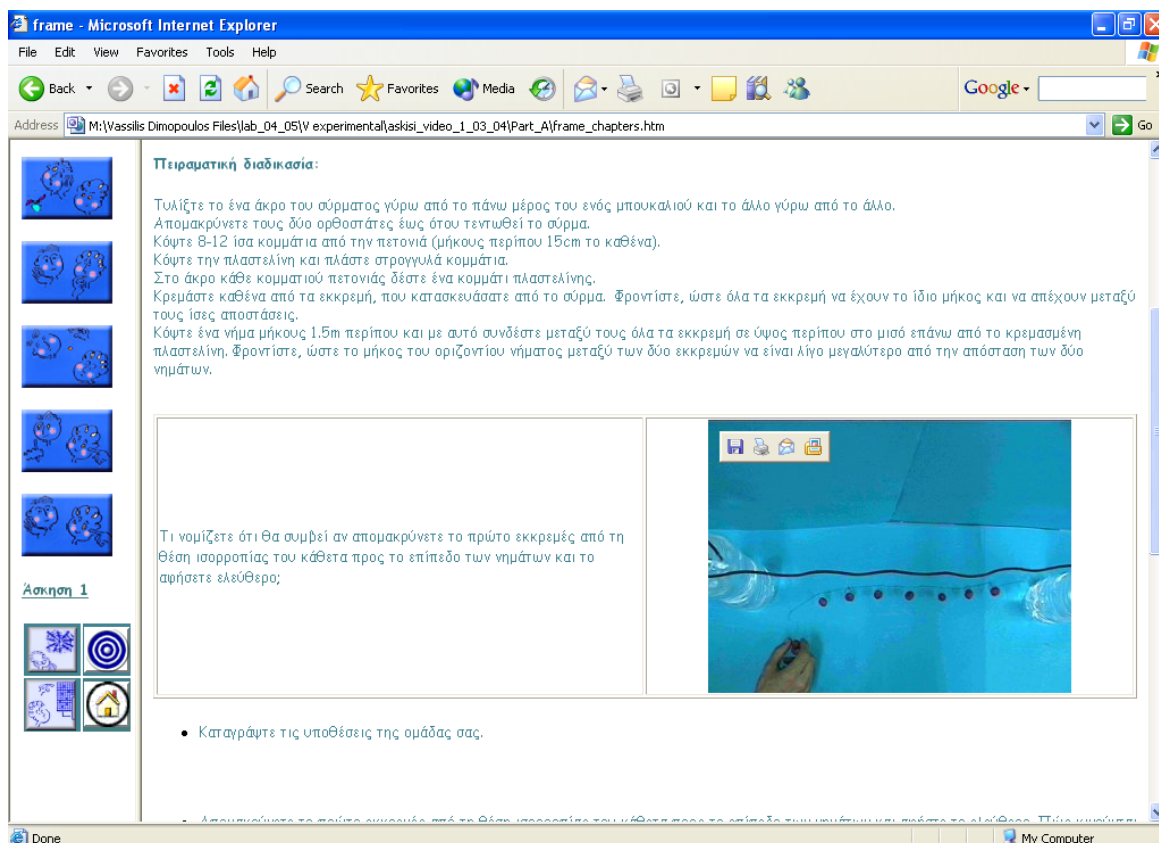
Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των θεματικών ενοτήτων του λογισμικού.

## 6.2 Κύματα

Η θεματική ενότητα για τα κύματα αποτελείται από 4 μέρη.

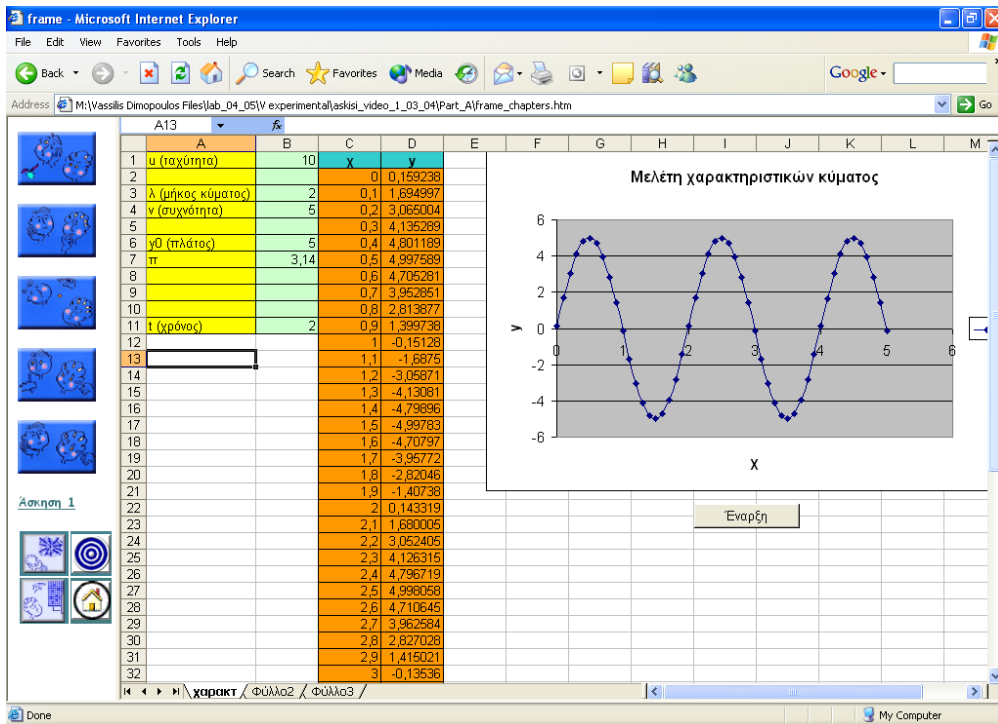
Στο πρώτο μέρος εξετάζονται τα εγκάρσια και διαμήκη κύματα καθώς και τα χαρακτηριστικά ενός κύματος. Αρχικά οι φοιτητές καλούνται να κατατάξουν τα κύματα σε διάφορες κατηγορίες.

Στο βήμα του πειραματισμού (εικόνα 6.1) οι φοιτητές κατασκευάζουν μια διάταξη με απλά υλικά με την οποία μπορούν να δημιουργήσουν εγκάρσια και διαμήκη κύματα.



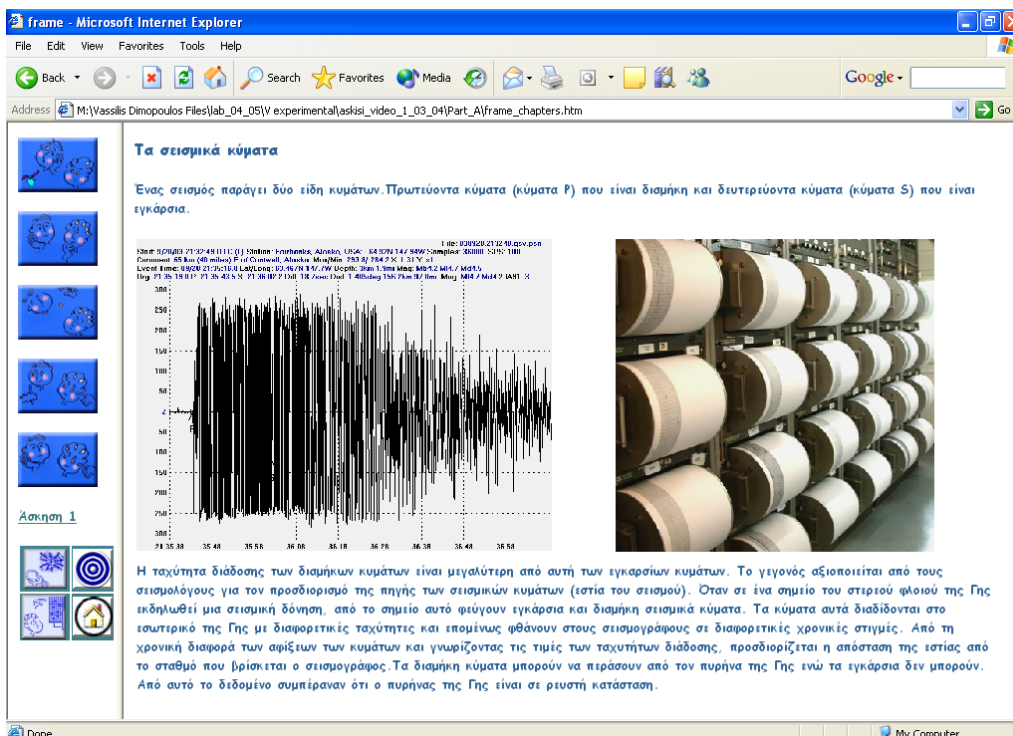
εικόνα 6.1: Σελίδα πειραματικής διαδικασίας, για την κατασκευή διάταξης για τη μελέτη εγκάρσιων και διαμηκών κυμάτων

Στη συνέχεια δημιουργούν διαμήκη και εγκάρσια κύματα με τη βοήθεια ενός ελατηρίου. Στις δραστηριότητες περιλαμβάνεται και ένα πρόγραμμα προσομοίωσης / οπτικοποίησης κύματος (εικόνα 6.2) για τη μελέτη των χαρακτηριστικών του κύματος.



εικόνα 6.2: Πρόγραμμα προσομοίωσης κύματος για τη μελέτη των χαρακτηριστικών του κύματος

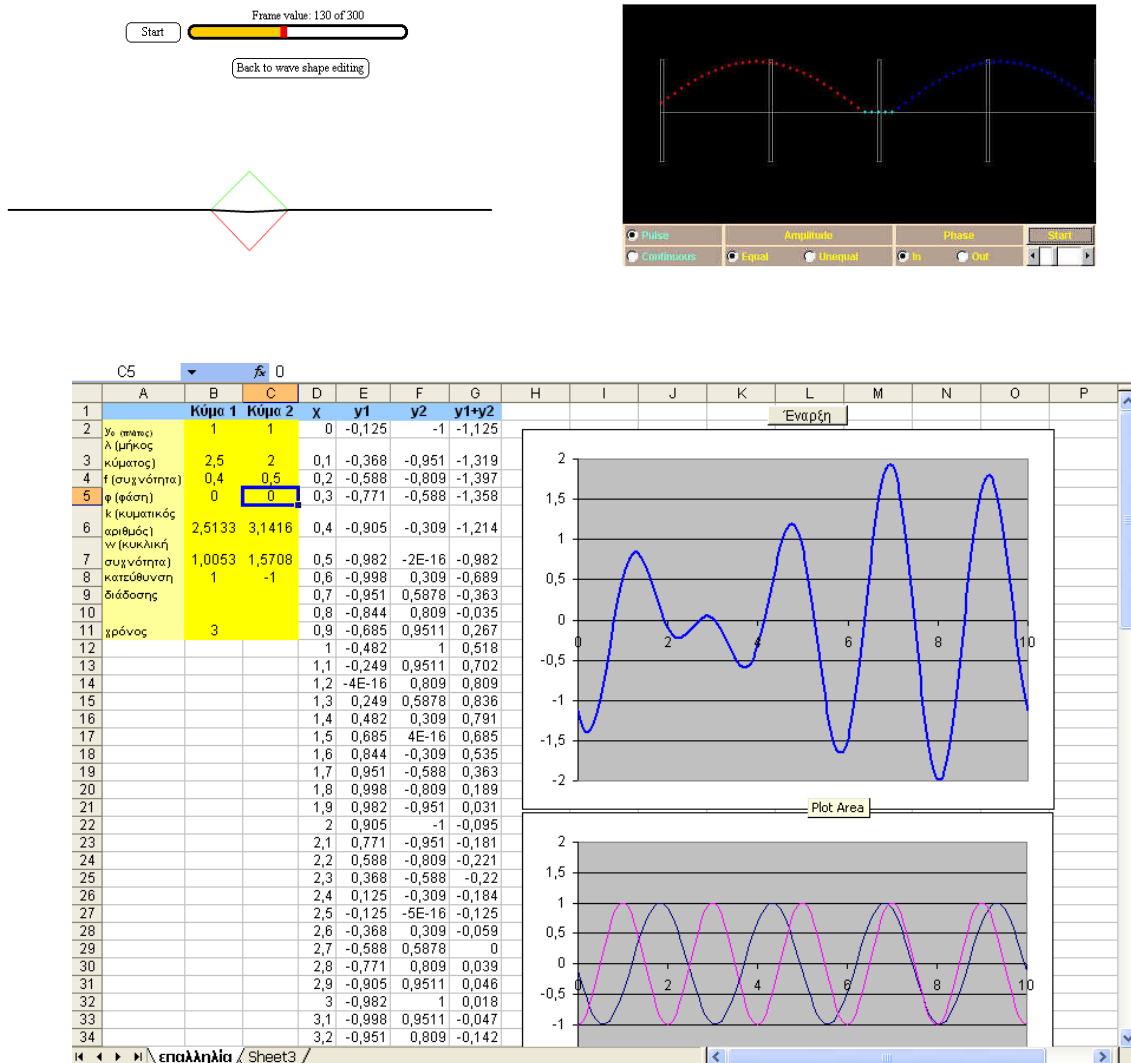
Στα συμπεράσματα δίνεται η αντίστοιχη θεωρία ενώ στη γενίκευση πληροφορίες (εικόνα 6.3) για τα σεισμικά κύματα.



εικόνα 6.3: Σελίδα γενίκευσης για τα σεισμικά κύματα

Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει τη συμβολή κυματικών παλμών. Στο στάδιο των δραστηριοτήτων περιλαμβάνονται τρία προγράμματα που αφορούν στη συμβολή παλμών

(εικόνα 6.4). Οι φοιτητές μεταβάλλουν παραμέτρους ώστε τελικά να διαπιστώσουν τον τρόπο με τον οποίο συμβάλλουν κύματα διαφορετικών χαρακτηριστικών.

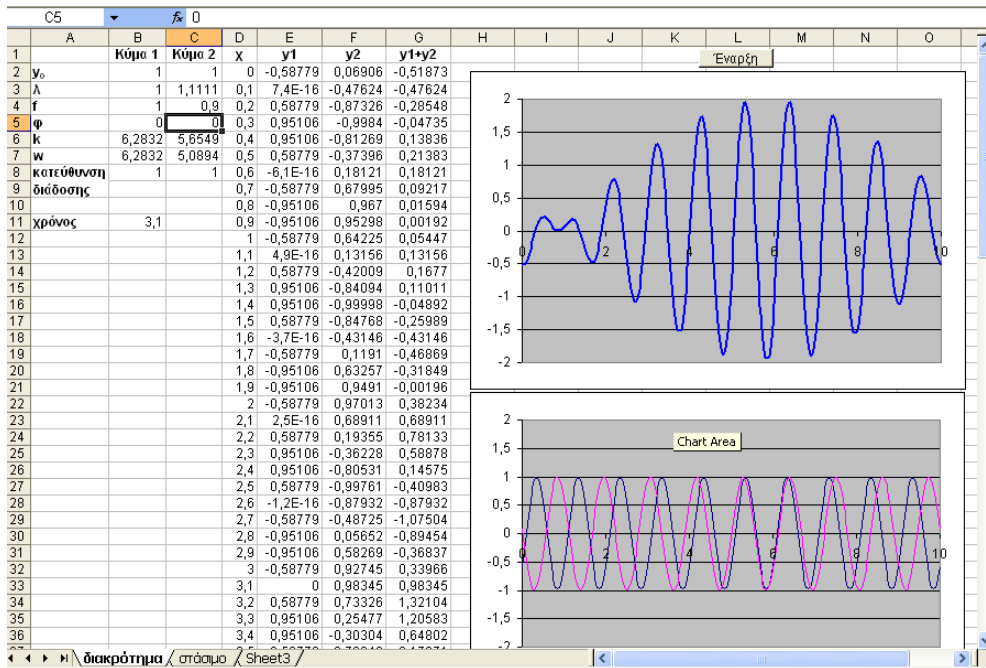


εικόνα 6.4: Προγράμματα στα οποία οι φοιτητές μπορούν να παρατηρήσουν τη συμβολή διαφορετικών παλμών

Στο ίδιο βήμα περιλαμβάνεται και ένα πείραμα επίδειξης συμβολής σε λεκάνη κυματισμού.

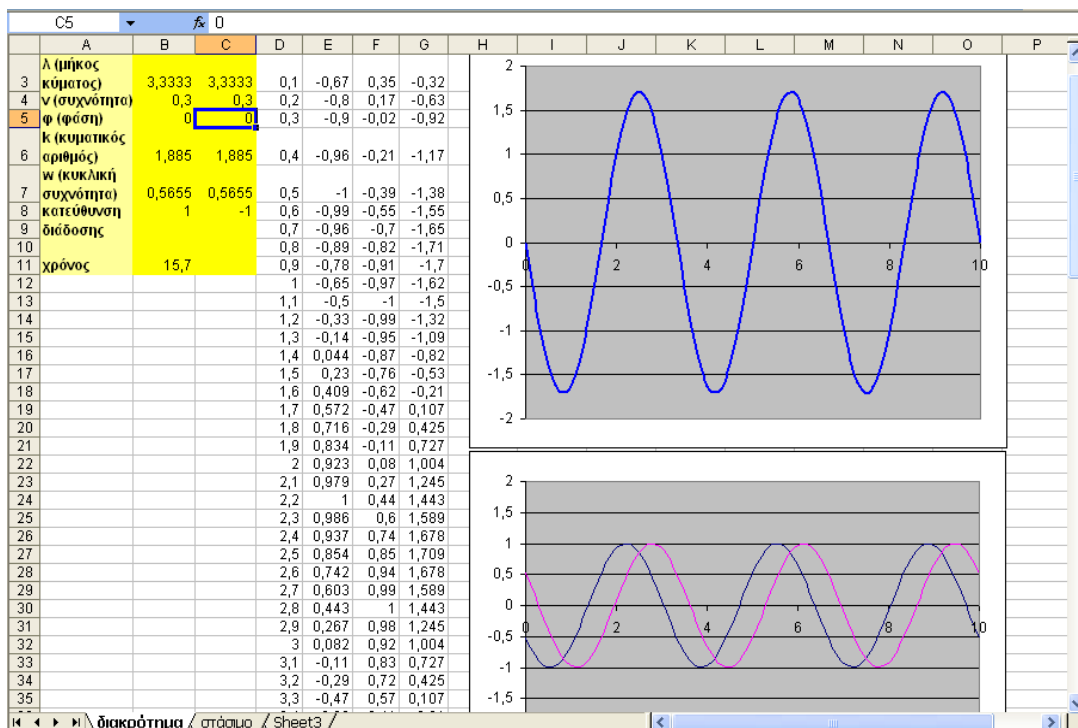
Το τρίτο μέρος αναφέρεται στο διακρότημα και περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα με το οποίο οι φοιτητές μπορούν να ακούσουν διακροτήματα που δημιουργούνται από ήχους των οποίων οι συχνότητες διαφέρουν κατά λίγο.

Επίσης περιλαμβάνεται και ένα πρόγραμμα προσομοίωσης και οπτικοποίησης στο οποίο οι φοιτητές μπορούν να παρατηρήσουν το διακρότημα που δημιουργείται κατά τη συμβολή δύο παλμών (εικόνα 6.5).



εικόνα 6.5: Πρόγραμμα για τη δημιουργία διακροτήματος

Το τελευταίο μέρος αναφέρεται στα στάσιμα κύματα. Στο βήμα του πειραματισμού περιλαμβάνονται ένα πείραμα ώστε οι φοιτητές να παρατηρήσουν στάσιμα κύματα και αντίστοιχα ένα πρόγραμμα προσομοίωσης / οπτικοποίησης (εικόνα 6.6).



εικόνα 6.6: Πρόγραμμα για τη μελέτη στάσιμων κυμάτων



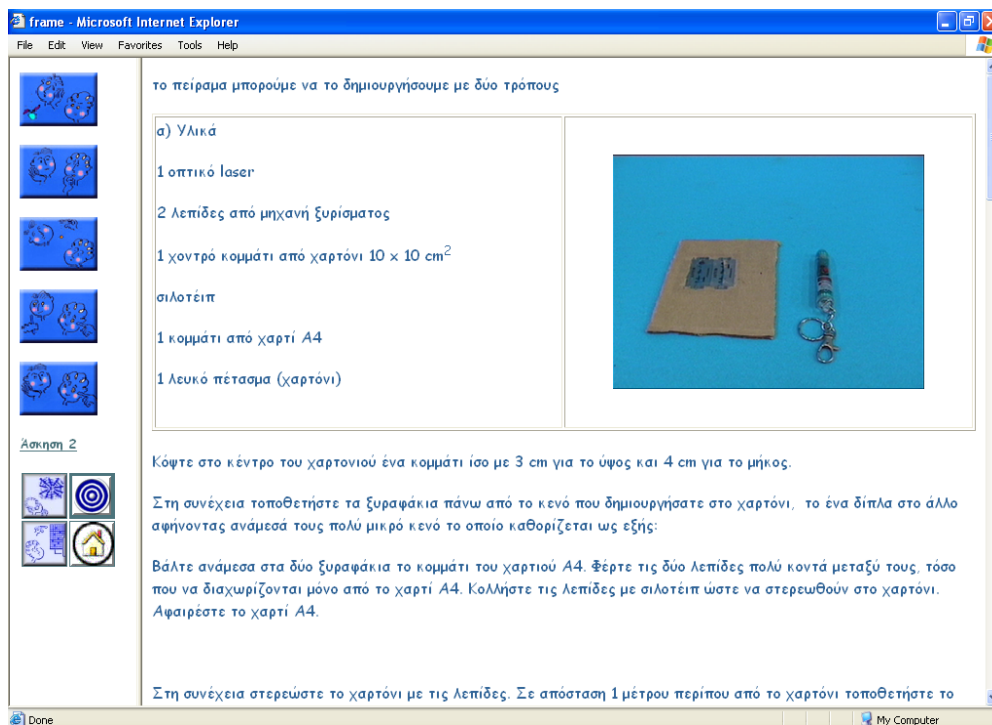
### 6.3 Κυματοσωματιδιακή φύση του φωτός και ηλεκτρονίων

Η ενότητα χωρίζεται σε τρία μέρη.

Το πρώτο αφορά στην περίθλαση του φωτός και σε αυτό γενικεύουμε και για τα ηλεκτρόνια. Το δεύτερο αφορά στη συμβολή του φωτός και μάλιστα στο πείραμα της διπλής σχισμής του Young ενώ πάλι γενικεύουμε και για τα ηλεκτρόνια με το αντίστοιχο πείραμα συμβολής δέσμης ηλεκτρονίων που πραγματοποίησε ο Claus Jönsson το 1961 (*Editorial of Physics World, 2002, Fischler and Lichtfeldt, 1992*).

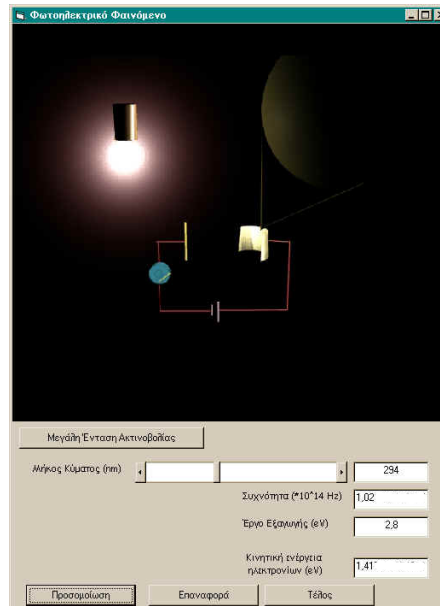
Το τρίτο μέρος αφορά στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και στο τέλος της διδασκαλίας γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην αρχή της συμπληρωματικότητας. Οι φοιτητές στα δύο πρώτα μέρη εκτελούν πειράματα με απλά υλικά για να διαπιστώσουν ότι μία φωτεινή δέσμη laser περιθλάται και συμβάλλει. Έτσι για παράδειγμα, για να διαπιστώσουν την περίθλαση από ορθογώνια σχισμή πραγματοποιούν το ακόλουθο πείραμα (εικόνα 6.7):

από ένα μικρό χαρτόνι αφαιρούν από το κέντρο του ένα κομμάτι ίσο με 3 cm για το ύψος και 4 cm για το μήκος. Στη συνέχεια τοποθετούν δύο λεπίδες από ξυραφάκια πάνω από το κενό που δημιουργήθηκε στο χαρτόνι, το ένα δίπλα στο άλλο ώστε το κενό που αφήνουν να είναι ίσο με το πάχος ενός χαρτιού A4. Οι λεπίδες κολλούνται πάνω στο χαρτόνι. Στη συνέχεια το χαρτόνι με τις λεπίδες στερεώνεται και σε απόσταση 2 μέτρων περίπου από το χαρτόνι τοποθετούν το πέτασμα. Η σχισμή που αφήνουν οι δύο λεπίδες φωτίζονται με μία δέσμη laser και στο πέτασμα λαμβάνουν το διαμόρφωμα περίθλασης από ορθογώνια σχισμή.



εικόνα 6.7: Σελίδα πειράματος περίθλασης από ορθογώνια σχισμή

Για τη μελέτη του φωτοηλεκτρικού φαινομένου περιλάβαμε στο λογισμικό ένα πρόγραμμα οπτικοποίησης (εικόνα 6.8). Κύριος στόχος μας ήταν να διαπιστώσουν οι φοιτητές ότι κατά την πτώση φωτός στην άνοδο τα εκπεμπόμενα από αυτή ηλεκτρόνια αποκτούν κινητική ενέργεια που δεν εξαρτάται από τη μεταβολή της έντασης του φωτός αλλά από τη συχνότητα του, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με την κυματική φύση του και εισάγει την έννοια του φωτονίου / κβάντου ενέργειας.



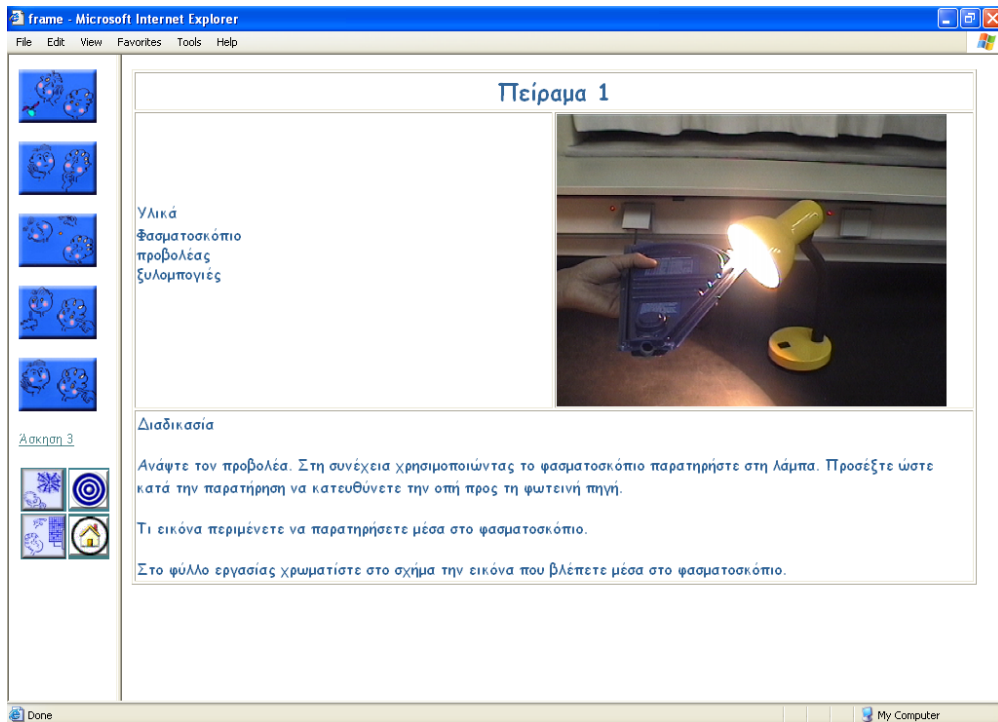
εικόνα 6.8: Πρόγραμμα οπτικοποίησης για το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Για την οπτικοποίηση του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα 3d studio max και τα αρχεία βίντεο που εξάχθηκαν καλούνται από μία πλατφόρμα που αναπτύχθηκε σε Visual Basic, με κατάλληλη μεταβολή των παραμέτρων «Ένταση φωτός» και «συχνότητα». Το φαινόμενο μελετάται μόνο για την περίπτωση ανόδου νατρίου αν και εύκολα μπορούν να προστεθούν εντολές για την περίπτωση ανόδου άλλων υλικών.

#### 6.4 Φάσματα

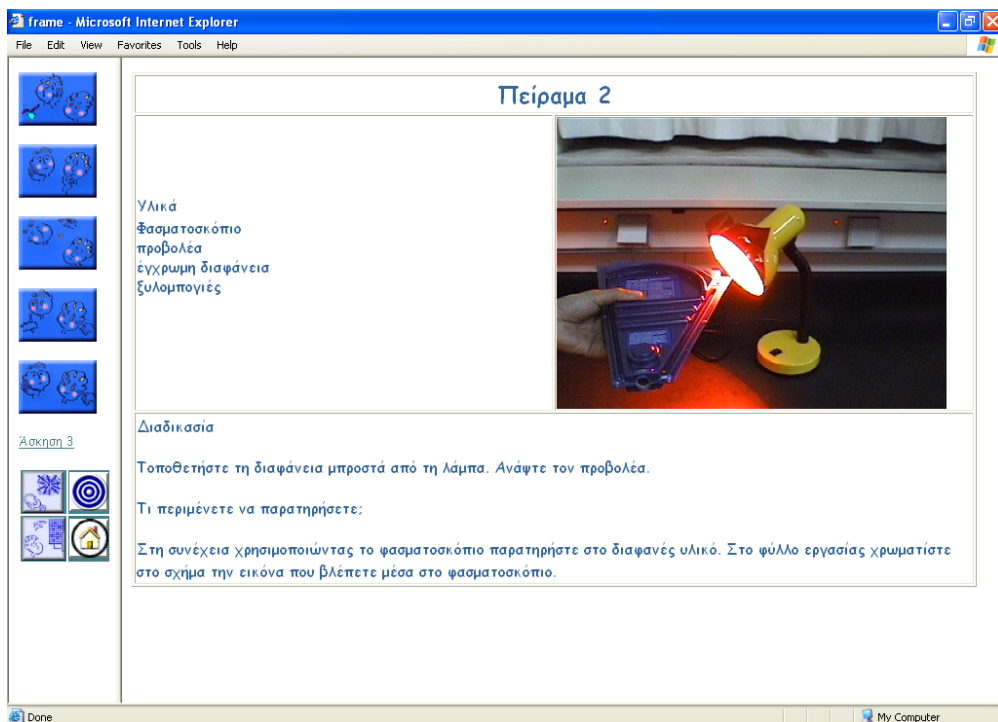
Η θεματική ενότητα φάσματα αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά στα συνεχή φάσματα (εκπομπής και απορρόφησης) ενώ το δεύτερο στα γραμμικά φάσματα (εκπομπής και απορρόφησης). Οι φοιτητές, στο πρώτο μέρος, ακολουθώντας τις οδηγίες του φύλλου εργασίας τους εκτελούν πειράματα στα οποία παρατηρούν συνεχή φάσματα εκπομπής και απορρόφησης.

Για τη λήψη συνεχούς φάσματος εκπομπής οι φοιτητές παρατηρούν με το φασματοσκόπιο μια λάμπα πυρακτώσεως (εικόνα 6.9).



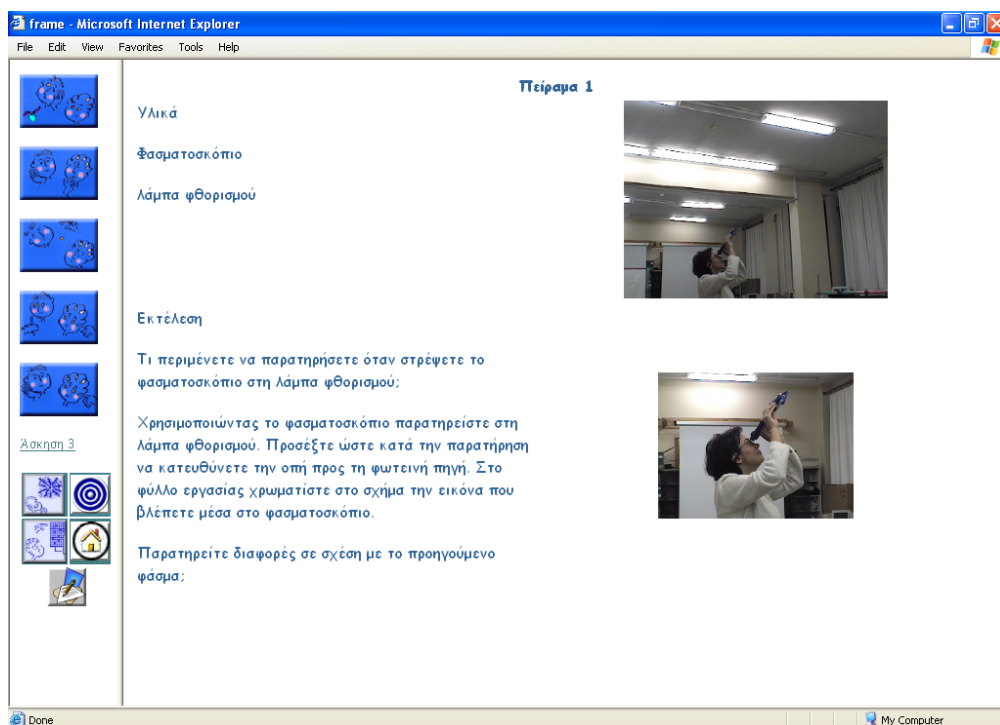
εικόνα 6.9: Λήψη συνεχούς φάσματος εκπομπής από λάμπα πυρακτώσεως.

Για τη λήψη συνεχούς φάσματος απορρόφησης χρησιμοποιείται μια κόκκινη διαφάνεια που τοποθετείται μπροστά από μια λάμπα πυρακτώσεως (εικόνα 6.10).

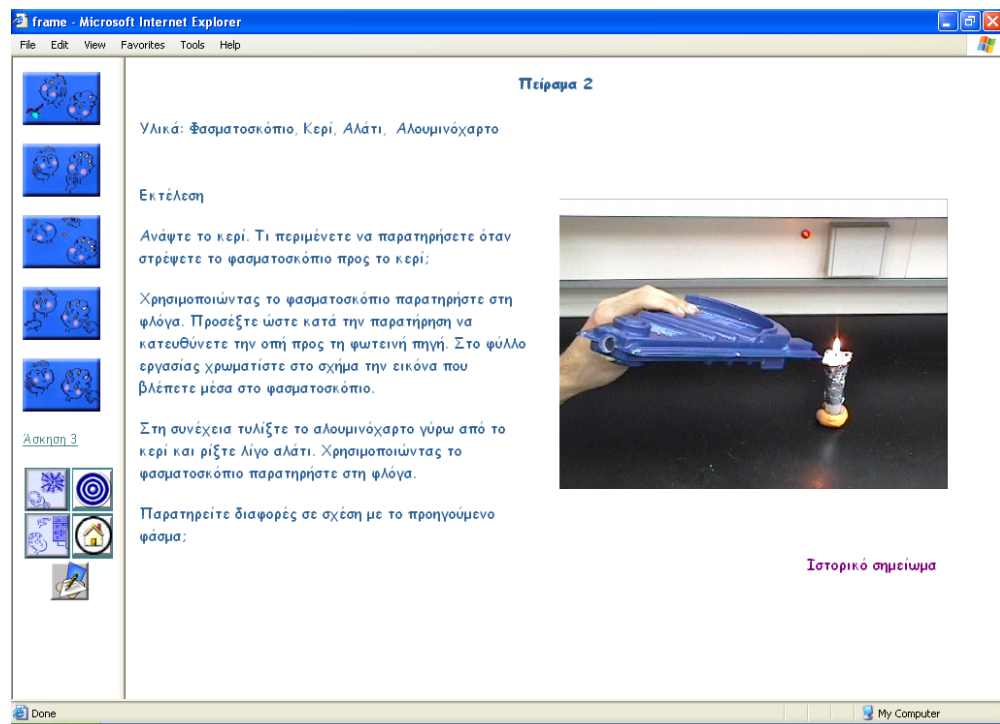


εικόνα 6.10: Λήψη συνεχούς φάσματος απορρόφησης από λάμπα πυρακτώσεως.

Στο δεύτερο μέρος οι φοιτητές παρατηρούν γραμμικά φάσματα εκπομπής που προέρχονται από την παρατήρηση λάμπας φθορισμού (εικόνα 6.11) αλλά και από τη θέρμανση αλατιού πάνω από τη φλόγα ενός κεριού (εικόνα 6.12).



εικόνα 6.11: Λήψη γραμμικού φάσματος εκπομπής από λάμπα φθορισμού.



εικόνα 6.12: Λήψη γραμμικού φάσματος εκπομπής από θέρμανση αλατιού

Για το γραμμικό φάσμα απορρόφησης οι φοιτητές παρατηρούν τον Ήλιο.

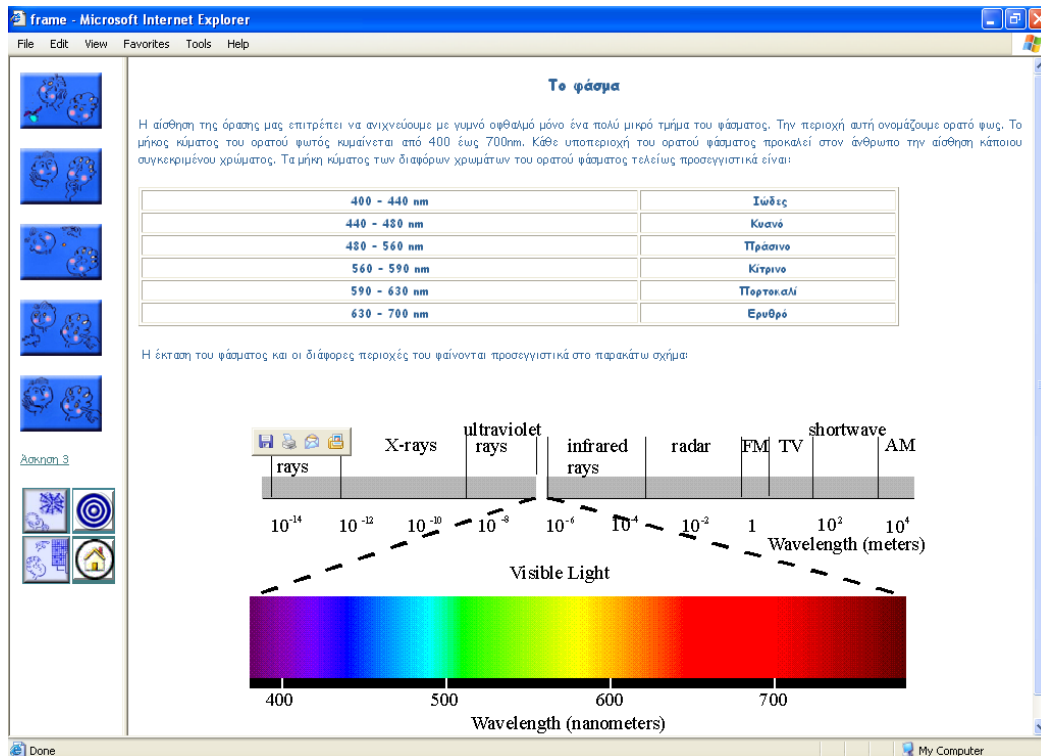
Σε όλες τις δραστηριότητες για την παρατήρηση του φάσματος χρησιμοποιείται φασματοσκόπιο. Στο πρώτο μέρος –στο βήμα του πειραματισμού– δίνονται στους φοιτητές οδηγίες για την κατασκευή ενός φασματοσκοπίου με απλά υλικά (εικόνα 6.13).

The screenshot shows a web browser window titled "frame - Microsoft Internet Explorer". The page content is in Greek and is titled "Κατασκευάστε ένα φασματοσκόπιο με απλά υλικά". It lists the following materials: "Υλικά: 1 CD ή DVD, 1 μεγάλο χάρτινο κουτί, 2 λεπίδες από ξυραφάκι, 1 χάρτινο ρολό, κολλητική ταινία, αλουμινόχαρτο και κόλλα". There are two photographs: one showing the materials and another showing a hand using a utility knife to cut a CD into a cardboard box. Below the photos, there is a paragraph explaining the components and a numbered instruction: "1. Τοποθετήστε το CD στο πάνω μέρος του κουτιού περίπου μισό εκατοστό από το ένα άκρο και κοντά στο κάτω μέρος του κουτιού, όπως φαίνεται και στη φωτογραφία. Χρησιμοποιήστε ένα μολύβι για να διαγράψετε έναν κύκλο στο εσωτερικό μέρος του CD και επάνω στο κουτί. Το σημάδι αυτό δείχνει το που θα τοποθετηθεί το ρολό χαρτί."

εικόνα 6.13: Σελίδα για την κατασκευή φασματοσκοπίου με απλά υλικά

Στο βήμα «Συμπεράσματα» και για στα δύο μέρη δίνεται συνοπτικά η θεωρία για τον τρόπο παραγωγής των φασμάτων (συνεχών και γραμμικών) μακροσκοπικά χωρίς να δίνονται πληροφορίες για τον αιτία παραγωγής τους με βάση τον μικρόκοσμο. Η σύνδεση των φασμάτων με τον μικρόκοσμο πραγματοποιείται στις δύο επόμενες θεματικές ενότητες όπου τα γραμμικά φάσματα εκπομπής –όπως περιγράφεται και στις αντίστοιχες ενότητες– ερμηνεύονται με βάση το μοντέλο του Bohr αλλά και το κβαντικό μοντέλο. Η ερμηνεία αφορά σε λεκτικές περιγραφές, σε χρήση ενεργειακών διαγραμμάτων καθώς και σε κινούμενες αναπαραστάσεις.

Το βήμα των «Γενικεύσεων» για το πρώτο μέρος περιέχει πληροφορίες για το ολικό φάσμα – από την ακτινοβολία γ στα κύματα AM (εικόνα 6.14).



εικόνα 6.14: Σελίδα «Γενίκευση» με αναφορά στο φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας  
 Στο δεύτερο μέρος, στο αντίστοιχο βήμα, γίνεται αναφορά στο φάσμα του Ήλιου και δίνονται πληροφορίες για τις γραμμές Fraunhofer (εικόνα 6.15).

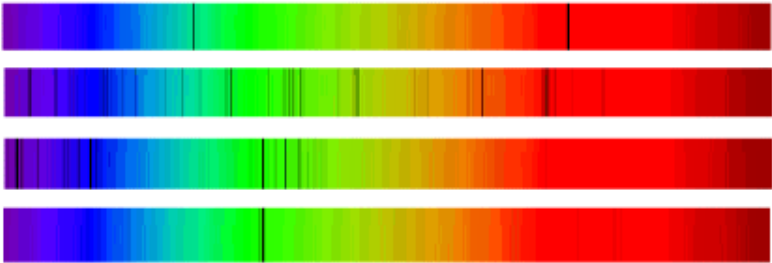


εικόνα 6.15: Σελίδα για το ηλιακό φάσμα

Στο ίδιο βήμα υπάρχει και μία δραστηριότητα (εικόνα 6.16) στην οποία οι φοιτητές καλούνται να παρατηρήσουν τα φάσματα τεσσάρων στοιχείων –υδρογόνου, ασβεστίου, σιδήρου και


μαγνησίου– και στη συνέχεια το φάσμα που προέρχεται από το φως ενός άστρου ώστε να αναγνωρίσουν σε αυτό τα στοιχεία που περιέχονται σε αυτό.

Παρατηρήστε προσεκτικά τα φάσματα που ακολουθούν.



Υδρογόνο  
Ασβέστιο  
Σίδηρος  
Μαγνήσιο

Το φάσμα που ακολουθεί προέρχεται από την ανάλυση του φωτός ενός αστεριού και περιλαμβάνει κάποια από τα παραπάνω στοιχεία (Υδρογόνο, ασβέστιο, σίδηρο και μαγνήσιο). Ποια από αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνει;

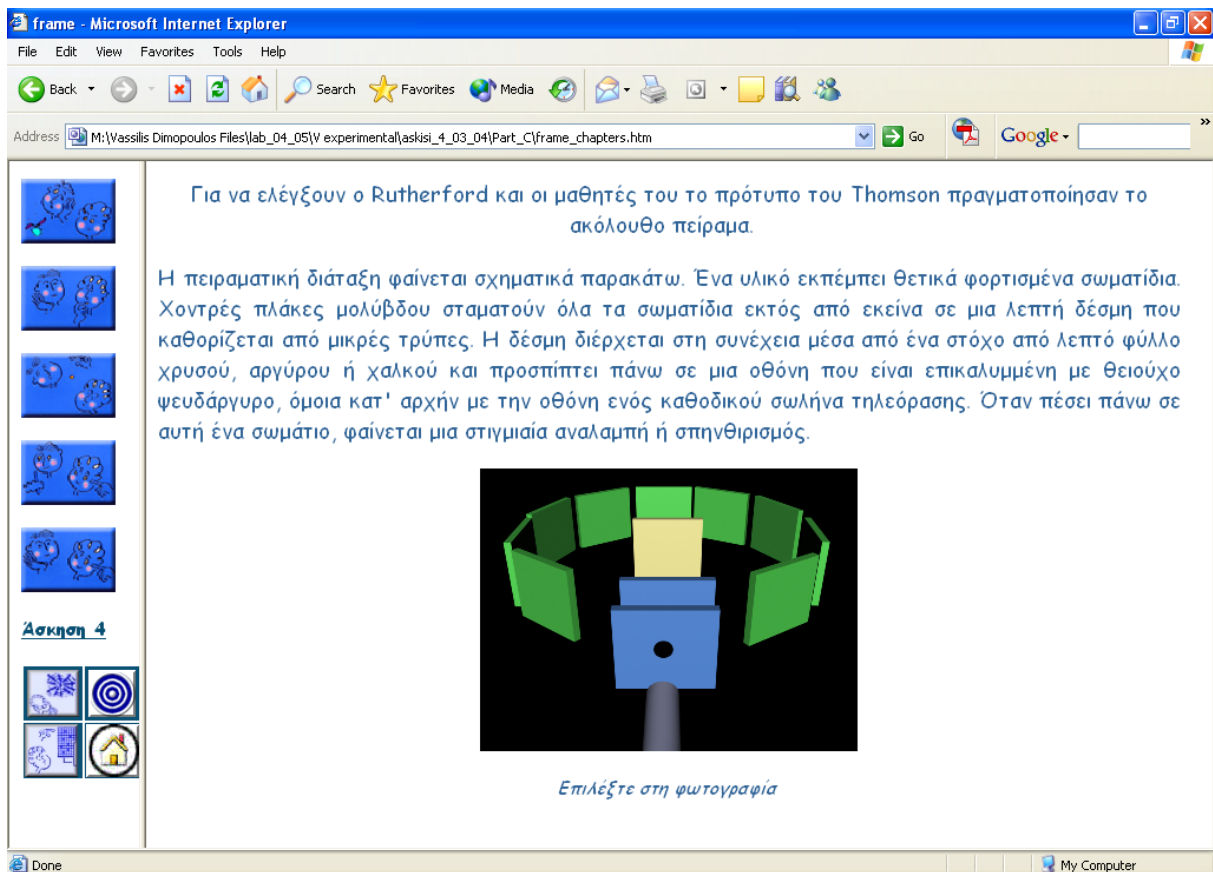


Υδρογόνο και ασβέστιο       Υδρογόνο και σίδηρο  
 Μαγνήσιο και ασβέστιο       Μαγνήσιο και σίδηρο

εικόνα 6.16: Δραστηριότητα για τα φάσματα

### 6.5 Πρώιμα ατομικά μοντέλα

Η θεματική ενότητα για τα πρώιμα μοντέλα του ατόμου του υδρογόνου αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά στο μοντέλο του Rutherford για το άτομο του υδρογόνου. Στο βήμα «Έναυσμα» ο χρήστης λαμβάνει από την αντίστοιχη σελίδα του λογισμικού πληροφορίες για το πρότυπο του Thomson. Στη συνέχεια στο βήμα «Υποθέσεις» ο χρήστης διατυπώνει τις υποθέσεις του για το τι θα συμβεί αν κατευθυνθεί μία δέσμη από θετικά σωμάτια στο άτομο του Thomson. Στον χρήστη παρέχονται αρκετές πληροφορίες για να καταλήξει στο λογικό συμπέρασμα ότι η δέσμη θα παραμείνει ανεπηρέαστη. Στο βήμα «Πειραματισμός», αρχικά περιγράφεται η διάταξη του πειράματος που εκτέλεσε ο Rutherford και οι μαθητές του (εικόνα 6.17).



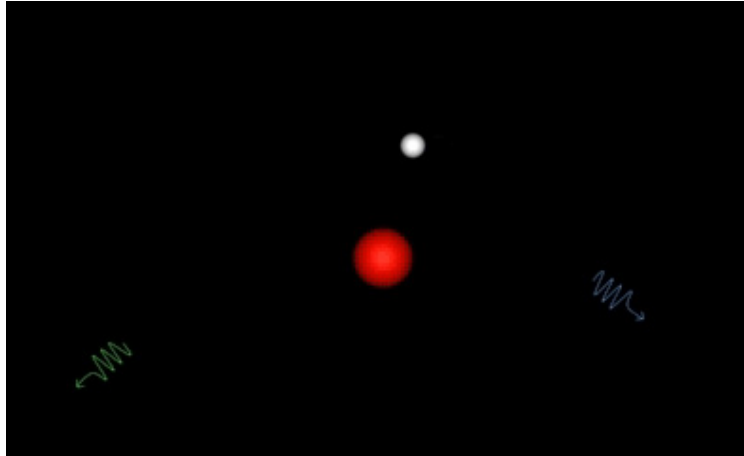
εικόνα 6.17: Σελίδα για την περιγραφή του πειράματος του Rutherford

Στη συνέχεια, ζητείτε από τους χρήστες να σχεδιάσουν την πορεία που περιμένουν να ακολουθήσει η δέσμη σωματιδίων  $\alpha$ . Ακολουθώντας επιλέγουν τρία διαδοχικά βίντεο στα οποία φαίνονται τρεις διαφορετικές πορείες της δέσμης των σωματιδίων  $\alpha$ . Στο πρώτο η δέσμη παραμένει ανεπηρέαστη, στο δεύτερο εκτρέπεται κατά λίγο ενώ στο τελευταίο επιστρέφει προς τα πίσω.

Στο βήμα «Συμπεράσματα» καταγράφεται το συμπέρασμα ότι το θετικό φορτίο του ατόμου είναι συγκεντρωμένο σε μία πολύ μικρή περιοχή, την οποία ονομάζουμε πυρήνα. Στο τελευταίο βήμα «Γενίκευση» γίνεται σε πειράματα που πραγματοποιούνται σε σύγχρονα ερευνητικά κέντρα που έχουν ως στόχο την εύρεση της δομής διαφόρων υλικών.

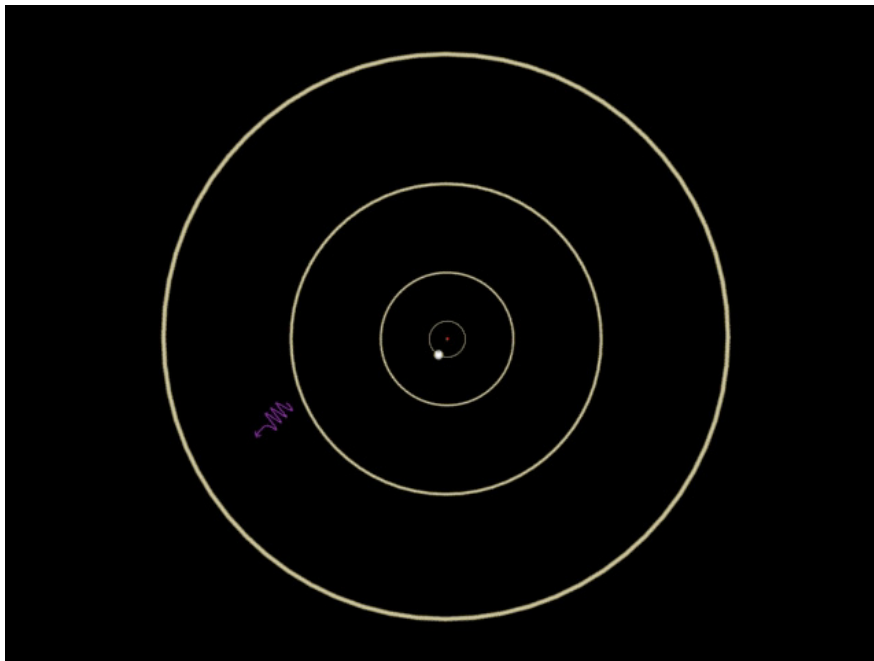
Στο δεύτερο μέρος της θεματικής ενότητας γίνεται η παρουσίαση του προτύπου του Bohr. Αρχικά ο χρήστης έρχεται αντιμέτωπος με το γεγονός ότι το πρότυπο του Rutherford δεν μπορεί να ερμηνεύσει τη σταθερότητα ενός ατόμου, όπως επίσης δεν μπορεί να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα των ατόμων (εικόνα 6.18).





εικόνα 6.18: Καρέ από βίντεο, που δείχνει ότι το πρότυπο του Rutherford δεν μπορεί να ερμηνεύσει τη σταθερότητα ενός ατόμου, όπως επίσης δεν μπορεί να ερμηνεύσει τα γραμμικά φάσματα των ατόμων

Στο στάδιο «Υποθέσεις» οι φοιτητές καλούνται να δώσουν κάποια εξήγηση για το πώς κινούνται τα ηλεκτρόνια στα άτομα. Στο επόμενο βήμα «Πειραματισμός» υπάρχει ένα πρόγραμμα προσομοίωσης στο οποίο οι φοιτητές μελετούν το πρότυπο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου (εικόνα 6.19).

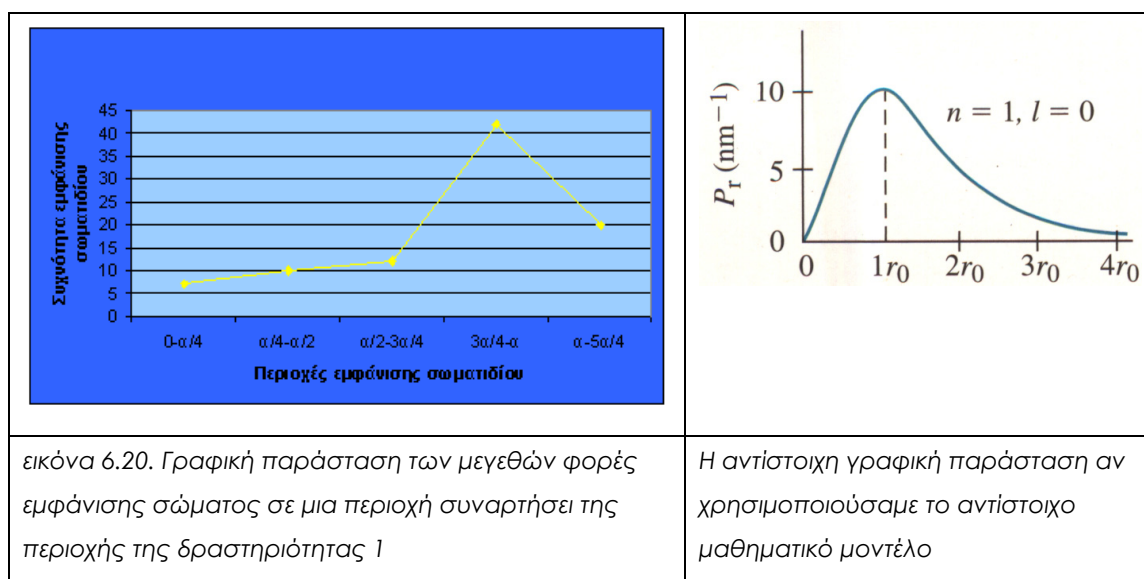


6.19 Φωτόνιο που εκπέμπεται κατά την αποδιέγερση από την  $n=3$  στη θεμελιώδη

Στο βήμα «Συμπεράσματα» αναφέρονται οι 4 συνθήκες του προτύπου ενώ στο τελευταίο στάδιο γίνεται αναφορά στο γραμμικό φάσμα του υδρογόνου και στο πως αυτό ερμηνεύεται με βάση το εν λόγω μοντέλο.

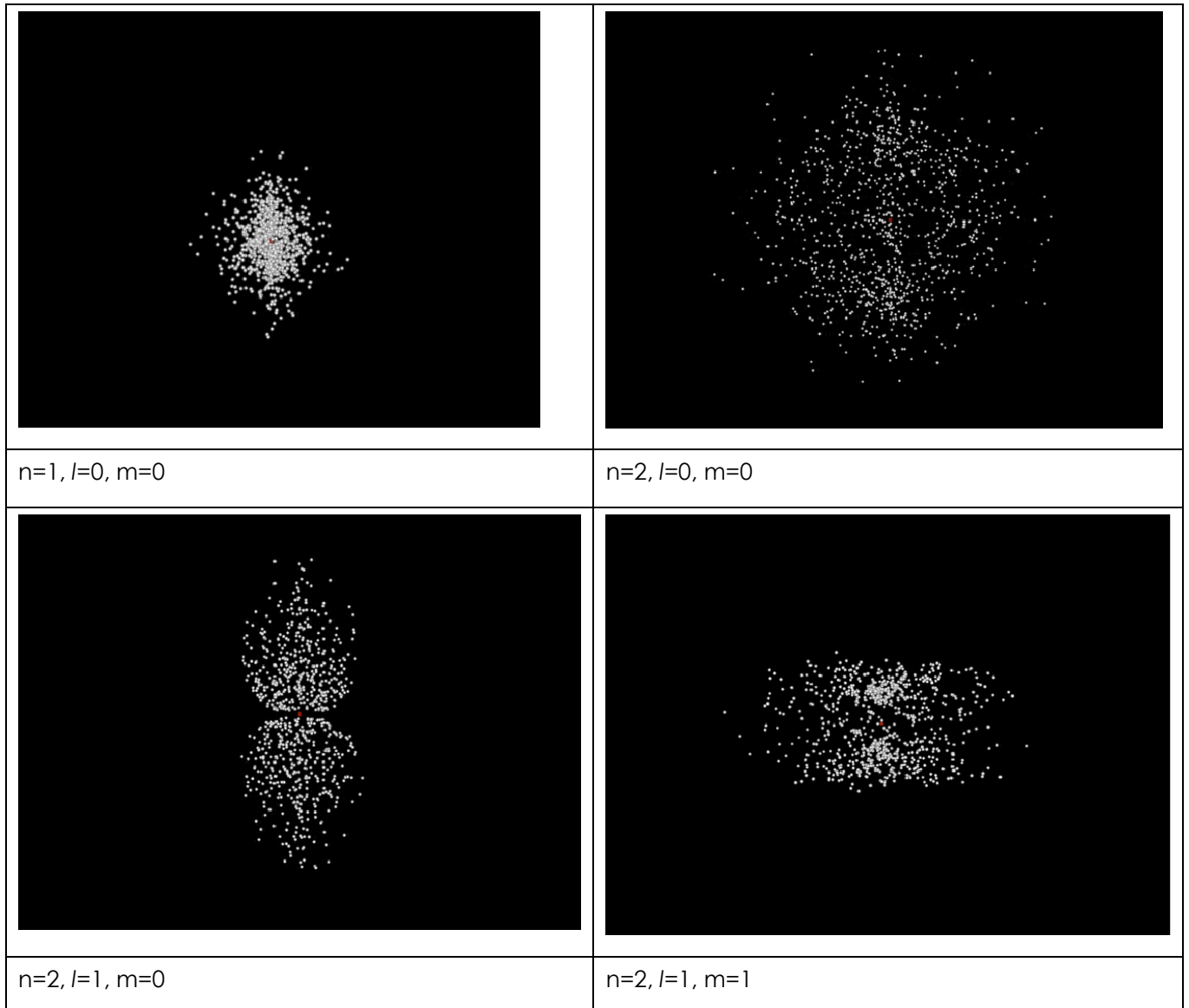
## 6.6 Το άτομο του υδρογόνου

Η θεματική ενότητα –το άτομο του υδρογόνου– αποτελείται από ένα μέρος. Αρχικά οι φοιτητές παρακολουθούν ένα βίντεο το οποίο προσομοιώνει και οπτικοποιεί την κίνηση του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου. Στη συνέχεια στο βήμα των υποθέσεων οι φοιτητές καλούνται να επιλέξουν ανάμεσα σε περιοχές (ακτίνας  $a_0 / 4$ ) την περιοχή εκείνη στην οποία θεωρούν ότι θα βρίσκεται το ηλεκτρόνιο με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Στο τρίτο βήμα ακολουθούν δύο δραστηριότητες. Στην πρώτη καλούνται να δουν ένα βίντεο όπου το ηλεκτρόνιο κινείται γύρω από τον πυρήνα, αφήνοντας όμως πάνω στην οθόνη ένα ίχνος. Η περιοχή κίνησης του ηλεκτρονίου χωρίζεται σε κυκλικές περιοχές (ακτίνας  $a_0 / 4$ ) και οι φοιτητές διαπιστώνουν ότι η περιοχή στην οποία εμφανίζεται συχνότερα το ηλεκτρόνιο είναι εκείνη που βρίσκεται γύρω από την ακτίνα  $a_0$  του Bohr. Στη συνέχεια δημιουργούν τη γραφική παράσταση των μεγεθών: φορές εμφάνισης σώματος σε μια περιοχή συναρτήσει της περιοχής. Αφού πραγματοποιήσουν τη δραστηριότητα συγκρίνουν τη γραφική τους παράσταση με τη γραφική παράσταση που προκύπτει με πλήρη χρήση του μαθηματικού μοντέλου των εξισώσεων του Schrödinger (εικόνα 6.20).



Η εκπαιδευτική διαδικασία υποστηρίζεται από τις σύγχρονες τεχνολογίες πληροφόρησης και τις μεθόδους / τεχνικές της στοχαστικής ανάλυσης για την προσομοίωση και δυναμική οπτικοποίηση των δομών, των αλληλεπιδράσεων, των κινήσεων και των διαδικασιών του μικροκόσμου, σύμφωνα (και) με τα κβαντικά πρότυπα (Kalkanis, 2002), (Σταύρου, Χατζηδάκη, Καλκάνης, 1999). Για αυτό το λόγο στο ίδιο βήμα –«Δραστηριότητες»– ακολουθεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης της κίνησης του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει το πρότυπο του Bohr καθώς και το μοντέλο πιθανοτήτων (probability model). Στόχος της άσκησης είναι οι φοιτητές να αναδείξουν τα κοινά στοιχεία αλλά και τις σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μοντέλων. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα να παραμένει το ίχνος του ηλεκτρονίου στην οθόνη ώστε οι φοιτητές να

διαπιστώνουν την κυκλική τροχιά στο μοντέλο του Bohr αλλά και την τυχαιότητα –με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης σε ορισμένες περιοχές– στην κίνηση του ηλεκτρονίου στην περίπτωση της κβαντικής φυσικής. Στην τελευταία περίπτωση οι φοιτητές μπορούν να μεταβάλλουν παραμέτρους που αφορούν στους κβαντικούς αριθμούς βλέποντας κατά την προσομοίωση τόσο τα διαφορετικά σχήματα του ηλεκτρονιακού νέφους (εικόνα 6.21) που σταδιακά σχηματίζεται όσο και τις τιμές της ενέργειας.

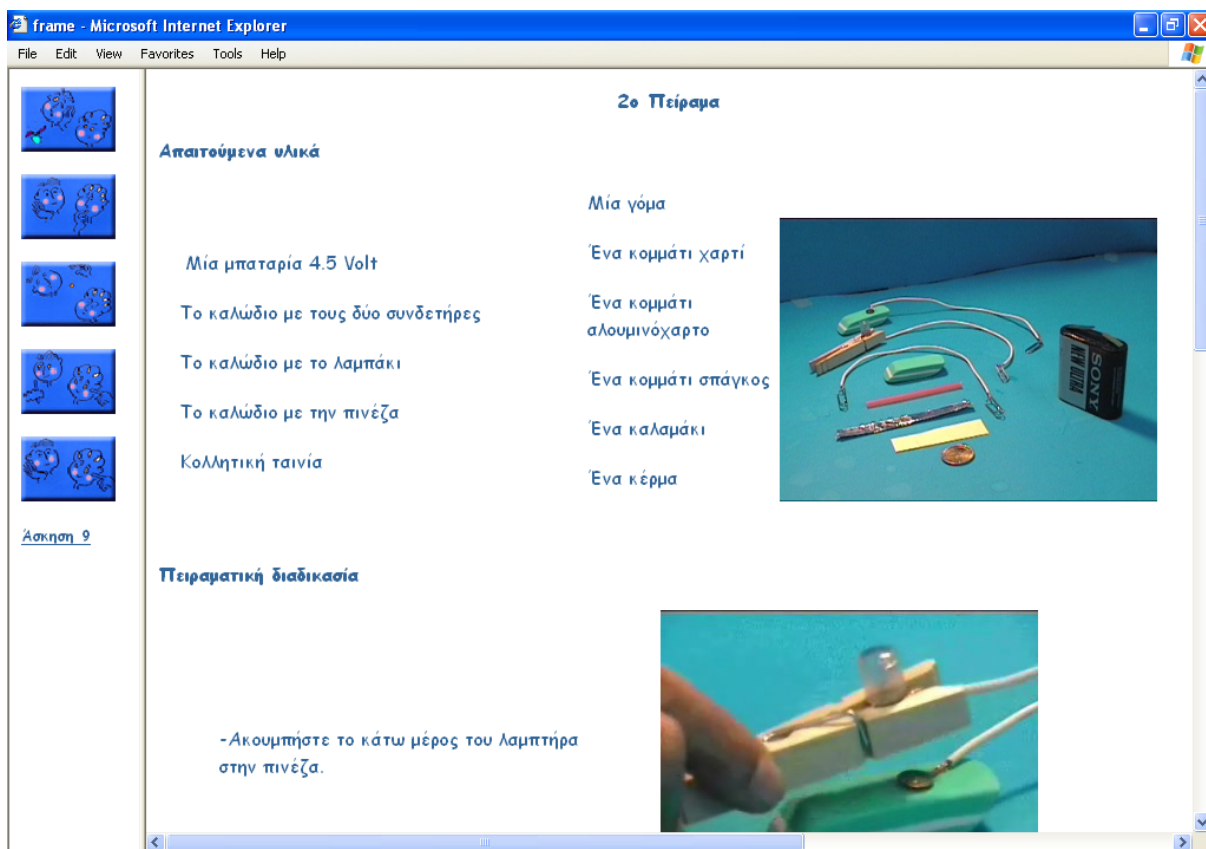


εικόνα 6.21: Εικόνες ηλεκτρονιακού νέφους στις τρεις διαστάσεις για διάφορες καταστάσεις στο άτομο του υδρογόνου (πυρήνας και ένα ηλεκτρόνιο). Οι εικόνες προέκυψαν διατηρώντας στο πρόγραμμα προσομοίωσης το ίχνος του ηλεκτρονίου

## 6.7 Το ηλεκτρικό ρεύμα

Το ηλεκτρικό ρεύμα αποτελεί μια θεματική ενότητα της φυσικής, που διδάσκεται σε όλες τις βαθμίδες της εκπαίδευσης. Παράλληλα αποτελεί ένα φαινόμενο που μπορεί να ερμηνευθεί με τη βοήθεια του μικροκόσμου τόσο χρησιμοποιώντας το κλασικό όσο και το κβαντικό μοντέλο. Για τους λόγους αυτούς αναπτύχθηκε μία τελευταία θεματική ενότητα για το ηλεκτρικό ρεύμα, στην οποία συμπεριλαμβάνονται ενότητες από εκπαιδευτικό λογισμικό (Dendrinos, 2004) που περιλαμβάνουν πειράματα με απλά υλικά και κάποιες οπτικοποιήσεις για τη μικροσκοπική ερμηνεία και με τα δύο μοντέλα.

Στο βήμα του πειραματισμού περιλαμβάνονται δύο πειράματα, που προέρχονται από το βιβλίο της Στ' τάξης του δημοτικού σχολείου. Στο πρώτο (εικόνα 6.22) οι φοιτητές έπρεπε να δημιουργήσουν ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα και στο δεύτερο να διαχωρίσουν κάποια υλικά σε μονωτές και αγωγούς.



frame - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

### 2ο Πείραμα

**Απαιτούμενα υλικά**

- Μία μπαταρία 4.5 Volt
- Το καλώδιο με τους δύο συνδετήρες
- Το καλώδιο με το λαμπάκι
- Το καλώδιο με την πινέζα
- Κολλητική ταινία

**Μία γόμα**

- Ένα κομμάτι χαρτί
- Ένα κομμάτι αλουμινοχαρτό
- Ένα κομμάτι σπάγκος
- Ένα καλαμάκι
- Ένα κέρμα

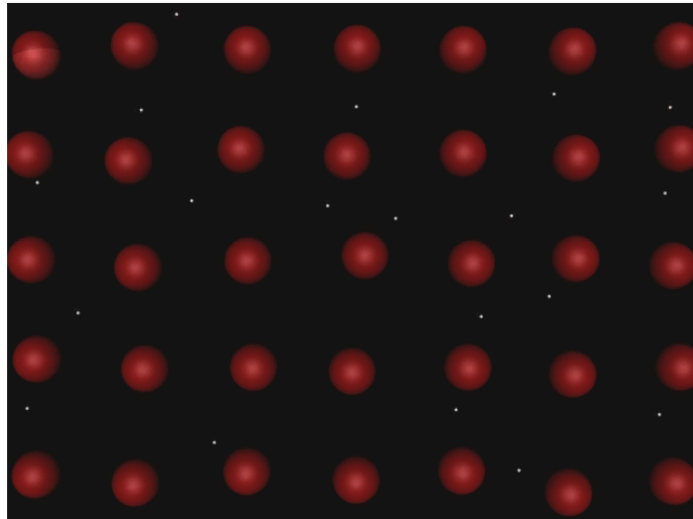
**Άσκηση 9**

**Πειραματική διαδικασία**

- Ακουμπήστε το κάτω μέρος του λαμπτήρα στην πινέζα.

εικόνα 6.22: Σελίδα για την εκτέλεση πειράματος για το διαχωρισμό υλικών σε μονωτές και αγωγούς

Ακολουθεί η μικροσκοπική ερμηνεία για τους μονωτές και τους αγωγούς (εικόνα 6.23).

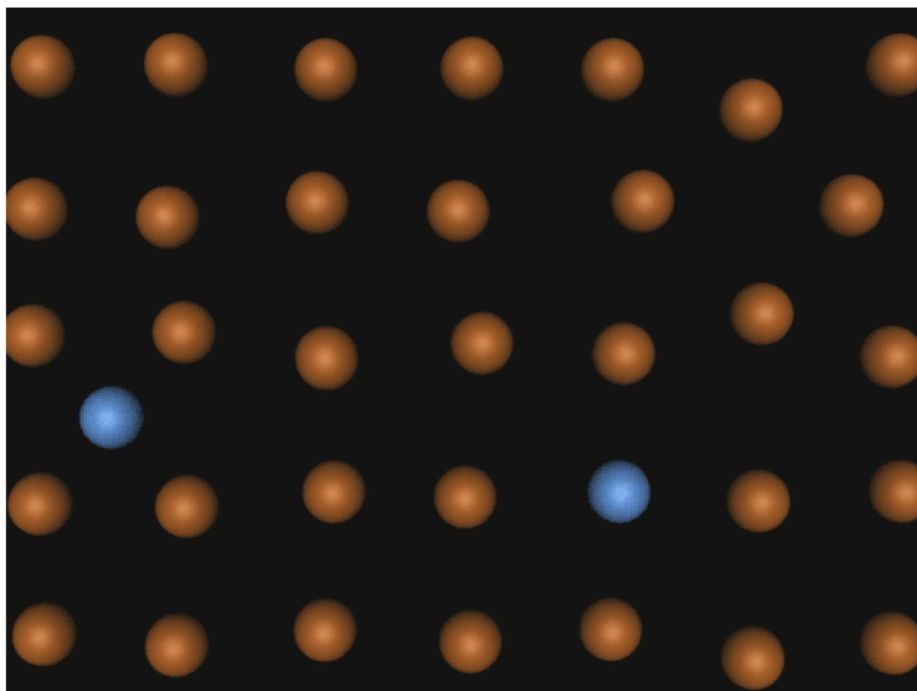


Το πρώτο βίντεο αναφέρεται σε: α) μονωτή β) αγωγό

Το δεύτερο βίντεο αναφέρεται σε: α) μονωτή β) αγωγό

εικόνα 6.23: Βίντεο για την οπτικοποίηση μονωτή και αγωγού

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στο πραγματικό και στο ιδανικό κρυσταλλικό πλέγμα (εικόνα 6.24).



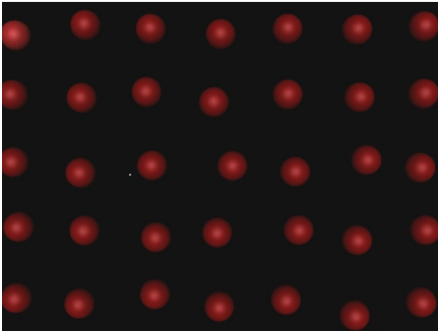
πραγματικό κρυσταλλικό πλέγμα

εικόνα 6.24: Βίντεο για την οπτικοποίηση πραγματικού κρυσταλλικού πλέγματος

Ακολουθεί η ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος σε μικροσκοπικό επίπεδο (εικόνα 6.25).

frame - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help



*Κίνηση ηλεκτρονίου μετά την εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου*

Ένας αγώγος αποτελείται από μια περιοδική διάταξη ατόμων. Ανάμεσα στα άτομα μπορούν να κινούνται ελεύθερα τα λεγόμενα ελεύθερα ηλεκτρόνια, που μερικές φορές, ονομάζονται ηλεκτρόνια αγωγιμότητας διότι είναι οι φορείς του ηλεκτρικού φορτίου. Χονδρικά, υπάρχουν τόσα ελεύθερα ηλεκτρόνια όσα και άτομα. Όταν δεν υπάρχει εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται σε τυχαίες κατευθύνσεις.

Η κατάσταση μεταβάλλεται όταν εφαρμοστεί ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο στο μέταλλο. Εκτός από την τυχαία κίνηση που μόλις περιγράψαμε, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια υπό την επίδραση του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, διολισθαίνουν αργά προς μια κατεύθυνση. Στο μοντέλο μας υποθέτουμε ότι η ενέργεια που κερδίζουν τα ηλεκτρόνια από το ηλεκτρικό πεδίο χάνεται μέσα στον αγώγο λόγω των κρούσεων. Έτσι τα άτομα κερδίζουν ενέργεια και αρχίζουν να ταλαντώνονται περισσότερο, οπότε ο αγώγος θερμαίνεται.

Αν κανείς χρησιμοποιήσει το κλασικό μοντέλο για να προσδιορίσει και θεωρητικά την τιμή μιας σταθεράς που καλείται ηλεκτρική αγωγιμότητα - σταθερά που δείχνει την αγωγιμότητα του υλικού και συμβολίζεται με  $\sigma$  - κάποιων μετάλλων θα διαπιστώσει είναι πολύ μικρότερη από την πειραματική της τιμή. Για παράδειγμα στην περίπτωση του χαλκού η τιμή που υπολογίζεται με βάση το κλασικό μοντέλο είναι 10 περίπου φορές μικρότερη από την πειραματική της τιμή.

εικόνα 6.25: Ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος μικροσκοπικά

## **7 Εφαρμογή**

Η εφαρμογή της διδακτορικής διατριβής περιλαμβάνει βιβλιογραφική αναζήτηση, διατύπωση πρότασης, προσαρμογή επιστημονικών προτύπων σε εκπαιδευτικά πρότυπα, προσομοιώσεις / δυναμικές οπτικοποιήσεις (2D και 3D) προτύπων με τη μέθοδο Monte Carlo, σύνθεση εκπαιδευτικού λογισμικού / υλικού, επιλογή ομάδων ελέγχου και εφαρμογής, διαμορφωτική (προ-)εφαρμογή / ανάδραση, τελική διατύπωση πρότασης / λογισμικού / υλικού, εφαρμογή, επεξεργασία δεδομένων, αξιολόγηση, διατύπωση συμπερασμάτων / προτάσεων, γενίκευση, δημοσιοποίηση.

Η έρευνα: Η έρευνα αποτελείται από διαδικασίες σχεδιασμού, εφαρμογής, αξιολόγησης και ανάδρασης, ενώ το δείγμα αφορά σε φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης (ΠΤΔΕ).

### **7.1 Η διαμορφωτική αξιολόγηση**

Η διαμορφωτική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2002 – 2003. Το λογισμικό που αξιολογήθηκε αφορούσε στις τρεις θεματικές ενότητες (κυματοσωματιδιακή φύση του φωτός – το άτομο και η κβαντική θεωρία – φάσματα) όπως αυτό περιγράφηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

#### **7.1.α Η μέθοδος, η τεχνική, τα μέσα και τα υλικά**

Ως μέσο για τη συγκέντρωση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το *γ ρ α π τ τ ό ε ρ ω τ η μ α τ ο λ ό γ ι ο*. Οι περισσότερες ερωτήσεις είναι κλειστού τύπου και όπου απαιτήθηκε, ανοιχτού τύπου.

#### **7.1.β Η διαδικασία**

Στο εργαστηριακό τμήμα (αυτό που σε επόμενο κομμάτι της έρευνας λειτουργεί ως τμήμα πειραματισμού), σε κάθε εργαστηριακή άσκηση οι φοιτητές συμπλήρωναν ένα ερωτηματολόγιο (pre-test). Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν η άσκηση και οι φοιτητές καλούνταν να συμπληρώσουν αντίστοιχο ερωτηματολόγιο (post-test), γνωρίζοντας ότι αυτό θα αποτελέσει ένα από τα κριτήρια της βαθμολόγησής τους. Κατά μέσο όρο ένα μήνα μετά το πέρας των διδασκαλιών οι φοιτητές συμπλήρωσαν ένα ακόμα ερωτηματολόγιο (final post-test), γνωρίζοντας ότι και αυτό θα αποτελέσει κριτήριο για την τελική βαθμολογία τους στο μάθημα του εργαστηρίου. Την εβδομάδα που οι φοιτητές αυτού του εργαστηριακού δώρου διδάχθηκαν τη θεματική ενότητα για το άτομο του υδρογόνου επιλέχθηκε ένα δεύτερο εργαστηριακό τμήμα για να χρησιμοποιηθεί ως ομάδα ελέγχου. Η ομάδα ελέγχου διδάχθηκε τη θεματική για το άτομο του υδρογόνου χωρίς όμως σε αυτούς να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα της προσομοίωσης –που περιελάμβανε δισδιάστατες αναπαραστάσεις του μοντέλου πιθανοτήτων για το άτομο του υδρογόνου, όπως περιγράφηκε παραπάνω– αλλά μόνο εικόνες και λεκτικές περιγραφές που αφορούσαν σε αυτό το μοντέλο.

Οι φοιτητές κατά τη διάρκεια της συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων έδειξαν εξαιρετική προθυμία, συνεργατικότητα και σοβαρότητα.

Ακολούθησε η κωδικοποίηση των απαντήσεων και η καταχώριση των δεδομένων σε κατάλληλα διαμορφωμένα αρχεία στον υπολογιστή και η ποιοτική επεξεργασία τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και σχολιάζονται στην αντίστοιχη ενότητα παρακάτω.

### **7.1.γ Το πλήθος, η δειγματοληψία, το δείγμα**

Ως γενικότερο **πλήθος** μελέτης θεωρήθηκαν οι φοιτητές, οι οποίοι το ακαδημαϊκό έτος 2002-2003 ασκούσαν στο υποχρεωτικό εργαστηριακό μάθημα Φυσικής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Γ' έτους. Το εργαστήριο επιλέχθηκε με κριτήριο τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων, λόγω ειδικών συνθηκών. Ως τελευταία ημερομηνία συλλογής δεδομένων είχε οριστεί εκείνη της εξέτασης των φοιτητών κατά το τέλος του β' εξαμήνου.

Το **δείγμα** που προέκυψε για την περίπτωση του Φωτοηλεκτρικού φαινομένου και τα **φάσματα** περιλαμβάνει: 27 φοιτητές.

	Τμήμα Πειραματισμού
Άνδρες	2
Γυναίκες	25
Σύνολο	27

Το **δείγμα** που προέκυψε για την περίπτωση του κβαντικού μοντέλου για το άτομο του υδρογόνου περιλαμβάνει 49 φοιτητές.

	Τμήμα έλεγχου	Τμήμα Πειραματισμού
Άνδρες	3	2
Γυναίκες	23	21
Σύνολο	26	23

### **7.2 Η εφαρμογή**

Ως γενικότερο πλήθος μελέτης θεωρήθηκαν οι φοιτητές, οι οποίοι το ακαδημαϊκό έτος 2003-2004 ασκούσαν στο υποχρεωτικό εργαστηριακό μάθημα Φυσικής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Γ' έτους. Τα εργαστήρια επιλέχθηκαν με κριτήριο τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων, λόγω ειδικών συνθηκών. Ως τελευταία ημερομηνία συλλογής δεδομένων είχε οριστεί εκείνη της εξέτασης των φοιτητών κατά το τέλος του β' εξαμήνου. Το δείγμα που προέκυψε περιλαμβάνει 121 φοιτητές.



Κατά την αρχή του χειμερινού εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2003-2004 δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο στους 121 φοιτητές. Στη συνέχεια σε κάθε θεματική ενότητα δόθηκε ένα αρχικό ερωτηματολόγιο (pre test) και μία εβδομάδα μετά τη διδασκαλία ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο (post test). Τρεις μήνες μετά το πέρας της διδασκαλίας δόθηκε ένα τελικό ερωτηματολόγιο (final post test) που αφορούσε όλες τις θεματικές ενότητες.

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται ένα σχεδιάγραμμα της εκπαιδευτικής διαδικασίας με την αντίστοιχη οργάνωση των τμημάτων.

	<i>Η εκπαιδευτική παρέμβαση</i>	<i>Οργάνωση της τάξης</i>
<i>1<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Pre test – χαρακτηριστικά των κυμάτων (μέρος Α)	<i>4 τμήματα: 121 φοιτητές Ομάδες εργασίες: τρεις φοιτητές ανά ομάδα (σύνολο 10 ομάδες σε κάθε τμήμα)  Όλες οι ομάδες διδάχθηκαν με το ίδιο υλικό</i>
<i>2<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Διαμήκη και εγκάρσια κύματα (μέρος Β), κυματικά φαινόμενα (μέρος Γ)	
<i>3<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Στάσιμα κύματα (μέρος Δ)	
<i>4<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Post test της προηγούμενης ενότητας – Pre test της επόμενης ενότητας – περίθλαση (μέρος Α), συμβολή (μέρος Β)	
<i>5<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (μέρος Γ)	
<i>6<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Συνεχή Φάσματα Εκπομπής και Απορρόφησης (μέρος Α) – Γραμμικά Φάσματα Εκπομπής και Απορρόφησης (μέρος Β)	
<i>7<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Post test της προηγούμενης θεματικής ενότητας - Pre test της επόμενης ενότητας, κίνηση Brown (μέρος Α), το μοντέλο του Rutherford (μέρος Β) το μοντέλο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου(μέρος Γ)	
<i>8<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Post test της προηγούμενης ενότητας - Pre test της επόμενης ενότητας, Το άτομο του υδρογόνου (σε σύγκριση με το μοντέλο του Bohr)	<i>2 τμήματα: 60 φοιτητές (ομάδα πειραματισμού) 2 τμήματα: 61 φοιτητές (ομάδα ελέγχου)  Τα δύο τμήματα διδάχθηκαν τις ίδιες θεματικές, ακολουθώντας την ίδια εκπαιδευτική μεθοδολογία.</i>
<i>9<sup>η</sup> εβδομάδα</i>	Post test της προηγούμενης ενότητας - Pre test της επόμενης ενότητας, Ηλεκτρικό ρεύμα	

		Στο τμήμα ελέγχου δε χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης / οπτικοποίησης αλλά μόνο στατικές εικόνες και λεκτικές περιγραφές
10 <sup>η</sup> εβδομάδα	Post test της προηγούμενης ενότητας	
3 μήνες αργότερα	Final Post test των προηγούμενων ενοτήτων	

Στη συνέχεια εμφανίζονται αναλυτικότερα στοιχεία για τα τμήματα πειραματισμού και ελέγχου, αναφορικά με το φύλο και το σύνολο του πληθυσμού.

	Τμήμα ελέγχου (I) Παρασκ 5-7	Τμήμα ελέγχου (II) Πέμπτη 2-4	Τμήμα πειραματισμού (I) Πέμπτη 4-6	Τμήμα πειραματισμού (II) Παρασκ 11-1
Άνδρες	3	4	6	4
Γυναίκες	27	27	24	26
Σύνολο	30	31	30	30

## **8 Η αξιολόγηση**

### **8.1 Ερευνητικά ερωτήματα**

Τα ερωτήματα που θέσαμε για την έρευνα που πραγματοποιήθηκε στους φοιτητές του παιδαγωγικού τμήματος είναι:

- Ποιες είναι οι προ-αντιλήψεις των φοιτητών όσον αφορά αρχές και φαινόμενα της κβαντικής φυσικής;
- Οι φοιτητές έχουν αναπτύξει μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου;
- Είναι δυνατό ένα εκπαιδευτικό μετακλασικό μοντέλο (υποστηριζόμενο από λογισμικό) να βοηθήσει φοιτητές με χαμηλό υπόβαθρο στα μαθηματικά και στη φυσική να κατανοήσουν μετακλασικές αρχές;
- Η παράλληλη εισαγωγή του μοντέλου του Μπορ και του μοντέλου πιθανοτήτων για το άτομο του υδρογόνου μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές να διακρίνουν τα μοντέλα αυτά μεταξύ τους;
- Μπορεί η προσομοίωση / οπτικοποίηση του μοντέλου πιθανοτήτων του ατόμου του υδρογόνου να συμβάλλει στην αποδοχή αυτού του μοντέλου ως το κυρίαρχο νοητικό μοντέλο από τους φοιτητές;
- Η χρήση ενός προγράμματος προσομοίωσης για το άτομο του υδρογόνου μπορεί να έχει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα από τη χρήση στατικών εικόνων και λεκτικών περιγραφών;

### **8.2 Η διαμορφωτική αξιολόγηση**

#### **8.2.α Η διαδικασία**

Στο εργαστηριακό τμήμα (αυτό που για τις θεματική ενότητα «Το άτομο του υδρογόνου» λειτουργεί ως τμήμα πειραματισμού), σε κάθε εργαστηριακή άσκηση οι φοιτητές συμπλήρωναν ένα ερωτηματολόγιο (pre-test). Στη συνέχεια πραγματοποιούνταν η άσκηση και οι φοιτητές καλούνταν να συμπληρώσουν αντίστοιχο ερωτηματολόγιο (post-test), γνωρίζοντας ότι αυτό θα αποτελέσει ένα από τα κριτήρια της βαθμολόγησής τους. Κατά μέσο όρο ένα μήνα μετά το πέρας των διδασκαλιών οι φοιτητές συμπλήρωσαν ένα ακόμα ερωτηματολόγιο (final post-test), γνωρίζοντας ότι και αυτό θα αποτελέσει κριτήριο για την τελική βαθμολογία τους.

Ακολούθησε η κωδικοποίηση των απαντήσεων και η καταχώριση των δεδομένων σε κατάλληλα διαμορφωμένα αρχεία στον υπολογιστή και η επεξεργασία τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και σχολιάζονται στην αντίστοιχη ενότητα παρακάτω.

### 8.2.β Το πλήθος, η δειγματοληψία, το δείγμα

1. Ως γενικότερο πλήθος μελέτης θεωρήθηκαν οι φοιτητές, οι οποίοι το ακαδημαϊκό έτος 2002-2003 ασκούσαν στο υποχρεωτικό εργαστηριακό μάθημα Φυσικής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Γ' έτους.

2. Το εργαστήριο επιλέχθηκε με κριτήριο τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων, λόγω ειδικών συνθηκών. Ως τελευταία ημερομηνία συλλογής δεδομένων είχε οριστεί εκείνη της εξέτασης των φοιτητών κατά το τέλος του β' εξαμήνου.

3. α) Το δείγμα που προέκυψε για τη θεματική ενότητα του Φωτοηλεκτρικού φαινομένου περιλαμβάνει: 27 φοιτητές.

	Τμήμα Πειραματισμού
Άνδρες	2
Γυναίκες	25
Σύνολο	27

β) Το δείγμα που προέκυψε για τη θεματική ενότητα των Φασμάτων περιλαμβάνει: 24 φοιτητές.

	Τμήμα Πειραματισμού
Άνδρες	2
Γυναίκες	21
Σύνολο	23

γ) Το δείγμα που προέκυψε για τη θεματική ενότητα του ατόμου του υδρογόνου περιλαμβάνει: 49 φοιτητές.

	Τμήμα έλεγχου	Τμήμα Πειραματισμού
Άνδρες	3	2
Γυναίκες	23	21
Σύνολο	26	23

### 8.2.γ Συμπεράσματα από τη διαμορφωτική αξιολόγηση

Από την καταχώρηση των ερωτηματολογίων προκύπτουν τα ακόλουθα:

Η διδασκαλία του φωτοηλεκτρικού φαινομένου σχετιζόταν με τη διδασκαλία της σωματιδιακής φύσης του φωτός. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο μελετήθηκε ως προς την ένταση του φωτός και τη συχνότητα. Ήδη οι φοιτητές είχαν αντιμετωπίσει το φως ως κύμα –πραγματοποιώντας ένα πείραμα συμβολής μίας φωτεινής δέσμης laser. Οι φοιτητές έπρεπε να κατανοήσουν ότι η αύξηση της έντασης του φωτός δε συνεπάγεται την εκπομπή ηλεκτρονίων που κινούνται ταχύτερα αλλά ο παράγοντας που επιδρά στην ταχύτητα των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων είναι η συχνότητα της προσπίπτουσας δέσμης. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το ανάλογο ενός μηχανικού κύματος –θαλάσσιου κύματος, ικανής έντασης– που χτυπά έναν άνθρωπο που στέκεται στην παραλία. Το ερώτημα που θέσαμε ήταν σε ποια περίπτωση αυτός θα αποκτούσε μεγαλύτερη κινητική ενέργεια, όταν τον χτυπούσε κύμα μεγάλης ή μικρής έντασης; Οι φοιτητές σε ποσοστό 78% για την περίπτωση του pre-test και σε ποσοστό 96% για την περίπτωση του post-test, κατανοούν ότι όταν κύμα μεγάλης έντασης χτυπήσει τον άνθρωπο εκείνος θα αποκτήσει μεγαλύτερη κινητική ενέργεια.

- Προφανώς αντιμετωπίζοντας το φως ως κύμα οι φοιτητές στην ερώτηση για το τι συμβαίνει στην περίπτωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου κατά την αύξηση της έντασης του φωτός αναφορικά με την κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων, απαντούν σε ποσοστό 70% για την περίπτωση του pre-test ότι αυξάνει η κινητική τους ενέργεια, ενώ στο post-test το 96% των φοιτητών απαντούν ότι δεν παρατηρείται μεταβολή της κινητικής τους ενέργειας. Μάλιστα σε ποσοστό 96% και πάλι απαντούν ότι αυξάνει η κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων όταν αυξάνει η συχνότητα των φωτονίων που προσπίπτουν στη μεταλλική επιφάνεια.

Στην περίπτωση της εργαστηριακής άσκησης για το φάσμα,

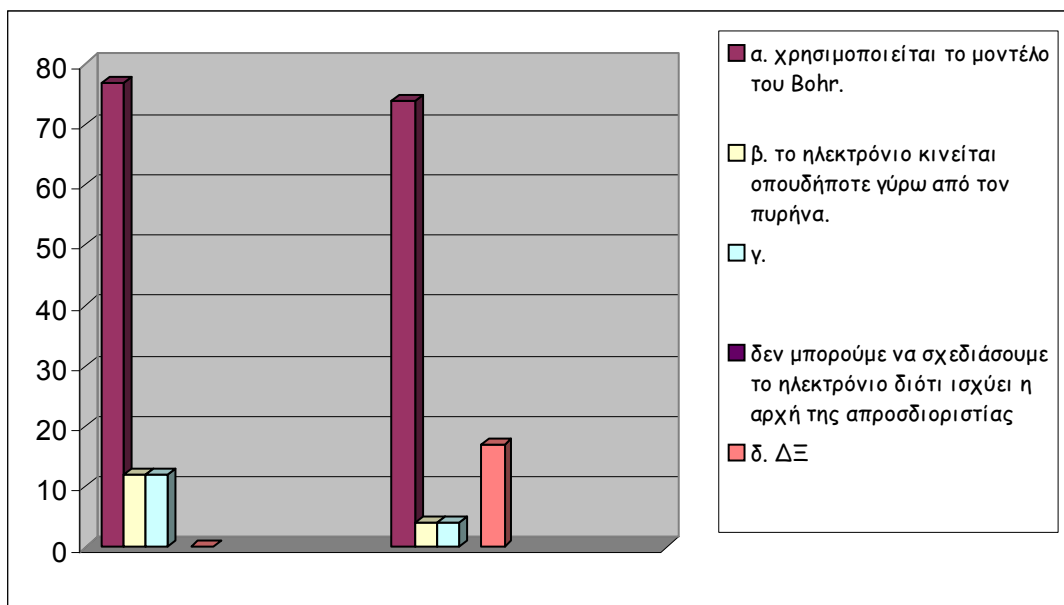
- το 63% των φοιτητών θεωρούν ότι το φως εκπέμπεται από τα άτομα όταν ένα ηλεκτρόνιο, ξεφεύγει από την έλξη του πυρήνα ενός ατόμου και κινείται πλέον ελεύθερα. Το ποσοστό των φοιτητών που απαντά σωστά είναι μόλις το 8%. Μετά τη διδασκαλία το ποσοστό που απαντά σωστά είναι 67% ενώ το ποσοστό που εμμένει στην αρχική του άποψη είναι το 13%.
- Για το σχηματισμό συνεχούς φάσματος απορρόφησης που προκύπτει από την παρεμβολή μίας κόκκινης διαφάνειας μεταξύ του παρατηρητή και της πηγής συνεχούς φωτός το 63% των φοιτητών θεωρούν ότι αυτό οφείλεται στην απορρόφηση φωτονίων κόκκινης συχνότητας και εκπομπής όλων των υπολοίπων, ενώ μετά τη διδασκαλία όλοι οι φοιτητές απαντούν ότι το φάσμα προκύπτει από την απορρόφηση φωτονίων όλων των συχνοτήτων και την εκπομπή φωτονίων κόκκινης συχνότητας.

Για την περίπτωση του ατόμου του υδρογόνου:

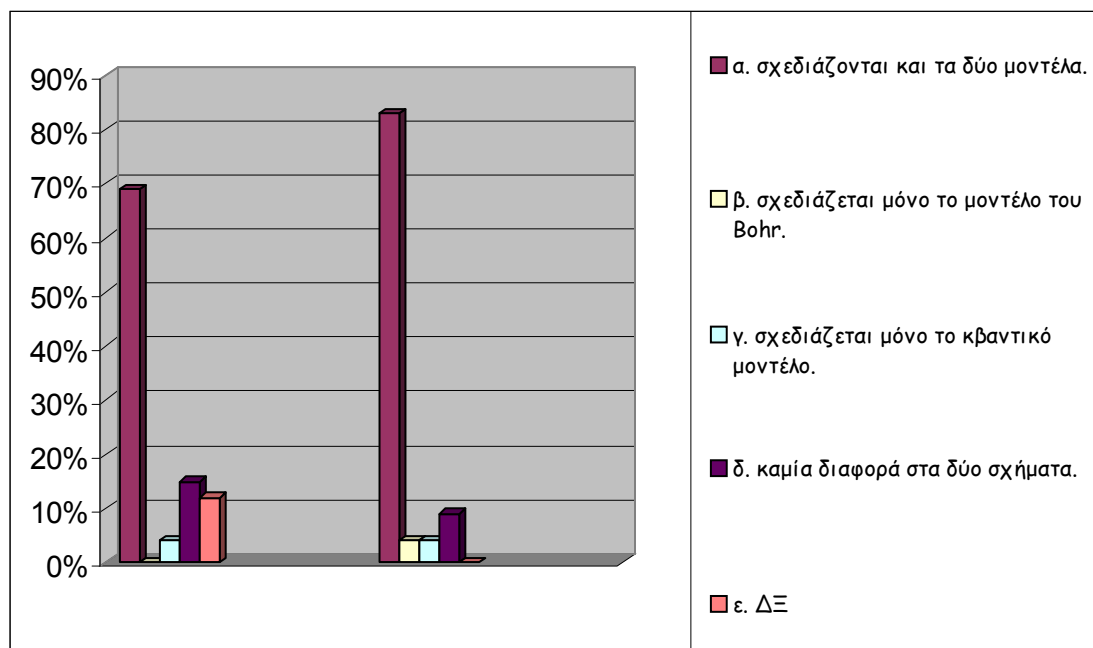
- Στο τμήμα ελέγχου το ποσοστό που απαντά σωστά στην ερώτηση «Αφήνετε μια μικρή σφαίρα από κάποιο ύψος να πέσει προς το έδαφος. Την απόσταση από το σημείο που αφήνουμε τη σφαίρα την έχουμε χωρίσει σε 5 ίσα διαστήματα. Αν φωτογραφίζετε ανά

τακτά χρονικά διαστήματα τη σφαίρα που νομίζετε ότι είναι περισσότερο πιθανό να την εντοπίσετε;»– είναι το 54% ενώ στην περίπτωση του τμήματος πειραματισμού είναι το 48%. Αξιοσημείωτο είναι ότι το υπόλοιπο 52% για την περίπτωση του τμήματος πειραματισμού απαντά ότι είναι περισσότερο πιθανό να την εντοπίσουν κοντά στο έδαφος. Αιτιολογώντας θεωρούν ότι εκεί η σφαίρα έχει τη μικρότερη ταχύτητα. Είναι φανερό ότι αν και έχουν συνδέσει τη συχνότητα εμφάνισης του σώματος με το μέτρο της ταχύτητας αγνοούν το γεγονός ότι στην ελεύθερη πτώση το σώμα έχει την ελάχιστη ταχύτητα στην αρχή της κίνησής του.

- Στην ερώτηση–«Αν γνωρίζατε που βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο κάποια χρονική στιγμή θα μπορούσατε με βεβαιότητα να προσδιορίσετε την επόμενη θέση του;»– στο τμήμα πειραματισμού το 43% πιστεύει ότι το ηλεκτρόνιο έχει καθορισμένη τροχιά και το 9% ότι μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του σώματος. Αντίστοιχα το ποσοστό για το τμήμα ελέγχου είναι 8% και 19%. Στο τμήμα ελέγχου το 70% απαντά ότι δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του ηλεκτρονίου ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το τμήμα πειραματισμού είναι 38%, επικαλούμενοι διαφορετικούς λόγους. Μάλιστα, ένα 12% στο τμήμα ελέγχου χρησιμοποιεί ως αιτιολόγηση την αρχή της απροσδιοριστίας ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για το τμήμα πειραματισμού είναι 4%.
- Παρά το γεγονός ότι ένα μεγάλο ποσοστό –το 70% στην περίπτωση του τμήματος ελέγχου και το 38% στο τμήμα πειραματισμού– απαντά ότι δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση ενός ηλεκτρονίου στην ερώτηση του pre-test «σχεδιάστε και περιγράψτε 10 διαδοχικές θέσεις ενός ηλεκτρονίου σε κάποιο άτομο» το 77% για το τμήμα ελέγχου και το 74% στο τμήμα πειραματισμού σχεδιάζει το άτομο με βάση το μοντέλο του Bohr (διάγραμμα 8.1). Αξιοσημείωτο είναι ότι και στα δύο τμήματα οι φοιτητές που αναφέρθηκαν στην αρχή της απροσδιοριστίας δεν σχεδίασαν κανένα μοντέλο ατόμου.
- Μετά το πέρας της διδασκαλίας ζητήθηκε από τους φοιτητές να σχεδιάσουν ορισμένες διαδοχικές θέσεις ενός ηλεκτρονίου κάποιου ατόμου, σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr και σύμφωνα με το κβαντικό μοντέλο. Υπενθυμίζουμε ότι ο παράγοντας που διαφοροποιούσε τα δύο τμήματα ήταν η χρήση κινούμενων εικόνων για τη μελέτη του κβαντικού προτύπου. Το 83% του τμήματος πειραματισμού έναντι του 69% του τμήματος ελέγχου μπορούσε να σχηματίσει και τα 2 μοντέλα. Στο τμήμα πειραματισμού το 4% σχεδίασε μόνο το μοντέλο του Bohr, το 4% σχεδίασε μόνο το κβαντικό μοντέλο, ενώ το 9% αποτύπωσε και στα δύο σχήματα την ίδια εικόνα. Αντίστοιχα για το τμήμα ελέγχου τα ποσοστά ήταν 0%, 4% και 12%. Στο τμήμα ελέγχου το 12% δεν αποτύπωσε κανένα από τα δύο μοντέλα (διάγραμμα 8.2).



Διάγραμμα 8.1: Διάγραμμα που εμφανίζει τα ποσοστά των απαντήσεων στην ερώτηση του pretest: «Περιγράψτε και σχεδιάστε 10 διαδοχικές θέσεις ενός ηλεκτρονίου». Οι πρώτες στήλες αντιστοιχούν στο τμήμα ελέγχου και οι δεύτερες στο τμήμα πειραματισμού



Διάγραμμα 8.2: Διάγραμμα που εμφανίζει τα ποσοστά των απαντήσεων στην ερώτηση του posttest: «Περιγράψτε και σχεδιάστε 10 διαδοχικές θέσεις ενός ηλεκτρονίου». Οι πρώτες στήλες αντιστοιχούν στο τμήμα ελέγχου και οι δεύτερες στο τμήμα πειραματισμού

### Αλλαγές στο περιεχόμενο

Σε γενικές γραμμές οι φοιτητές έδειξαν να κατανοούν το περιεχόμενο των θεματικών ενότητων που επελέγησαν να διδαχθούν. Όσον αφορά στο άτομο του υδρογόνου, τα αρχικά test έδειξαν ότι το κυρίαρχο μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου είναι το πλανητικό μοντέλο. Μετά τη διδασκαλία μεγαλύτερο ποσοστό φοιτητών του τμήματος πειραματισμού σχεδιάζει σωστά και τα δύο μοντέλα (Bohr – μοντέλο πιθανοτήτων) κάτι που αναδεικνύει τον ευεργετικό ρόλο του προγράμματος προσομοίωσης.

Η διαμορφωτική αξιολόγηση οδήγησε σε:

α) προσθήκη νέων θεματικών ενότητων.

Η θεματική ενότητα για την κυματική φύση του φωτός ανέδειξε το γεγονός ότι οι φοιτητές αγνοούν σημαντικά στοιχεία από την κυματική θεωρία των μηχανικών κυμάτων. Ο λόγος αυτός μας οδήγησε στο να σχεδιάσουμε και να προσθέσουμε μία αρχική θεματική ενότητα που να αφορά στα μηχανικά κύματα. Επιπλέον προστέθηκε μία θεματική ενότητα για τα πρῶιμα μοντέλα του ατόμου. Επίσης, αλλαγές, όπως περιγράφηκε και στο αντίστοιχο κομμάτι της σχεδίασης, πραγματοποιήθηκε και στο περιεχόμενο των ήδη υπάρχουσών ασκήσεων. Έτσι προστέθηκε ενότητα για την περίθλαση του φωτός καθώς και ενότητα για τη συμβολή των ηλεκτρονίων, ενώ στην άσκηση για το άτομο του υδρογόνου προστέθηκε πρόγραμμα προσομοίωσης / οπτικοποίησης για την παράλληλη διδασκαλία του μοντέλου του Bohr και του κβαντικού μοντέλου.

β) αφαίρεση της θεματικής ενότητας για την ταλάντωση του σώματος.

Η αφαίρεση αυτής της θεματικής ενότητας πραγματοποιήθηκε διότι φάνηκε από απαντήσεις φοιτητών ότι συνδύασαν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης του ηλεκτρονίου του ατόμου του υδρογόνου σε μία περιοχή με χαμηλή ταχύτητα, όπως ακριβώς συμβαίνει στην ταλάντωση ενός σώματος όπου στις περιοχές όπου η ταχύτητα ελαττώνεται η σφαίρα σε σταβοσκοπική απεικόνιση εμφανίζεται συχνότερα.

γ) μεταφορά της ενότητας φάσματα πριν τη διδασκαλία των μοντέλων του ατόμου, αφού τα φάσματα αποτέλεσαν τη μακροσκοπική παρατήρηση –το κλειδί όπως συχνά αναφέρεται– για να οδηγηθούμε στη δομή των ατόμων.

δ) εισαγωγή και άλλων φαινομένων του μικροκόσμου στα οποία μπορούν για την ερμηνεία τους να χρησιμοποιηθούν και το κλασικό και το κβαντικό πρότυπο, όπως για παράδειγμα το ηλεκτρικό ρεύμα.

ε) δημιουργία μοντέλων για το άτομο του υδρογόνου για όλες τις καταστάσεις με κύριο κβαντικό αριθμό  $n=2$  για το μοντέλο πιθανοτήτων.

στ) Δημιουργία μοντέλων για το άτομο του υδρογόνου και σε τρεις διαστάσεις, όπου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα περιστροφής του μοντέλου.



### 8.3 Αξιολόγηση

#### 8.3.α Το πλήθος, η δειγματοληψία, το δείγμα

Ως γενικότερο πλήθος μελέτης θεωρήθηκαν οι φοιτητές, οι οποίοι το ακαδημαϊκό έτος 2003-2004 ασκούσαν στο υποχρεωτικό εργαστηριακό μάθημα Φυσικής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Γ' έτους. Τα εργαστήρια επιλέχθηκαν με κριτήριο τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων, λόγω ειδικών συνθηκών. Ως τελευταία ημερομηνία συλλογής δεδομένων είχε οριστεί εκείνη της εξέτασης των φοιτητών κατά το τέλος του β' εξαμήνου. Το δείγμα που προέκυψε περιλαμβάνει 121 φοιτητές.

Κατά την αρχή του χειμερινού εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2003-2004 δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο στους 121 φοιτητές. Στη συνέχεια σε κάθε θεματική ενότητα δόθηκε ένα αρχικό ερωτηματολόγιο (pre test) και μία εβδομάδα μετά τη διδασκαλία ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο (post test). Τρεις μήνες μετά το πέρας της διδασκαλίας δόθηκε ένα τελικό ερωτηματολόγιο (final post test) που αφορούσε όλες τις θεματικές ενότητες.

Για την ανάλυση των απαντήσεων ακολουθήθηκαν δύο προσεγγίσεις (*Johnston et.al. 1998; Unal et. al., 2000*). Η μία είναι η φαινομενογραφική ανάλυση η οποία αποτελεί μια ποιοτική ανάλυση για την ανίχνευση του τρόπου με τον οποίο οι μαθητές αντιλαμβάνονται και κατανοούν φαινόμενα που συμβαίνουν γύρω τους και η άλλη είναι η ποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με χρήση του t-test.

Για τη φαινομενογραφική ανάλυση η διάκριση των απαντήσεων σε κατηγορίες στηρίχθηκε σε τρεις αρχές (*Unal et. al. 2000*):

- οι κατηγορίες προκύπτουν άμεσα από τις απαντήσεις των μαθητών και για αυτό δεν μπορούμε να έχουμε προ-συμφωνημένες κατηγορίες,
- οι κατηγορίες θα πρέπει να είναι διακρίσιμες και να μην αλληλοκαλύπτονται,
- οι απαντήσεις που κατηγοριοποιούνται θα πρέπει να είναι σαφείς.

Όπου αυτό ήταν δυνατό διατηρήσαμε κοινές κατηγορίες στις απαντήσεις των φοιτητών και για τα τρία τεστ.

#### 8.3.β Ανάλυση δεδομένων

##### 8.3.β.ι Δυϊσμός φωτός / ηλεκτρονίων

Τα τεστ που αναφέρονται στο δυϊσμό του φωτός / ηλεκτρονίων περιλαμβάνει ερωτήσεις από τις ακόλουθες ενότητες:

α. περίθλαση / συμβολή φωτός / ηλεκτρονίου, β. φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, γ. δυϊσμός φωτός, δ. δυϊσμός ηλεκτρονίων.

Από τις απαντήσεις των φοιτητών στο σχετικό pre test φαίνεται ότι δεν γνωρίζουν τι συμβαίνει στα φαινόμενα της περίθλασης ή της συμβολής του φωτός καθώς και στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.

Η ερώτηση για την περίθλαση είναι:

Pre test	Post test	Final Post tes
1. Έχουμε δημιουργήσει μία πολύ μικρή οπή σε ένα κομμάτι από χαρτί. Σε απόσταση δύο μέτρων, έχουμε τοποθετήσει ένα πέτασμα. Αν φωτίσετε τη μία οπή με μία δέσμη φωτός laser, τι νομίζετε ότι θα παρατηρήσετε στο πέτασμα; (Σχεδιάστε ή/και περιγράψτε).		

Η ερώτηση αφορά στο φαινόμενο της περίθλασης μίας δέσμης laser από μια ορθογώνια σχισμή. Στο pre test λάβαμε τις ακόλουθες απαντήσεις:

«θα παρατηρήσουμε το σχηματισμό μιας κηλίδας»

«θα παρατηρήσουμε μία κουκίδα φωτός laser στο χαρτί που θα έχει την ίδια διάμετρο με αυτή της οπής»

«στο πέτασμα θα βλέπουμε μία οπή μεγαλύτερου μεγέθους από αυτή που έχουμε δημιουργήσει στο χαρτί»

«θα παρατηρήσουμε ότι η δέσμη φωτός θα αναλυθεί σε χρώματα».

Τις απαντήσεις αυτές, κατηγοριοποιήσαμε ανάλογα με την ορθότητα της απάντησης (Πίνακας 8.1):

	Πειραματισμού	Ελέγχου	Συνολικά (%)
1. σωστή απάντηση	1	0	1
2. μερικώς σωστή απάντηση	0	0	0
3. λάθος απάντηση	38	32	70
4. κενή απάντηση	12	17	29

Πίνακας 8.1: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων ανάλογα με την ορθότητα της απάντησης για την ερώτηση του pre test που αφορά στην περίθλαση μίας δέσμης laser από μια ορθογώνια σχισμή

Οι απαντήσεις που λάβαμε για την περίπτωση του post test καταχωρούνται στον παρακάτω πίνακα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα γίνεται η διάκριση των απαντήσεων σε 4 κατηγορίες σε σχέση με την πληρότητά τους. Στην 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> στήλη εμφανίζονται τα ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία απάντησης. Στην τελευταία στήλη καταχωρήθηκαν συνολικά τα ποσοστά των φοιτητών και από τα δύο τμήματα (πίνακας 8.2):

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου	Συνολικά (%)
1. σωστή απάντηση	περίθλαση από κυκλική οπή	17	12	3
2α. μερικώς σωστή απάντηση	περίθλαση	19	24	43
2β. μερικώς σωστή απάντηση	Ένα κεντρικό φωτεινό σημείο και γύρω του φωτεινούς και σκοτεινούς δακτυλίους			
3. λάθος απάντηση	Περίθλαση από σχισμή	10	7	17
4. κενή απάντηση	–	3	7	10

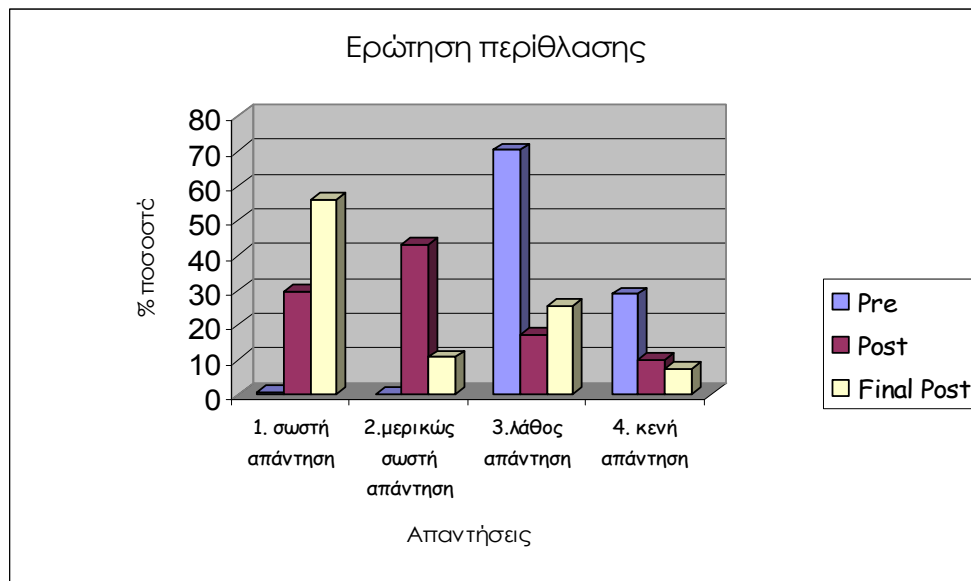
Πίνακας 8.2: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων ανάλογα με την ορθότητα της απάντησης για την ερώτηση του post test που αφορά στην περίθλαση μίας δέσμης laser από μια ορθογώνια σχισμή

Αντίστοιχα (πίνακας 8.3) για την περίπτωση του final post test:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου	Συνολικά (%)
1. σωστή απάντηση	περίθλαση από κυκλική οπή	28	28	56
2α. μερικώς σωστή απάντηση	περίθλαση	5	6	11
2β. μερικώς σωστή απάντηση	Ένα κεντρικό φωτεινό σημείο και γύρω του φωτεινούς και σκοτεινούς δακτυλίους			
3. λάθος απάντηση	Περίθλαση από σχισμή	12	13	26
4. κενή απάντηση	–	4	3	7

Πίνακας 8.3: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων ανάλογα με την ορθότητα της απάντησης για την ερώτηση του final post test που αφορά στην περίθλαση μίας δέσμης laser από μια ορθογώνια σχισμή

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (διάγραμμα 8.3) εμφανίζονται συνολικά τα ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών για όλα τα τεστ, για την περίπτωση της περίθλασης από ορθογώνια σχισμή.



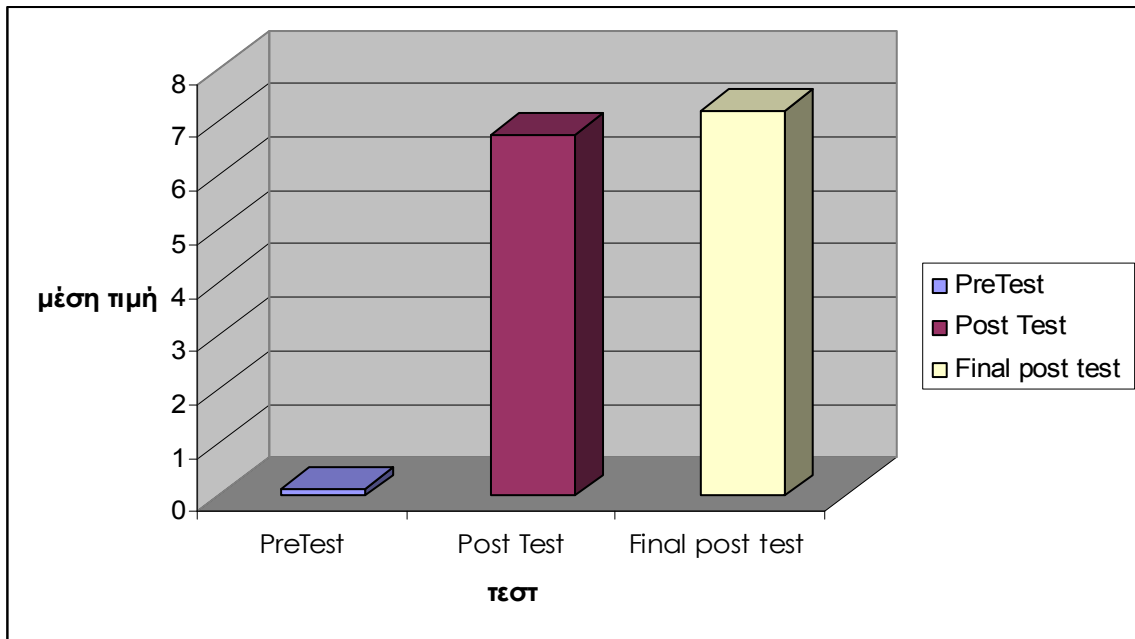
Διάγραμμα 8.3: ποσοστά των απαντήσεων των φοιτητών για όλα τα τεστ, για την περίπτωση της περίθλασης από ορθογώνια σχισμή

Στη συνέχεια οι απαντήσεις των φοιτητών όλων των τεστ βαθμολογήθηκαν στην δεκαβάθμια κλίμακα και οι βαθμοί που έλαβαν καταχωρήθηκαν σε κατάλληλους πίνακες στο στατιστικό πακέτο SPSS 10, όπου με το t-test πραγματοποιήθηκε η στατιστική επεξεργασία. Τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 8.4). Στην πρώτη στήλη του πίνακα καταγράφεται η συνολική βαθμολογία των φοιτητών στο pre test, στη δεύτερη η συνολική βαθμολογία στο post test ενώ στην τρίτη η συνολική βαθμολογία στο final 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.

	PreTest	Post Test	P
Περίθλαση	0.12 ± 0.09	6.75 ± 1.44	0.000
	PreTest	Final post test	P
Περίθλαση	0.12 ± 0.09	7.21 ± 1.19	0.000
	Post Test	Final post test	P
Περίθλαση	6.75 ± 1.44	7.21 ± 1.19	0.000

Πίνακας 8.4: στατιστική επεξεργασία για την ερώτηση της περίθλασης από ορθογώνια σχισμή

Μετά το πέρας της διδασκαλίας οι φοιτητές απαντούν ικανοποιητικά σε ερωτήσεις που αφορούν στην περίθλαση μιας φωτεινής δέσμης laser. Το διάγραμμα (διάγραμμα 8.4) που ακολουθεί δείχνει την μέση βαθμολογία των φοιτητών σε αυτές τις ερωτήσεις.



διάγραμμα 8.4: Διάγραμμα που απεικονίζει το μέσο βαθμό για τις ερωτήσεις της περίθλασης

### Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Στην περίπτωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου οι ερωτήσεις αφορούσαν σε δύο παράγοντες –στην ένταση της ακτινοβολίας και στη συχνότητα– σε σχέση με την κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων.

Οι ερωτήσεις για την παράγοντα «ένταση της ακτινοβολίας» είναι:

	Pre test	Post test	Final Post test
Ερώτηση	Στην περίπτωση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου αυξάνοντας την ένταση του φωτός αυξάνει ο αριθμός των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων α. με ταυτόχρονη αύξηση της κινητικής ενέργειά τους. β. με ταυτόχρονη μείωση της κινητικής ενέργειά τους. γ. χωρίς να παρατηρείται μεταβολή της κινητικής ενέργειά τους. δ. με κατά διαστήματα αύξηση και κατά διαστήματα μείωση της κινητικής ενέργειάς τους.	Τι συμβαίνει στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο όταν μεταβάλλουμε την ένταση της ακτινοβολίας;	

Οι ερωτήσεις για την παράγοντα «συχνότητα φωτός» είναι:

	Pre test	Post test	Final Post test
Ερώτηση	Αυξάνοντας τη συχνότητα των φωτονίων που προσπίπτουν στη μεταλλική επιφάνεια: α. αυξάνει η κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. β. αυξάνει ο αριθμός των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. γ. ελαττώνεται η κινητική ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων. δ. ελαττώνεται ο αριθμός των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων.	Τι συμβαίνει στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο όταν μεταβάλλουμε τη συχνότητα της ακτινοβολίας;	

Οι φοιτητές απαντούν στην πρώτη ερώτηση ότι όταν αυξάνεται η ένταση του φωτός που προσπίπτει στο κύκλωμα της ανόδου όχι μόνο αυξάνει ο αριθμός των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων αλλά ταυτόχρονα αυξάνει και η κινητική τους ενέργεια, ενώ λίγοι είναι αυτοί που απαντούν ότι η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη συχνότητα του φωτός.

Η διδασκαλία όπως δείχνουν και οι παρακάτω πίνακες (πίνακας 8.5 και 8.6) βοήθησε τους φοιτητές στην κατανόηση των φαινομένων αυτών.

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
ένταση ακτινοβολίας στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	1.08 ± 0.32	7.93 ± 1.75	0.000
	PreTest	Final post test	P
ένταση ακτινοβολίας στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	1.08 ± 0.32	7.85 ± 1.65	0.000
	Post Test	Final post test	P
ένταση ακτινοβολίας στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	7.93 ± 1.75	7.85 ± 1.65	n.s.

Πίνακας 8.5: Συνολική βαθμολογία φοιτητών σε ερώτηση που αφορά στην επίδραση της έντασης της ακτινοβολίας στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
συχνότητα στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	2.00 ± 0.21	7.70 ± 1.62	0.000
	PreTest	Final post test	P
συχνότητα στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	2.00 ± 0.21	6.75 ± 1.57	0.000
	Post Test	Final post test	P
συχνότητα στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	7.70 ± 1.62	6.75 ± 1.57	n.s.

Πίνακας 8.6: Συνολική βαθμολογία φοιτητών σε ερώτηση που αφορά στην επίδραση της συχνότητας στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

## Δυσμός του φωτός

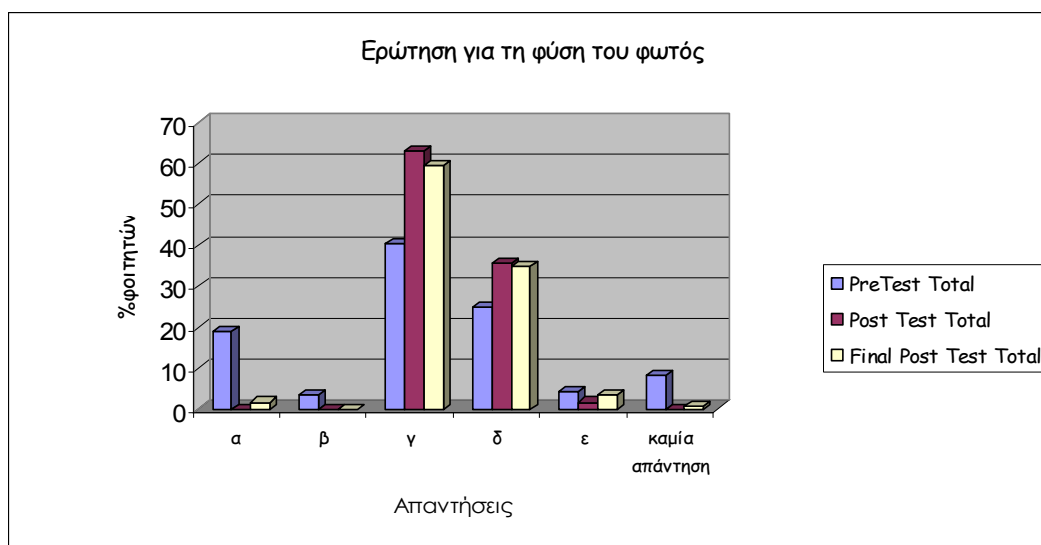
Στην περίπτωση του δυσμού του φωτός οι ερωτήσεις για τα τεστ είναι οι ακόλουθες:

	Pre test	Post test	Final Post tes
Ερώτηση	5. Ποια από τις παρακάτω προτάσεις πιστεύετε ότι είναι σωστή; α. Το φως είναι κύμα, β. Το φως είναι σωματίδια, γ. Το φως είναι κύμα και σωματίδια, δ. Το φως είναι άλλοτε κύμα και άλλοτε σωματίδια, ε. Το φως δεν είναι ούτε κύμα ούτε σωματίδια, Μπορείτε να αιτιολογήσετε την απάντησή σας;	Αναφερθείτε στη φύση του φωτός	

Η ερώτηση στο post test και στο final post test είναι ανοικτή. Τις απαντήσεις κατατάξαμε σύμφωνα με τις 5 κατηγορίες της ερώτησης του pre test. Στον πίνακα (πίνακας 8.7) και στο διάγραμμα (διάγραμμα 8.4) που ακολουθούν καταγράφονται τα ποσοστά των φοιτητών που επιλέγουν τις αντίστοιχες κατηγορίες και στο διάγραμμα .

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	Final post test
α	19	0	2
β	3	0	0
γ	40	63	60
δ	25	36	35
ε	4	2	3
Καμία απάντηση	8	0	1

Πίνακας 8.7: ποσοστά των φοιτητών που επιλέγουν τις αντίστοιχες κατηγορίες για την ερώτηση του δυσμού του φωτός



Διάγραμμα 8.4: ποσοστά των φοιτητών που επιλέγουν τις αντίστοιχες κατηγορίες για την ερώτηση του δυσμού του φωτός



Στην ίδια ερώτηση στο pre test ζητήθηκε από τους φοιτητές να αιτιολογήσουν / επιχειρηματολογήσουν για την απάντησή τους αναφορικά με τη φύση του φωτός.

Οι απαντήσεις που λάβαμε είναι:

Το φως περιθλάται ή συμβάλλει και αναφορά στη θεωρία των φωτονίων (4%)

Είναι γνωστό ότι το φως εμφανίζει κυματοσωματιδιακή συμπεριφορά (7%)

Το φως συμπεριφέρεται άλλοτε ως κύμα και άλλοτε ως σωματίδιο (9%)

Το φως αποτελείται από φωτόνια που κινούνται σαν κύματα (4%)

Άλλες απαντήσεις μη κατατάξιμες (16%)

Καμία απάντηση (60%)

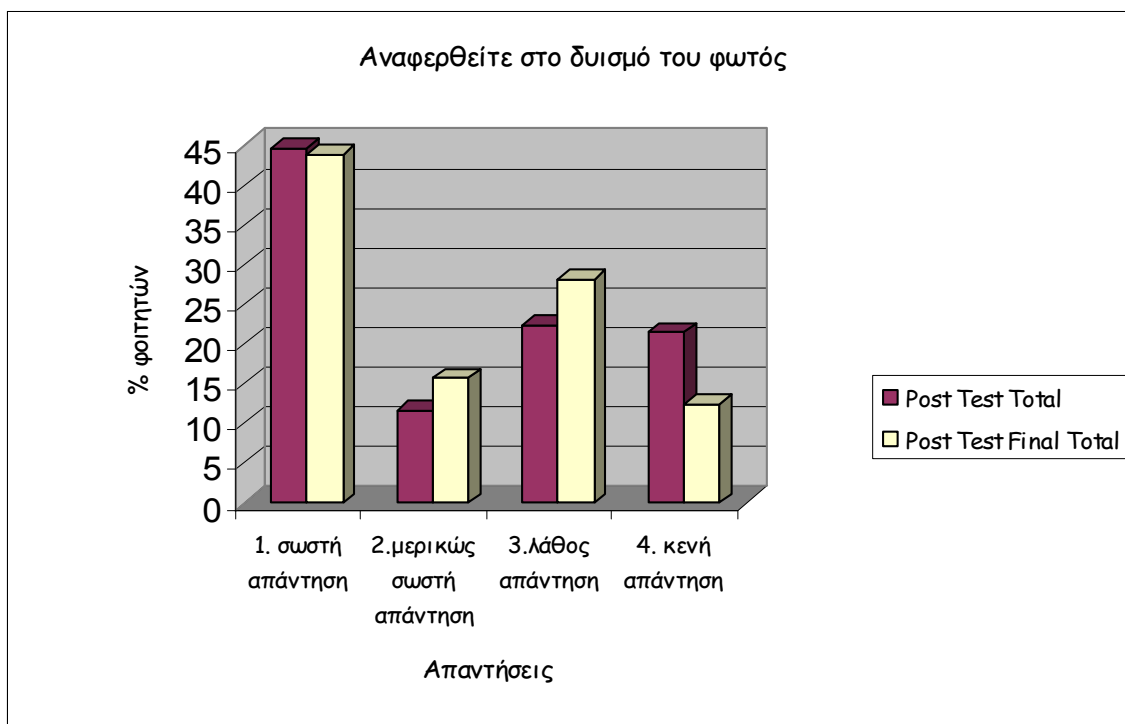
Αντίστοιχα στα post και final post test οι φοιτητές στην αντίστοιχη ερώτηση αναφέρθηκαν με επιχειρήματα στη φύση του φωτός. Στην πρώτη στήλη του πίνακα (πίνακας 8.8) γίνεται η διάκριση των απαντήσεων σε 4 κατηγορίες –με δύο υποκατηγορίες για την πρώτη κατηγορία και τρεις για τη δεύτερη– σε σχέση με την πληρότητά τους. Στην 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> στήλη εμφανίζονται τα ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία απάντησης για όλους τους φοιτητές συνολικά.

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Post Test	Final post test
1α. σωστή απάντηση	Το φως περιθλάται ή συμβάλλει και αναφορά στη θεωρία των φωτονίων	45	44
1β. σωστή απάντηση	Το φως εμφανίζει κυματοσωματιδιακή συμπεριφορά (αναφορά στην αρχή της συμπληρωματικότητας)		
2α. μερικώς σωστή απάντηση	η απάντηση αναδεικνύει την κυματική φύση του φωτός	12	16
2β. μερικώς σωστή απάντηση	η απάντηση αναδεικνύει τη σωματιδιακή φύση του φωτός		
2γ. μερικώς σωστή απάντηση	η απάντηση αναδεικνύει και την κυματική αλλά και τη σωματιδιακή φύση του φωτός χωρίς αναφορά σε πειράματα		

3. λάθος απάντηση	<p>Το φως αποτελείται από φωτόνια που κινούνται σαν κύματα</p> <p>Το φως είναι άλλοτε κύμα ή σωματίδιο κάτι που εξαρτάται από το πείραμα που πραγματοποιείται</p>	22	28
4. κενή απάντηση	–	21	12

Πίνακας 8.8: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητά / ορθότητά τους για την ερώτηση σχετικά με τα επιχειρήματα για τη φύση του φωτός

Στο διάγραμμα (διάγραμμα 8.5) που ακολουθεί εμφανίζονται τα ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία απάντησης για τα post και final post test.



Διάγραμμα 8.6: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων ως προς την πληρότητά / ορθότητά τους για την ερώτηση σχετικά με τα επιχειρήματα για τη φύση του φωτός

Ακολούθησε η στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων που αφορούσαν στα επιχειρήματα για τη φύση του φωτός, αφού πρώτα οι απαντήσεις βαθμολογήθηκαν στη δεκαβάθμια κλίμακα (πίνακας 8.8).

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
Μέσος βαθμός	2.52 ± 1.16	5.91 ± 2.70	0.000
	PreTest	Final post test	P
Μέσος βαθμός	2.52 ± 1.16	5.85 ± 2.16	0.000
	Post Test	Final post test	P
Μέσος βαθμός	5.91 ± 2.70	5.85 ± 2.16	n.s.

Πίνακας 8.9: Βαθμολογία φοιτητών σε ερώτηση που αφορά στα επιχειρήματα για τη φύση του φωτός  
 Δυισμός ηλεκτρονίων

Στην περίπτωση του δυισμού των ηλεκτρονίων οι ερωτήσεις για τα τεστ είναι οι ακόλουθες:

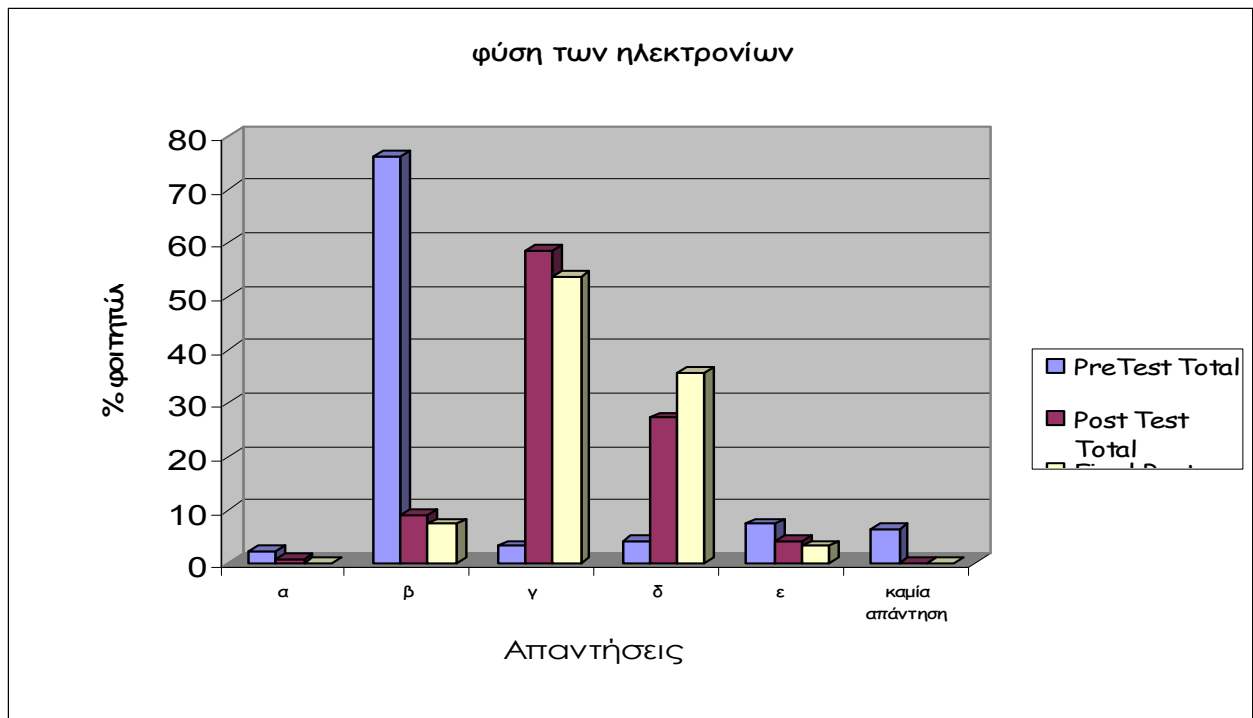
	Pre test	Post test	Final Post tes
Ερώτηση	Ποια από τις παρακάτω προτάσεις πιστεύετε ότι είναι σωστή; α. Τα ηλεκτρόνια είναι κύμα β. Τα ηλεκτρόνια είναι σωματίδια γ. Τα ηλεκτρόνια είναι κύμα και σωματίδια δ. Τα ηλεκτρόνια είναι άλλοτε κύμα και άλλοτε σωματίδια ε. Τα ηλεκτρόνια δεν είναι ούτε κύμα ούτε σωματίδια Μπορείτε να αιτιολογήσετε την απάντησή σας;	Αναφερθείτε στη φύση των ηλεκτρονίων	

Η ερώτηση στο post test και στο final post test είναι ανοικτή. Τις απαντήσεις κατατάξαμε σύμφωνα με τις 5 κατηγορίες της ερώτησης του pre test. Στον πίνακα (πίνακας 8.9) που ακολουθεί καταγράφονται τα ποσοστά των φοιτητών που επιλέγουν τις αντίστοιχες κατηγορίες.

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	Final post test
α	2	1	0
β	76	9	7
γ	3	59	54
δ	4	27	36
ε	7	4	3
Καμία απάντηση	7	0	0

Πίνακας 8.10 :ποσοστά των φοιτητών που επιλέγουν τις αντίστοιχες κατηγορίες σε ερώτηση που αφορά στη φύση των ηλεκτρονίων

Στο παρακάτω διάγραμμα (διάγραμμα 8.7) που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ποσοστά των φοιτητών ανάλογα με το τι επιλέγουν για τη φύση των ηλεκτρονίων.



Διάγραμμα 8.7: ποσοστά των φοιτητών ανάλογα με το τι επιλέγουν για τη φύση των ηλεκτρονίων

Στην ίδια ερώτηση στο pre test ζητήθηκε από τους φοιτητές να αιτιολογήσουν την απάντησή τους.

Οι απαντήσεις που λάβαμε είναι:

Οι κυριότερες ιδιότητες που καταδεικνύουν τη σωματοδιακή φύση των ηλεκτρονίων είναι η μάζα και το φορτίο (8%)

Τα ηλεκτρόνια κινούνται γύρω από τον πυρήνα (7%)

Τα ηλεκτρόνια αποτελούνται από quark (4%)

Τα ηλεκτρόνια αλληλεπιδρούν σε μαγνητικό πεδίο (1%)

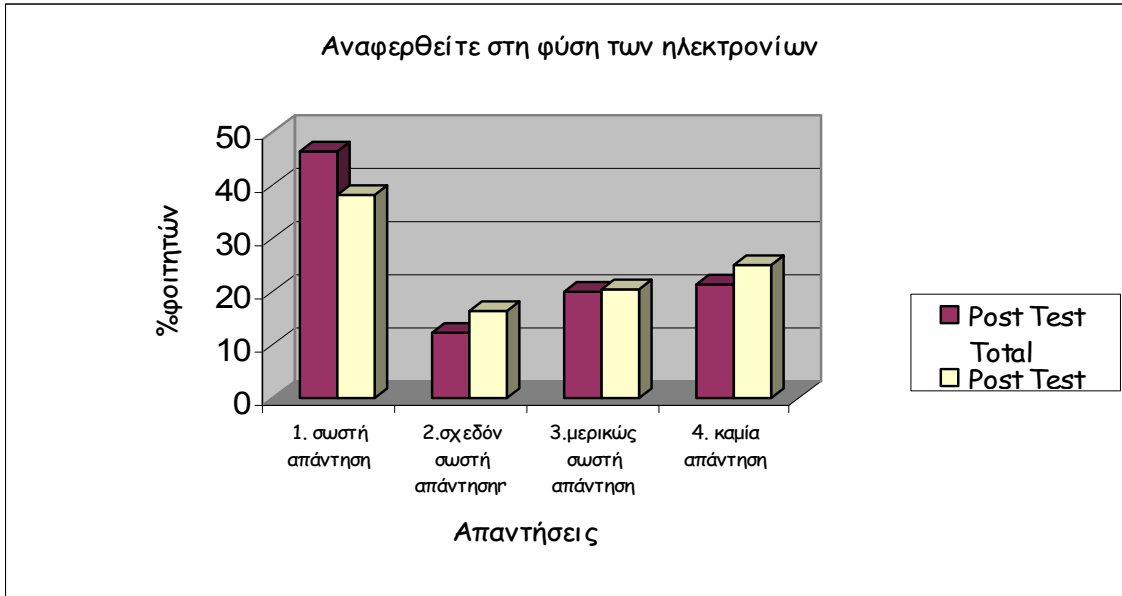
Καμία απάντηση (73%)

Αντίστοιχα στα post και final post test οι φοιτητές στην αντίστοιχη ερώτηση αναφέρθηκαν με επιχειρήματα στη φύση των ηλεκτρονίων, τα οποία καταχωρούνται στον παρακάτω πίνακα. Στην πρώτη στήλη του πίνακα (πίνακας 8.11) γίνεται η διάκριση των απαντήσεων σε 4 κατηγορίες –με δύο υποκατηγορίες για την πρώτη κατηγορία και τρεις για τη δεύτερη– σε σχέση με την πληρότητά τους. Στην 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> στήλη εμφανίζονται τα ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία απάντησης. Στην 3<sup>η</sup> και 4<sup>η</sup> στήλη εμφανίζονται τα ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία απάντησης για όλους τους φοιτητές συνολικά.

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Post Test	Final post test
1α. σωστή απάντηση	Τα ηλεκτρόνια συμβάλλουν και περιθλώνται ενώ έχουν μάζα και φορτίο ή μπορούν να αλληλεπιδράσουν	46	38
1β. σωστή απάντηση	Τα ηλεκτρόνια έχουν κυματοσωματιδιακή φύση (αναφορά και στην αρχή της συμπληρωματικότητας)		
2α. μερικώς σωστή απάντηση	η απάντηση αναδεικνύει την κυματική φύση των ηλεκτρονίων	12	17
2β. μερικώς σωστή απάντηση	η απάντηση αναδεικνύει τη σωματιδιακή φύση του φωτός		
2γ. μερικώς σωστή απάντηση	η απάντηση αναδεικνύει και την κυματική αλλά και τη σωματιδιακή φύση των ηλεκτρονίων χωρίς όμως αναφορά σε πειράματα		
3. λάθος απάντηση	Τα ηλεκτρόνια είναι άλλοτε κύματα ή σωματίδια ανάλογα με το πείραμα που πραγματοποιούμε	20	21
4. κενή απάντηση	–	21	25

Πίνακας 8.11: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητά / ορθότητά τους για την ερώτηση σχετικά με τα επιχειρήματα για τη φύση του φωτός

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (διάγραμμα 8.7) εμφανίζονται τα ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία απάντησης για τα post και final post test.



Διάγραμμα 8.7: ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία απάντησης για τα post και final post test για την ερώτηση σχετικά με τη φύση των ηλεκτρονίων.

Ακολούθησε η στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων που αφορούσαν στα επιχειρήματα για τη φύση των ηλεκτρονίων, αφού πρώτα βαθμολογήθηκαν με άριστα το δέκα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 8.12).

Παράγοντας:	PreTest	Post Test	P
Μέσος βαθμός	0.95 ± 0.15	6.00 ± 2.85	0.000
	PreTest	Final post test	P
Μέσος βαθμός	0.95 ± 0.15	5.59 ± 2.07	0.000
	Post Test	Final post test	P
Μέσος βαθμός	6.00 ± 2.85	5.59 ± 2.07	n.s.

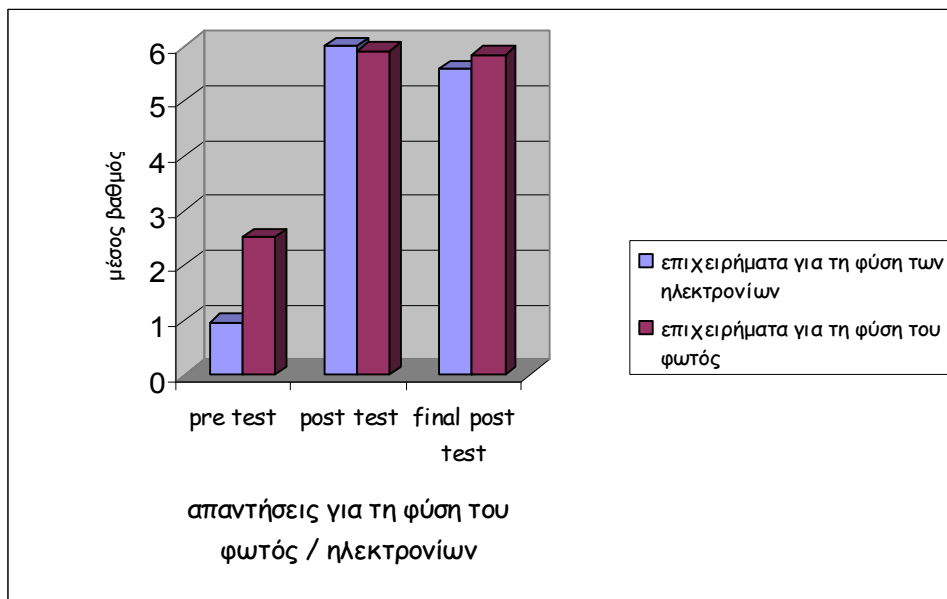
Πίνακας 8.12: Βαθμολογία φοιτητών σε ερώτηση που αφορά στα επιχειρήματα για τη φύση των ηλεκτρονίων

### Φύση των ηλεκτρονίων και φύση του φωτός

Στον πίνακα 8.13 και στο διάγραμμα 8.8 και γίνεται σύγκριση των μέσων βαθμών για τις απαντήσεις των φοιτητών σχετικά με τα επιχειρήματα για τη φύση των ηλεκτρονίων και τη φύση του φωτός.

Παράγοντας:	Φύση των ηλεκτρονίων	Φύση του φωτός	P
μέσος βαθμός (pre test)	0.95 ± 0.15	2.52 ± 1.16	0.000
μέσος βαθμός (post test)	6.00 ± 2.85	5.91 ± 2.70	n.s.
μέσος βαθμός (final post test)	5.59 ± 2.07	5.85 ± 2.16	n.s.

Πίνακας 8.13: σύγκριση αποτελεσμάτων στατιστικής ανάλυσης για τις ερωτήσεις σχετικά με τα επιχειρήματα για τη φύση των ηλεκτρονίων και τη φύση του φωτός



Διάγραμμα 8.8: σύγκριση αποτελεσμάτων στατιστικής ανάλυσης για τις ερωτήσεις σχετικά με τα επιχειρήματα για τη φύση των ηλεκτρονίων και τη φύση του φωτός

### Συμπεράσματα

Για την περίπτωση της φύσης του φωτός και των ηλεκτρονίων χρησιμοποιήθηκαν ερωτήσεις που προέρχονται από σχετική έρευνα που διεξήγαγε ο Olsen σε μαθητές της ύστερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης στη Νορβηγία (Olsen, 2001). Ο πίνακας 8.14 παρουσιάζει τα αποτελέσματα από την έρευνα αυτή, για τις ερωτήσεις σχετικά με τη φύση του φωτός και των ηλεκτρονίων.

Έρευνα Olsen		
	Φύση των ηλεκτρονίων (ποσοστό φοιτητών)	Φύση του φωτός (ποσοστό φοιτητών)
α. Τα ηλεκτρόνια / φως είναι κύμα	0	9
β. Τα ηλεκτρόνια ηλεκτρόνια / φως είναι σωματίδια	59	2
γ. Τα ηλεκτρόνια ηλεκτρόνια / φως είναι κύμα και σωματίδια	36	77
δ. Τα ηλεκτρόνια ηλεκτρόνια / φως είναι άλλοτε κύμα και άλλοτε σωματίδια	4	5
ε. Τα ηλεκτρόνια ηλεκτρόνια / φως δεν είναι ούτε κύμα ούτε σωματίδια	1	8

Πίνακας 8.14: ποσοστά φοιτητών που απαντούν σε έρευνα του Olsen στη Νορβηγία για τη φύση του φωτός και των ηλεκτρονίων

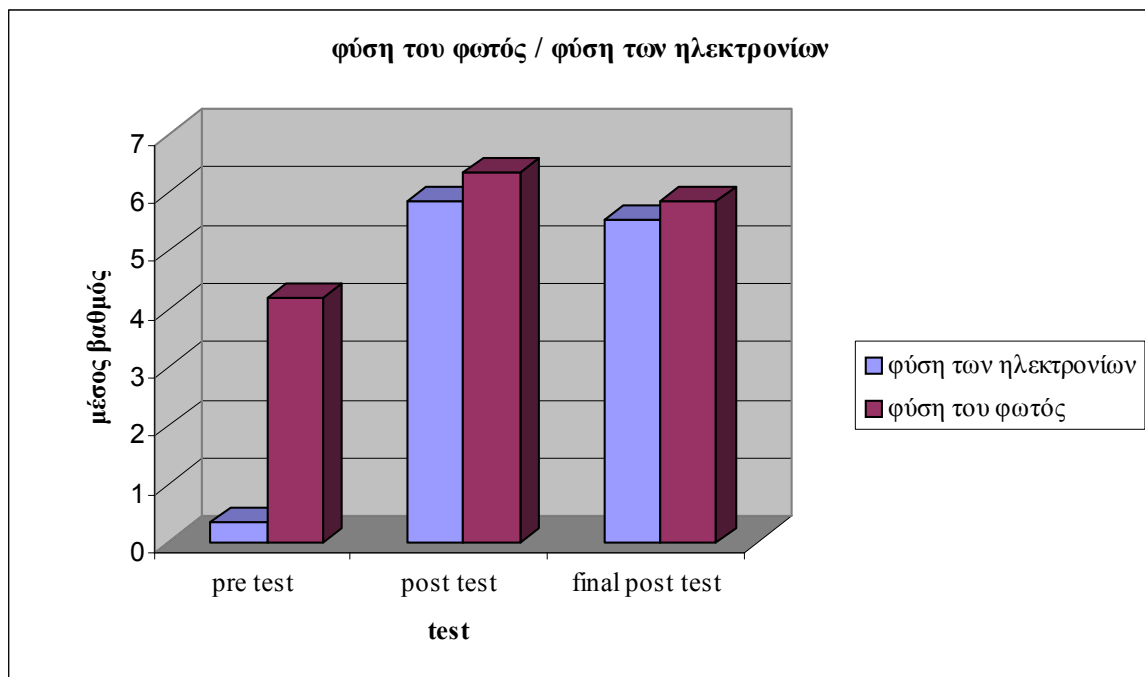
Το αρχικό ερωτηματολόγιο έδειξε ότι οι μαθητές δεν αντιλαμβάνονται ότι το φως και τα ηλεκτρόνια έχουν όμοια φύση. Τα ηλεκτρόνια προσλαμβάνονται ως σωματίδια ενώ το φως ότι έχει δυική φύση.

Οι περισσότεροι από τους μαθητές που υποστηρίζουν ότι το φως έχει δυική φύση δεν μπορούσαν να δώσουν επιχειρήματα που να στηρίζει αυτή τους την άποψη. Αλλά και οι μαθητές εκείνοι που υποστηρίζουν ότι τα ηλεκτρόνια έχουν σωματιδιακή φύση δεν μπορούσαν να επιχειρηματολογήσουν για αυτό.

Μετά το πέρας της διδασκαλίας και από τις απαντήσεις των ερωτηματολογίων οι φοιτητές αντιλαμβάνονται το φως και τα ηλεκτρόνια ως να έχουν όμοια φύση ενώ όμοιο ποσοστό



φοιτητών μπορούσε να επιχειρηματολογήσει για τον κυματοσωματιδιακό χαρακτήρα και των δύο. Στα ερωτηματολόγια που απάντησαν μετά τη διδασκαλία (Post / Final Post Test) οι μαθητές σχετικά με την κυματική φύση του φωτός / ηλεκτρονίων κάνουν αναφορά στην περίθλαση και τη συμβολή ενώ σχετικά με τη σωματιδιακή φύση για το μεν φως αναφέρονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο για τα δε ηλεκτρόνια σε μία από τις ιδιότητες των σωματιδίων και κυρίως στη μάζα και στο φορτίο. Αρκετοί από αυτούς για να στηρίξουν τον κυματοσωματιδιακό χαρακτήρα του φωτός / ηλεκτρονίων αναφέρονται στην αρχή της συμπληρωματικότητας. Στο διάγραμμα (διάγραμμα 8.9) που ακολουθεί φαίνονται οι μέσες βαθμολογίες που έλαβαν οι μαθητές στα τρία τεστ σε ερωτήσεις σχετικά με τη φύση του φωτός και των ηλεκτρονίων.



Διάγραμμα 8.9: Διάγραμμα που απεικονίζει το μέσο βαθμό για τις ερωτήσεις σχετικά με τη φύση του φωτός και των ηλεκτρονίων

### 8.3.β.ii Φάσματα

Στις ερωτήσεις των ερωτηματολογίων για το φάσμα περιλαμβάνονταν ερωτήσεις για:

την εκπομπή φωτός από τα άτομα

τα συνεχή και γραμμικά φάσματα εκπομπής και απορρόφησης (βλ. παράρτημα ???)

Η ερώτηση σχετικά με τη διαδικασία εκπομπής φωτός από ένα άτομο στο pre και στο post test είναι:

Pre test (ερώτηση 1)	Post test (ερώτηση 5)
1. Πότε εκπέμπεται φως από ένα άτομο;	5. Συμπληρώστε τη φράση: Φως εκπέμπεται από τα άτομα όταν ένα ηλεκτρόνιο: .....

Οι απαντήσεις από τα pre (ερώτηση 1) και τα post test (ερώτηση 5) που λάβαμε κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	pre test ερώτηση 1	post test ερώτηση 10
1. σωστή απάντηση	το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει από μια περιοχή που βρίσκεται μακριά από τον πυρήνα σε μια πιο κοντινή σε αυτόν	33	63
3α. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο δεσμεύεται από την έλξη του πυρήνα ενός ατόμου και κινείται πλέον στο εσωτερικό του ατόμου.	8	3
3β. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο ξεφεύγει από την έλξη του πυρήνα ενός ατόμου και κινείται πλέον ελεύθερα.	26	7
3γ. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο μεταβαίνει από μια περιοχή που βρίσκεται κοντά στον πυρήνα σε μια πιο	29	20

	απομακρυσμένη.		
Κενή απάντηση		3	7

Πίνακας 8.15: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητά / ορθότητά τους για την ερώτηση σχετικά με τη διαδικασία εκπομπής φωτός από ένα άτομο

Στον πίνακα 8.16 φαίνονται οι μέσοι βαθμοί των φοιτητών όλων των τμημάτων. Ο μεγαλύτερος βαθμός ισοδυναμεί στο 0,5.

	pre test ερώτηση 1	post test ερώτηση 10	P
Μέσος βαθμός	0,14 ± 0.01	0.33 ± 0.03	0.00

Πίνακας 8.16: αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των μέσων βαθμών για την ερώτηση σχετικά με τη διαδικασία εκπομπής φωτός από ένα άτομο

Είναι φανερό ότι αρχικά ίσος περίπου αριθμός φοιτητών θεωρεί ότι η εκπομπή φωτός γίνεται κατά τη διέγερση και όχι κατά την αποδιέγερση του ατόμου. Μετά το πέρας της διδασκαλίας μεγαλύτερο ποσοστό φοιτητών απαντά σωστά. Μάλιστα όπως δείχνει η στατιστική επεξεργασία υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά.

Στη συνέχεια ακολούθησε ερώτηση για την διαδικασία της αποδιέγερσης:

Pre test (ερώτηση 2)	Post test (ερώτηση 6)
2. Τι εννοούμε με τον όρο αποδιέγερση;	6. Συμπληρώστε τη φράση: Σε ένα διεγερμένο άτομο το ηλεκτρόνιο που μετέβη: .....

Οι κατηγορίες που προέκυψαν από τις απαντήσεις των φοιτητών κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	pre test ερώτηση 2	post test ερώτηση 6
1. σωστή απάντηση	το ηλεκτρόνιο που μετέβη σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη έχει την τάση να επιστρέψει στην προηγούμενη κατάστασή του, στη χαμηλότερη δηλαδή ενεργειακή στάθμη.	64	81

3α. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο που μετέβη σε υψηλότερη ενεργειακή στάθμη έχει την τάση να μεταβεί στην υψηλότερη δυνατή ενεργειακή στάθμη.	12	3
3β. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο που μετέβη σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη έχει την τάση να επιστρέψει στην προηγούμενη κατάστασή του, στην υψηλότερη δηλαδή ενεργειακή στάθμη.	15	7
3γ. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο που μετέβη σε χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη έχει την τάση να μεταβεί στη χαμηλότερη δυνατή ενεργειακή στάθμη.	3	0
Κενή απάντηση	–	5	9

Πίνακας 8.17: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητα / ορθότητα τους για την ερώτηση σχετικά με τη διαδικασία αποδιέγερσης

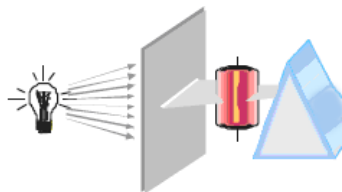
Στον πίνακα που ακολουθεί εμφανίζονται οι μέσοι βαθμοί των φοιτητών (όπου η άριστη βαθμολογία είναι το 0,5).

	pre test ερώτηση 2	post test ερώτηση 6	p
Μέσος βαθμός	0.38 ± 0.03	0.45 ± 0.04	n.s.

Πίνακας 8.18: αποτελέσματα στατιστικής επεξεργασίας των μέσων βαθμών για την ερώτηση σχετικά με τη διαδικασία αποδιέγερσης

Η ερώτηση αφορούσε συγκεκριμένα στο τι συμβαίνει στο ηλεκτρόνιο κατά την αποδιέγερση χωρίς να ζητείται να γίνει αναφορά και σε άλλα φαινόμενα –όπως για παράδειγμα στην εκπομπή φωτός. Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στις απαντήσεις των φοιτητών πριν και μετά τη διδασκαλία. Σε αντίθεση με την προηγούμενη ερώτηση όπου αρχικά οι φοιτητές συγχέουν το πότε πραγματοποιείται εκπομπή από το άτομο.

Ακολούθησαν δύο ερωτήσεις (pre test ερωτήσεις 5 και 6 και post test ερωτήσεις 7 και 8) σχετικές με την παραγωγή γραμμικού φάσματος απορρόφησης τόσο σε μακροσκοπικό όσο και σε μικροσκοπικό επίπεδο.

Pre test (ερώτηση 5)	Post test (ερώτηση 7)
<p>5. Αν ανάμεσα σε φωτεινή πηγή λευκού φωτός και σε ένα πρίσμα τοποθετήσουμε ένα γυάλινο δοχείο που περιέχει κάποιο αέριο τότε κατά την ανάλυση του φωτός:</p> <p>α. Θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές</p> <p>β. Θα προκύψουν ακτίνες ορισμένων χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές</p> <p>γ. Θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων</p> <p>δ. Θα προκύψουν γραμμές ορισμένων χρωμάτων</p>	
	

Για τη μακροσκοπική περιγραφή προέκυψαν οι ακόλουθες κατηγορίες:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	pre test ερώτηση 5	post test ερώτηση 7
1. σωστή απάντηση	θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές	46	60
3α. λάθος απάντηση	θα προκύψουν ακτίνες ορισμένων χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές	30	21
3β. λάθος απάντηση	θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων	8	4
3γ. λάθος απάντηση	θα προκύψουν γραμμές ορισμένων χρωμάτων	15	8
Κενή απάντηση	–	1	7

Πίνακας 8.17: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητα / ορθότητά τους για την ερώτηση σχετικά με την παραγωγή γραμμικού φάσματος απορρόφησης σε μακροσκοπικό επίπεδο

Οι ερωτήσεις που αφορούν στη δημιουργία γραμμικού φάσματος απορρόφησης για το μικροσκοπικό επίπεδο είναι:

Pre test (ερώτηση 6)	Post test (ερώτηση 8)
<p>6. Αν δίπλα από φωτεινή πηγή λευκού φωτός τοποθετήσουμε ένα γυάλινο δοχείο που περιέχει κάποιο αέριο τότε κατά το πέρασμα του λευκού φωτός μέσα από το αέριο εκείνο που συμβαίνει στα άτομα του αερίου είναι:</p> <p>α. απορροφούν τα φωτόνια όλων των συχνοτήτων χωρίς να εκπέμπουν φωτόνια</p> <p>β. απορροφούν τα φωτόνια όλων των συχνοτήτων και εκπέμπουν φωτόνια διαφορετικών συχνοτήτων.</p> <p>γ. απορροφούν τα φωτόνια εκείνων των συχνοτήτων που αντιστοιχούν στις συχνότητες των φωτονίων που εκπέμπει.</p> <p>δ. απορροφούν τα φωτόνια εκείνων των συχνοτήτων που αντιστοιχούν στις συχνότητες των φωτονίων που δεν εκπέμπει.</p>	

Για τη μικροσκοπική περιγραφή προέκυψαν οι κατηγορίες:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	pre test ερώτηση 6	post test ερώτηση 8
1. σωστή απάντηση	απορροφούν τα φωτόνια όλων των συχνοτήτων χωρίς να εκπέμπουν φωτόνια	4	41
3α. λάθος απάντηση	απορροφούν τα φωτόνια όλων των συχνοτήτων και εκπέμπουν φωτόνια διαφορετικών συχνοτήτων.	5	7
3β. λάθος απάντηση	απορροφούν τα φωτόνια εκείνων των συχνοτήτων που αντιστοιχούν στις συχνότητες των φωτονίων που εκπέμπει.	60	29
3γ. λάθος απάντηση	απορροφούν τα φωτόνια εκείνων των συχνοτήτων που αντιστοιχούν στις συχνότητες των φωτονίων που δεν	25	12

	ΕΚΠΕΜΠΕΙ.		
Κενή απάντηση	–	6	10

Πίνακας 8.18: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητα / ορθότητα τους για την ερώτηση σχετικά με την παραγωγή γραμμικού φάσματος απορρόφησης σε μικροσκοπικό επίπεδο

Στον πίνακα 8.19 εμφανίζεται ο μέσος βαθμός για τις ερωτήσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο ενώ στον πίνακα 8.20 ο μέσος βαθμός για τις ερωτήσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο.

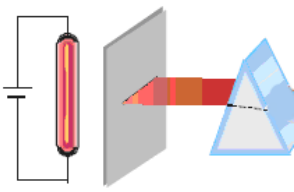
	pre test ερώτηση 5	post test ερώτηση 7	p
Μέσος βαθμός	0.11 ± 0.01	0.34 ± 0.03	0.00

Πίνακας 8.19: στατιστική ανάλυση μέσων βαθμών για τη μακροσκοπική περιγραφή της παραγωγής του γραμμικού φάσματος

	pre test ερώτηση 6	post test ερώτηση 8	p
Μέσος βαθμός	0.27 ± 0.02	0.39 ± 0.03	0.00

Πίνακας 8.20: στατιστική ανάλυση μέσων βαθμών για τη μικροσκοπική περιγραφή της παραγωγής του γραμμικού φάσματος

Ακολούθησαν δύο ερωτήσεις σχετικές (pre test ερωτήσεις 7 και 8 και post test ερωτήσεις 9 και 10) με την παραγωγή γραμμικού φάσματος εκπομπής (μακροσκοπικά – μικροσκοπικά).

Pre test (ερώτηση 7)	Post test (ερώτηση 9)
<p>7. Αν τοποθετήσουμε ένα πρίσμα δίπλα από ένα γυάλινο δοχείο που περιέχει κάποιο αέριο που θερμαίνεται τότε κατά την ανάλυση του φωτός:</p> <p>α. Θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές</p> <p>β. Θα προκύψουν ακτίνες ορισμένων χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές</p> <p>γ. Θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων</p> <p>δ. Θα προκύψουν γραμμές ορισμένων χρωμάτων</p>	
	

Για τη μακροσκοπική περιγραφή προέκυψαν οι ακόλουθες κατηγορίες:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	pre test ερώτηση 5	post test ερώτηση 7
1. σωστή απάντηση	θα προκύψουν γραμμές ορισμένων χρωμάτων	22	51
3α. λάθος απάντηση	θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές	26	17
3β. λάθος απάντηση	θα προκύψουν ακτίνες ορισμένων χρωμάτων που θα διακόπτονται από σκοτεινές γραμμές	34	17
3γ. λάθος απάντηση	θα προκύψουν ακτίνες όλων των χρωμάτων	15	6
Κενή απάντηση	–	2	9

Πίνακας 8.21: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητα / ορθότητα τους για την ερώτηση σχετικά με την παραγωγή γραμμικού φάσματος εκπομπής σε μακροσκοπικό επίπεδο

Pre test (ερώτηση 8)	Post test (ερώτηση 10)
<p>Αν θερμάνουμε κάποιο αέριο εκείνο που συμβαίνει στα άτομα του αερίου είναι:</p> <p>α. εκπέμπουν πάντα φωτόνια ορισμένων συχνοτήτων</p> <p>β. εκπέμπουν πάντα φωτόνια διαφορετικών συχνοτήτων</p> <p>γ. εκπέμπουν φωτόνια όλων των συχνοτήτων.</p> <p>δ. δεν εκπέμπουν κανένα φωτόνιο.</p>	

Οι κατηγορίες που προέκυψαν για το μικροσκοπικό επίπεδο είναι:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	pre test ερώτηση 8	post test ερώτηση 10
1. σωστή απάντηση	εκπέμπουν πάντα φωτόνια ορισμένων συχνοτήτων	49	69



3α. λάθος απάντηση	εκπέμπουν πάντα φωτόνια διαφορετικών συχνοτήτων	17	16
3β. λάθος απάντηση	εκπέμπουν φωτόνια όλων των συχνοτήτων.	11	5
3γ. λάθος απάντηση	δεν εκπέμπουν κανένα φωτόνιο.	12	2
Κενή απάντηση	–	11	9

Πίνακας 8.22: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων και ως προς την πληρότητα / ορθότητα τους για την ερώτηση σχετικά με την παραγωγή γραμμικού φάσματος εκπομπής σε μικροσκοπικό επίπεδο

Ο μέσος βαθμός για το μακροσκοπικό επίπεδο είναι (πίνακας 8.23):

	pre test ερώτηση 7	post test ερώτηση 9	p
Μέσος βαθμός	0.07 ± 0.01	0.3 ± 0.03	0.00

Πίνακας 8.23: στατιστική ανάλυση για την ερώτηση σχετικά με την παραγωγή γραμμικού φάσματος εκπομπής σε μακροσκοπικό επίπεδο







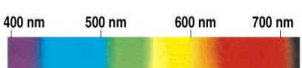
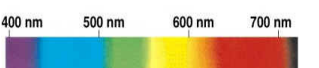
Ο μέσος βαθμός για το μικροσκοπικό επίπεδο είναι:

	pre test ερώτηση 8	post test ερώτηση 10	p
Μέσος βαθμός	0.20 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.00

Πίνακας 8.24: στατιστική ανάλυση για την ερώτηση σχετικά με την παραγωγή γραμμικού φάσματος εκπομπής σε μικροσκοπικό επίπεδο

Τόσο στις ερωτήσεις που αφορούσαν στα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης και για τη μικροσκοπική αλλά και για τη μακροσκοπική περιγραφή οι φοιτητές απαντούν καλύτερα στις ερωτήσεις που αφορούν στο μικρόκοσμο. Θεωρούμε ότι αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ερωτήσεις που αφορούσαν στη μακροσκοπική δημιουργία του φάσματος δε βρίσκονταν σε άμεση σύνδεση με το πείραμα που οι φοιτητές πραγματοποίησαν. Υπενθυμίζουμε ότι το πείραμα που πραγματοποίησαν αφορούσε στην θέρμανση αλατιού στη φλόγα κεριού –και όχι στη θέρμανση αερίου όπως ζητούσε η ερώτηση. Εξάλλου κατά την εκτέλεση των πειραμάτων για τα φάσματα, όπως έχει αναφερθεί και στο αντίστοιχο κομμάτι, χρησιμοποιήθηκε ένα φασματοσκόπιο στο οποίο μόνο ο παρατηρητής μπορεί να δει το φάσμα που δημιουργείται. Οι φοιτητές, που για πρώτη φορά παρακολουθούσαν με τη βοήθεια του φασματοσκοπίου τα φάσματα, ενδέχεται να μην παρατηρούσαν σωστά και να εκλάμβαναν –παρά τις συστάσεις των επιβλεπόντων– «λανθασμένες» παρατηρήσεις ως «σωστές». Αντιθέτως η ερώτηση για τη μικροσκοπική περιγραφή, που συνοδεύονταν και από οπτικοποιήσεις, ήταν άμεσα συνδεδεμένη και με τη θεωρία τους, συνεπώς κατάφεραν στις αντίστοιχες ερωτήσεις να αποδώσουν καλύτερα.

Τέλος και στο pre test αλλά και στο post test ζητήθηκε από τους φοιτητές να αναγνωρίσουν τους τέσσερις τύπους φασμάτων για το άτομο του υδρογόνου.

pre test			Post test		
Αντιστοιχίστε τις δύο στήλες:			Στη δεξιά στήλη καταγράψτε τον τύπο του φάσματος:		
A		I	Συνεχές φάσμα εκπομπής		
B		II	Γραμμικό Φάσμα απορρόφησης		
Γ		III	Γραμμικό Φάσμα Εκπομπής		
Δ		IV	Συνεχές φάσμα απορρόφησης		

Οι μέσοι βαθμοί για τον κάθε ένα τύπο φάσματος είναι:

α) συνεχές φάσμα απορρόφησης

	pre test ερώτηση 9_α	post test ερώτηση 11_α	p
Μέσος βαθμός	0.16 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.009

β) γραμμικό φάσμα εκπομπής

	pre test ερώτηση 9_β	post test ερώτηση 11_β	p
Μέσος βαθμός	0.08 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.00

γ) γραμμικό φάσμα απορρόφησης

	pre test ερώτηση 9_γ	post test ερώτηση 11_γ	p
Μέσος βαθμός	0.08 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.00

δ) συνεχές φάσμα εκπομπής

	pre test ερώτηση 9_δ	post test ερώτηση 11_δ	p
Μέσος βαθμός	0.16 ± 0.01	0.21 ± 0.1	0.00

Το άριστα για τις απαντήσεις είναι το 0,25. Είναι φανερό ότι όσον αφορά στη μακροσκοπική περιγραφή των φασμάτων οι φοιτητές σε σύγκριση με τα αρχικά διαγνωστικά τεστ απαντούν πολύ καλύτερα.

### **8.3.β.iii Το άτομο του υδρογόνου**

Τόσο για τη θεματική ενότητα που αφορούσε στο άτομο όσο και σε αυτή για το ηλεκτρικό ρεύμα ως γενικότερο πλήθος μελέτης θεωρήθηκαν οι φοιτητές, οι οποίοι το ακαδημαϊκό έτος 2003-2004 ασκούνταν στο υποχρεωτικό εργαστηριακό μάθημα Φυσικής του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Γ' έτους. Το δείγμα που προέκυψε περιλαμβάνει 121 φοιτητές. Οι φοιτητές χωρίστηκαν σε 4 εργαστηριακά τμήματα, δύο εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκαν ως ομάδα πειραματισμού και τα άλλα δύο ως ομάδα ελέγχου. Εκείνο που διαφοροποιήθηκε κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής παρέμβασης ήταν ότι χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα πειραματισμού ένα πρόγραμμα προσομοίωσης για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου, σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr αλλά και με το μοντέλο πιθανοτήτων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί κατά την αρχή του χειμερινού εξαμήνου του ακαδημαϊκού έτους 2003-2004 δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο στους 121 φοιτητές, που περιελάμβανε και ερωτήσεις για το μοντέλο του ατόμου του υδρογόνου. Πριν από τη θεματική ενότητα δόθηκε ένα αρχικό ερωτηματολόγιο (pre test) και μία εβδομάδα μετά τη διδασκαλία ένα δεύτερο ερωτηματολόγιο (post test). Τρεις μήνες μετά το πέρας της διδασκαλίας δόθηκε ένα τελικό ερωτηματολόγιο (final post test) που αφορούσε και στην ενότητα για το άτομο του υδρογόνου.

Για την ανάλυση των απαντήσεων, όπως και στην περίπτωση των ερωτήσεων για το φως και τα ηλεκτρόνια, ακολουθήθηκαν δύο προσεγγίσεις, αυτή της φαινομενογραφικής ανάλυσης και η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με χρήση του t-test.

Ανάμεσα στις ερωτήσεις για το μοντέλο του ατόμου υπήρχε η ερώτηση για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου. Η ερώτηση χρησιμοποιήθηκε και σε ερωτηματολόγια αντίστοιχων ερευνών (Unal *et. al.*, 2000; Petr *et.al.*, 1998).

Στην περίπτωση του post test οι φοιτητές είχαν να επιλέξουν εκείνοι το μοντέλο που θα χρησιμοποιούσαν για την περιγραφή του ατόμου. Αντίθετα στην περίπτωση του τελικού post test (final post test) οι φοιτητές έπρεπε να περιγράψουν το άτομο του υδρογόνου χρησιμοποιώντας και το μοντέλο του Bohr αλλά και το κβαντικό μοντέλο.

Για την ερώτηση του post test και την αντίστοιχη του final post test οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν στις ακόλουθες κατηγορίες τόσο για το μοντέλο του Bohr –πίνακας 3– όσο και για το μοντέλο των πιθανοτήτων –πίνακας 5. Στους αντίστοιχους πίνακες τα γράμματα b και a προσδιορίζουν απαντήσεις σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr ή το κβαντικό μοντέλο αντίστοιχα:

## Μοντέλο του Bohr

Οι απαντήσεις των φοιτητών για το μοντέλο του Bohr κατηγοριοποιήθηκαν και κατατάχθηκαν (και) ανάλογα με την πληρότητα και την ορθότητά τους (πίνακας 8.25).

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου
1. σωστή απάντηση	1b όλες οι συνθήκες από το μοντέλο του Μπορ	3	0
2. μερικώς σωστή απάντηση	2b - 4b λείπουν συνθήκες από το μοντέλο του Μπορ		
3.Μερικώς λάθος	5b απλό πλανητικό μοντέλο	23	25
3. λάθος απάντηση	6b μη κατατάξιμη απάντηση 7b μοντέλο του Thomson	12	21
4. κενή απάντηση	–	22	33

Πίνακας 8.25. Κατηγορίες απαντήσεων για το μοντέλο του Bohr και το ποσοστό των φοιτητών που περιέγραψαν το άτομο του υδρογόνου με βάση το μοντέλο του Bohr στην περίπτωση του post test.

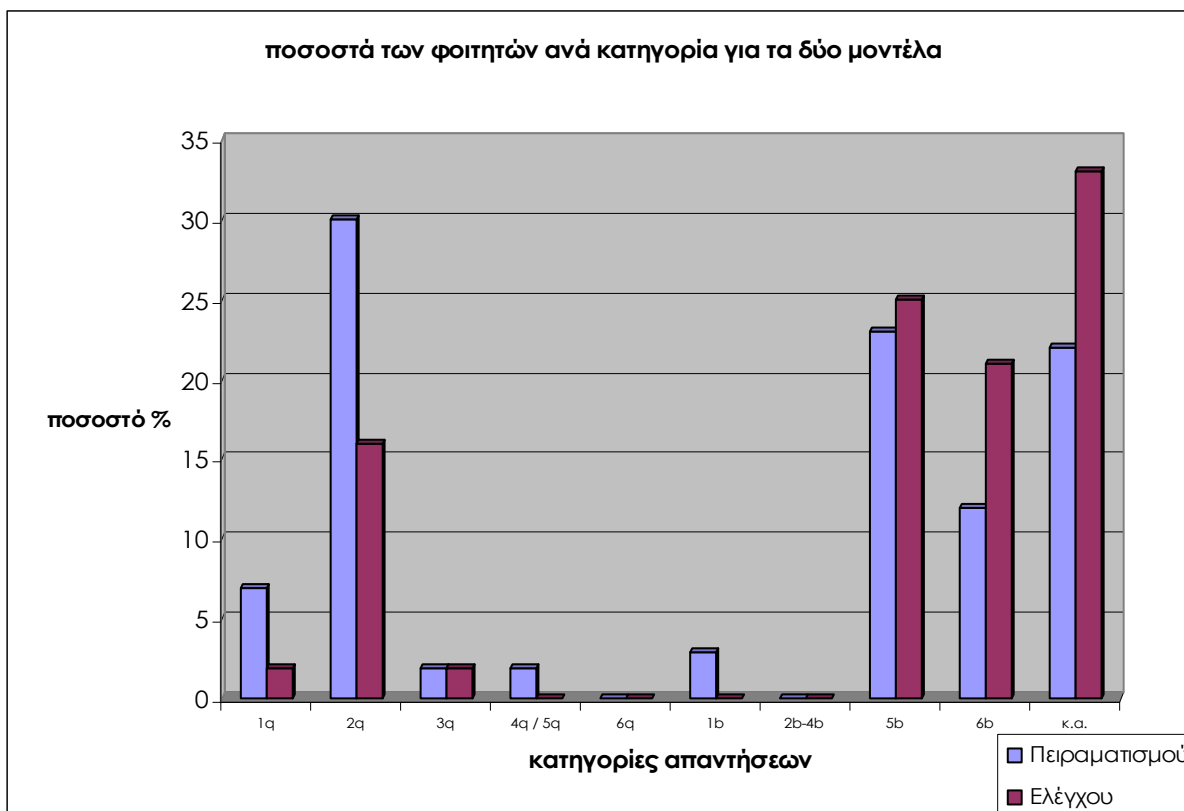
Στον παρακάτω πίνακα –πίνακας 8.26– εμφανίζεται το ποσοστό των φοιτητών που περιέγραψαν το άτομο του υδρογόνου με βάση το κβαντικό μοντέλο στην περίπτωση του post test.

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου
1. σωστή απάντηση	1a μοντέλο πιθανοτήτων, κβαντικοί αριθμοί, μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης στις ακτίνες του Bohr / αναφορά στην αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg	7	2

2α. μερικώς σωστή απάντηση	<b>2α</b> το ηλεκτρόνιο κινείται άτακτα γύρω από τον πυρήνα. Οι πιθανές θέσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί οπτικοποιούνται με το μοντέλο πιθανοτήτων	30	16
2β. μερικώς σωστή απάντηση	<b>3α</b> το ηλεκτρόνιο κινείται άτακτα και με την εξίσωση του Schrodinger προσδιορίζουμε την πιθανότητα εύρεσής του σε μια περιοχή / δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του ηλεκτρονίου κάποια χρονική στιγμή	2	2
3.Μερικώς λάθος	<b>4α</b> το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί σε μια περιοχή <b>5α</b> η πιθανή θέση του ηλεκτρονίου καθορίζεται από τρεις κβαντικούς αριθμούς	2	0
3. λάθος απάντηση	<b>6α</b> άλλο μοντέλο	0	0
4. κενή απάντηση	–	0	2

Πίνακας 8.26: Κατηγορίες απαντήσεων για το μοντέλο των πιθανοτήτων και ποσοστό φοιτητών ανά κατηγορία για το μοντέλο των πιθανοτήτων

Ακολουθεί το διάγραμμα –διάγραμμα 8.10– που δείχνει τα ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία για τα δύο μοντέλα.



Διάγραμμα 8.10.: Ποσοστά των φοιτητών ανά κατηγορία για τα δύο μοντέλα

Για την ερώτηση του post test οι ερωτήσεις βαθμολογήθηκαν ως εξής:

Στη δεκαβάθμια κλίμακα από 0-5 οι απαντήσεις που περιέγραφαν το μοντέλο του Bohr και από 6-10 απαντήσεις που περιέγραφαν το κβαντικό μοντέλο. Οι μέσοι βαθμοί των φοιτητών από όλα τα τμήματα εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 8.27).

Περιγραφή μοντέλου	Πειραματισμού	Ελέγχου	P
μέσος βαθμός (post test)	3.68 ± 1.05	1.80 ± 0.78	0.004

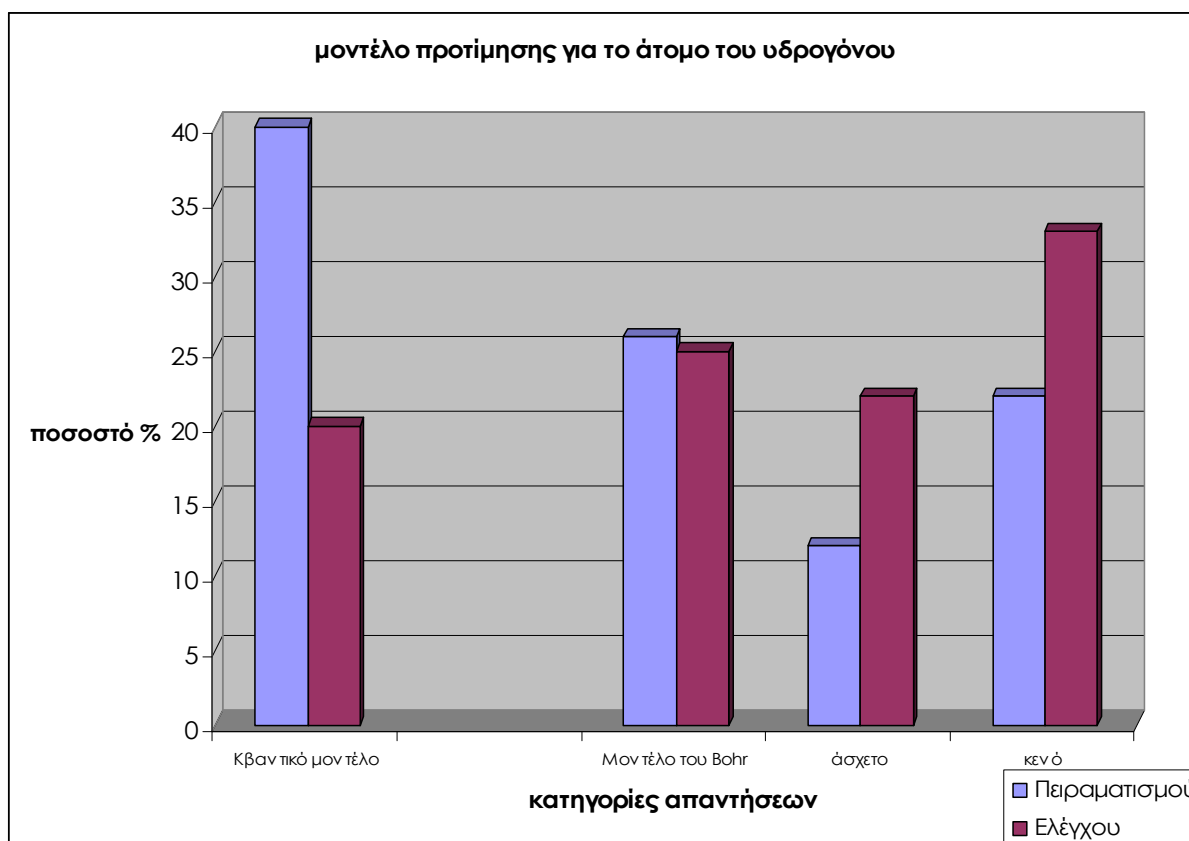
Πίνακας 8.27. Μέσοι βαθμοί για την ερώτηση που αφορά στην περιγραφή ενός μοντέλου για το άτομο του υδρογόνου

Από τον παραπάνω πίνακα είναι εμφανές ότι οι φοιτητές της ομάδας πειραματισμού έλαβαν μεγαλύτερη βαθμολογία σε σχέση με την ομάδα ελέγχου και μάλιστα η διαφορά των μέσων όρων είναι στατιστικά σημαντική. Ο πίνακας 8.28 και το διάγραμμα 8.11 που ακολουθούν δείχνει το ποσοστό των φοιτητών που προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου το μοντέλο του Bohr ή το κβαντικό μοντέλο. Σημειώνεται ότι η

κατηγοριοποίηση δεν έγινε με βάση την ορθότητα της απάντησης αλλά με κριτήριο τα στοιχεία που περιλάμβανε αν παρέπεμπαν σε ένα από τα δύο μοντέλα.

Μοντέλο επιλογής	Πειραματισμού	Ελέγχου
Κβαντικό μοντέλο	40	20
Μοντέλο του Bohr	26	25
άσχετο	12	22
ΚΕΝΟ	22	33

Πίνακας 8.28: Ποσοστό φοιτητών που δείχνει το μοντέλο προτίμησης για το άτομο του υδρογόνου



Διάγραμμα 8.11: Ποσοστό φοιτητών που δείχνει το μοντέλο προτίμησης για το άτομο του υδρογόνου

Στην περίπτωση του τελικού post test οι φοιτητές, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έπρεπε να περιγράψουν το άτομο του υδρογόνου χρησιμοποιώντας και το πρότυπο του Bohr αλλά και το μοντέλο πιθανοτήτων.

Για το μοντέλο του Bohr οι απαντήσεις που δόθηκαν είναι (πίνακας 8.29):

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου
1. σωστή απάντηση	1b όλες οι συνθήκες από το μοντέλο του Μπορ	40	33
2. μερικώς σωστή απάντηση	2b - 4b λείπουν συνθήκες από το μοντέλο του Μπορ	18	25
3.Μερικώς λάθος	5b απλό πλανητικό μοντέλο	32	28
3. λάθος απάντηση	6b μη κατατάξιμη απάντηση 7b μοντέλο του Thomson	3	10
4. κενή απάντηση	–	7	5

Πίνακας 8.29.: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων με βάση το μοντέλο του Bohr και ως προς την πληρότητα / ορθότητα τους για την ερώτηση σχετικά με την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου

Για το κβαντικό μοντέλο οι απαντήσεις είναι (πίνακας 8.30):

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου
1. σωστή απάντηση	1a μοντέλο πιθανοτήτων, κβαντικοί αριθμοί, μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης στις ακτίνες του Bohr / αναφορά στην αρχή απροσδιοριστίας του Heisenberg	25	13



2α. μερικώς σωστή απάντηση	<b>2α</b> το ηλεκτρόνιο κινείται άτακτα γύρω από τον πυρήνα. Οι πιθανές θέσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί οπτικοποιούνται με το μοντέλο πιθανοτήτων	20	23
2β. μερικώς σωστή απάντηση	<b>3α</b> το ηλεκτρόνιο κινείται άτακτα και με την εξίσωση του Schrodinger προσδιορίζουμε την πιθανότητα εύρεσής του σε μια περιοχή / δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση του ηλεκτρονίου κάποια χρονική στιγμή		
3.Μερικώς λάθος	<b>4α</b> το ηλεκτρόνιο μπορεί να βρεθεί σε μια περιοχή <b>5α</b> η πιθανή θέση του ηλεκτρονίου καθορίζεται από τρεις κβαντικούς αριθμούς	1	2
3. λάθος απάντηση	<b>6α</b> μοντέλο Thomson	11	11
4. κενή απάντηση	–	3	12

Πίνακας 8.30.: Κατηγοριοποίηση απαντήσεων με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων και ως προς την πληρότητα / ορθότητά τους για την ερώτηση σχετικά με την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου

Στην περίπτωση του τελικού post test για την ίδια ερώτηση χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα από 0-10. Οι κατηγορίες υπενθυμίζουμε ότι ήταν ίδιες με αυτές που προέκυψαν και στην περίπτωση του post test. Οι μέσοι όροι των βαθμολογιών για την απάντηση σύμφωνα με το μοντέλο πιθανοτήτων είναι (πίνακας 8.31):

Περιγραφή μοντέλου	Πειραματισμού	Ελέγχου	P
μέσος βαθμός (final post test)	6.67 ± 2.07	5.03± 1.25	0.026

Πίνακας 8.31: Μέσοι όροι για την ερώτηση περιγραφής του ατόμου του υδρογόνου με βάση την κβαντική φυσική

Οι μέσοι όροι των βαθμολογιών για την απάντηση σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr είναι (πίνακας 8.32):

Περιγραφή μοντέλου του Bohr	Πειραματισμού	Ελέγχου	P
-----------------------------	---------------	---------	---

μέσος βαθμός (final post test)	5.83 ±1.87	5.33± 1.35	n.s
-----------------------------------	------------	------------	-----

Πίνακας 8.32: Μέσοι όροι για την ερώτηση περιγραφής του ατόμου του υδρογόνου με βάση το μοντέλο του Bohr

Στον πίνακα 8.33 πραγματοποιείται σύγκριση μέσων όρων για την ερώτηση περιγραφής του ατόμου του υδρογόνου με βάση το μοντέλο πιθανοτήτων και αυτό του Bohr για την ομάδα Πειραματισμού

Ομάδα πειραματισμού / Final post test	Μοντέλο πιθανοτήτων	Μοντέλο Bohr	P
μέσος βαθμός (final post test)	6.67 ±2.07	5.83± 1.87	n.s

Πίνακας 8.33: Σύγκριση μέσων όρων για την ερώτηση περιγραφής του ατόμου του υδρογόνου με βάση το μοντέλο πιθανοτήτων και αυτό του Bohr για την ομάδα Πειραματισμού

Στον πίνακα 8.34 πραγματοποιείται σύγκριση μέσων όρων για την ερώτηση περιγραφής του ατόμου του υδρογόνου με βάση το μοντέλο πιθανοτήτων και αυτό του Bohr για την ομάδα ελέγχου

Ομάδα ελέγχου / Final post test	Μοντέλο πιθανοτήτων	Μοντέλο Bohr	P
μέσος βαθμός (final post test)	5.03± 1.25	5.33± 1.35	n.s

Πίνακας 8.34: Σύγκριση μέσων όρων για την ερώτηση περιγραφής του ατόμου του υδρογόνου με βάση το μοντέλο πιθανοτήτων και αυτό του Bohr για την ομάδα ελέγχου

Είναι φανερό ότι ο μέσος όρος για την περίπτωση της ομάδας πειραματισμού είναι μεγαλύτερος –και εμφανίζει στατιστικά σημαντική διαφορά– σε σχέση με την ομάδα ελέγχου, για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου με βάση το μοντέλο πιθανοτήτων. Αντίθετα η περιγραφή με βάση το μοντέλο του Bohr μεταξύ των δύο τμημάτων δεν εμφανίζει διαφορά.

Η ερώτηση για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου περιλάμβανε και τη σχεδίασή του.

Post Test

Ερώτηση: Σχεδιάστε και περιγράψτε ένα μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου.

Για την ερώτηση του post test και την αντίστοιχη του final post test οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν στις ακόλουθες κατηγορίες τόσο για το μοντέλο του Bohr όσο και για το μοντέλο των πιθανοτήτων. Στον πίνακα 8.35 τα γράμματα bf και qf προσδιορίζουν απαντήσεις σύμφωνα με το μοντέλο του Bohr ή το κβαντικό μοντέλο:

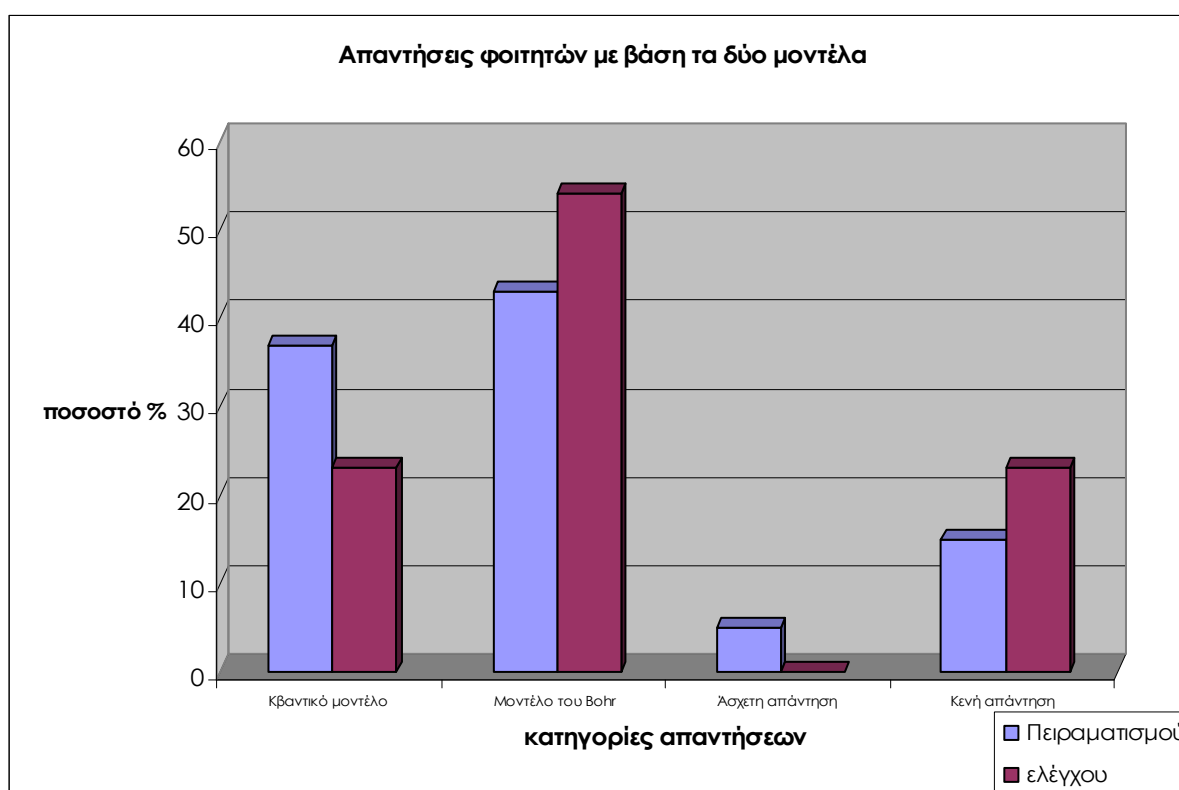
Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου
1. σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων	<b>1qf</b> μοντέλο πιθανοτήτων (σφαιρικής συμμετρίας) <b>2qf</b> μοντέλο πιθανοτήτων και για άλλες καταστάσεις (1s, 2s, 2p)	34	21
1. σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο του Bohr	<b>1bf</b> ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα <b>2bf</b> περισσότερες από μία τροχιά <b>3bf</b> Το ηλεκτρόνιο ακολουθεί μία τροχιά που περιστρέφεται συνεχώς	43	54
2. μερικώς σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων	<b>3qf</b> σχήμα μοντέλου πιθανοτήτων 2 διαστάσεων για την κατάσταση 1s και γράφημα για αυτή την κατάσταση <b>4qf</b> σχήμα μοντέλου πιθανοτήτων 2 διαστάσεων για την κατάσταση 1s	3	2
3. λάθος απάντηση με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων και το μοντέλο του Bohr	<b>6bf / 7qf</b> άλλο μοντέλο <b>5qf = 1bf</b> <b>6qf</b> πυρήνας και ένα ηλεκτρόνιο χωρίς την εμφάνιση τροχιάς	5	0
4. κενή απάντηση	–	15	23

Πίνακας 8.35: κατηγορίες απαντήσεων τόσο για το μοντέλο του Bohr όσο και για το μοντέλο των πιθανοτήτων

Ο πίνακας 8.36 και το διάγραμμα 8.12 που ακολουθούν δείχνει το ποσοστό των φοιτητών που προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν για τη σχεδίαση του ατόμου του υδρογόνου το μοντέλο του Bohr ή το κβαντικό μοντέλο. Σημειώνεται ότι η κατηγοριοποίηση δεν έγινε με βάση την πληρότητα της απάντησης αλλά με κριτήριο τα στοιχεία που περιλάμβανε αν παρέπεμπαν σε ένα από τα δύο μοντέλα.

Κατηγοριοποίηση	Πειραματισμού	ελέγχου
Κβαντικό μοντέλο	37	23
Μοντέλο του Bohr	43	54
Άσχετη απάντηση	5	0
Κενή απάντηση	15	23

Πίνακας 8.36: ποσοστό των φοιτητών που προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν για τη σχεδίαση του ατόμου του υδρογόνου το μοντέλο του Bohr ή το κβαντικό μοντέλο



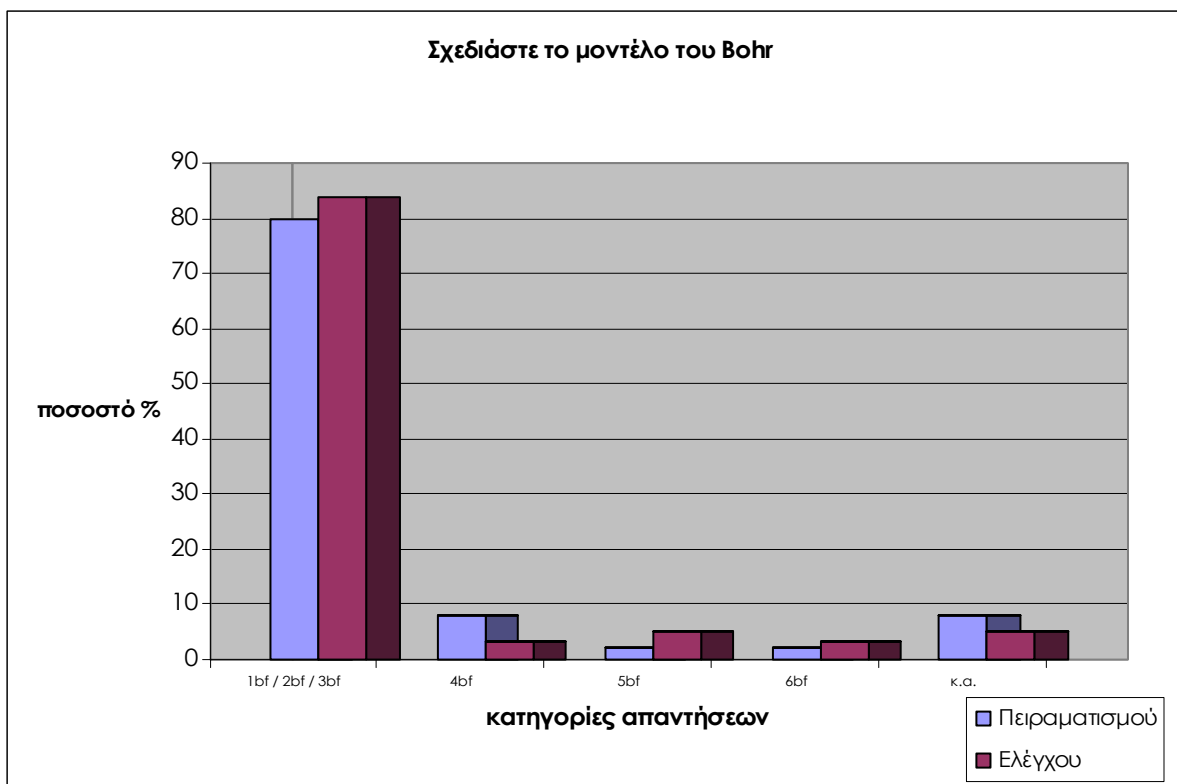
διάγραμμα 8.12: ποσοστό των φοιτητών που προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν για τη σχεδίαση του ατόμου του υδρογόνου το μοντέλο του Bohr ή το κβαντικό μοντέλο

Στην περίπτωση του final post test οι φοιτητές έπρεπε να σχεδιάσουν το άτομο του υδρογόνου χρησιμοποιώντας και το πρότυπο του Bohr αλλά και το μοντέλο πιθανοτήτων.

Για το μοντέλο του Bohr οι απαντήσεις που δόθηκαν είναι:

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου
1α. σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο του Bohr	<b>1bf</b> ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα <b>2bf</b> περισσότερες από μία τροχιά <b>3bf</b> Το ηλεκτρόνιο ακολουθεί μία τροχιά που περιστρέφεται συνεχώς	80	84
1β. σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο του Bohr	<b>4bf</b> τροχίες στις οποίες εμφανίζεται η διαδικασία της διέγερσης και της αποδιέγερσης	8	3
1γ. σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο του Bohr	<b>5bf</b> τροχιά και διανύσματα της ταχύτητας και της δύναμης	2	5
3. λάθος απάντηση με βάση το μοντέλο του Bohr	<b>6bf</b> άλλο μοντέλο	2	3
4. κενή απάντηση	–	8	5

Πίνακας 8.37: Κατηγορίες απαντήσεων για το μοντέλο του Bohr και το ποσοστό των φοιτητών που σχεδίασαν το άτομο του υδρογόνου με βάση το μοντέλο του Bohr στην περίπτωση του *post test*.



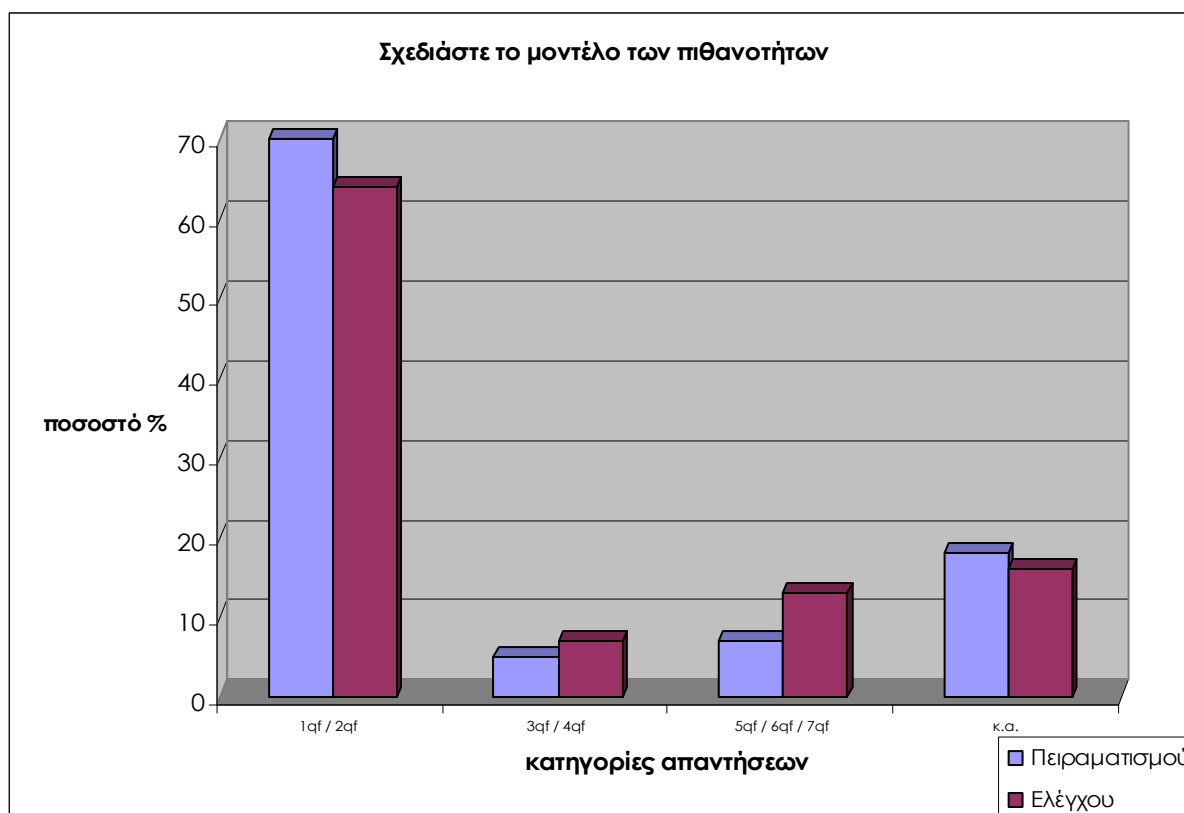
διάγραμμα 8.13: ποσοστό των φοιτητών που σχεδίασαν το άτομο του υδρογόνου ανά κατηγορία με βάση το μοντέλο του Bohr στην περίπτωση του post test

Για το κβαντικό μοντέλο οι απαντήσεις είναι (πίνακας 8.38):

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Πειραματισμού	Ελέγχου
1. σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων	<b>1qf</b> μοντέλο πιθανοτήτων (σφαιρικής συμμετρίας) <b>2qf</b> μοντέλο πιθανοτήτων και για άλλες καταστάσεις (1s, 2s, 2p)	70	64
2. μερικώς σωστή απάντηση με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων	<b>3qf</b> σχήμα μοντέλου πιθανοτήτων 2 διαστάσεων για την κατάσταση 1s και γράφημα για αυτή την κατάσταση <b>4qf</b> σχήμα μοντέλου πιθανοτήτων 2 διαστάσεων για την κατάσταση 1s	5	7

3. λάθος απάντηση με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων και το μοντέλο του Bohr	<b>6bf / 7qf</b> (μοντέλο Thomson)  <b>5qf = 1bf</b> ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα  <b>6qf</b> πυρήνας και ένα ηλεκτρόνιο χωρίς την εμφάνιση τροχιάς	7	13
4. κενή απάντηση	–	18	16

Πίνακας 8.38: Κατηγορίες απαντήσεων για το μοντέλο των πιθανοτήτων και το ποσοστό των φοιτητών που σχεδίασαν το άτομο του υδρογόνου με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων στην περίπτωση του *post test*.



διάγραμμα 8.14: ποσοστό των φοιτητών που σχεδίασαν το άτομο του υδρογόνου ανά κατηγορία με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων στην περίπτωση του *post test*.

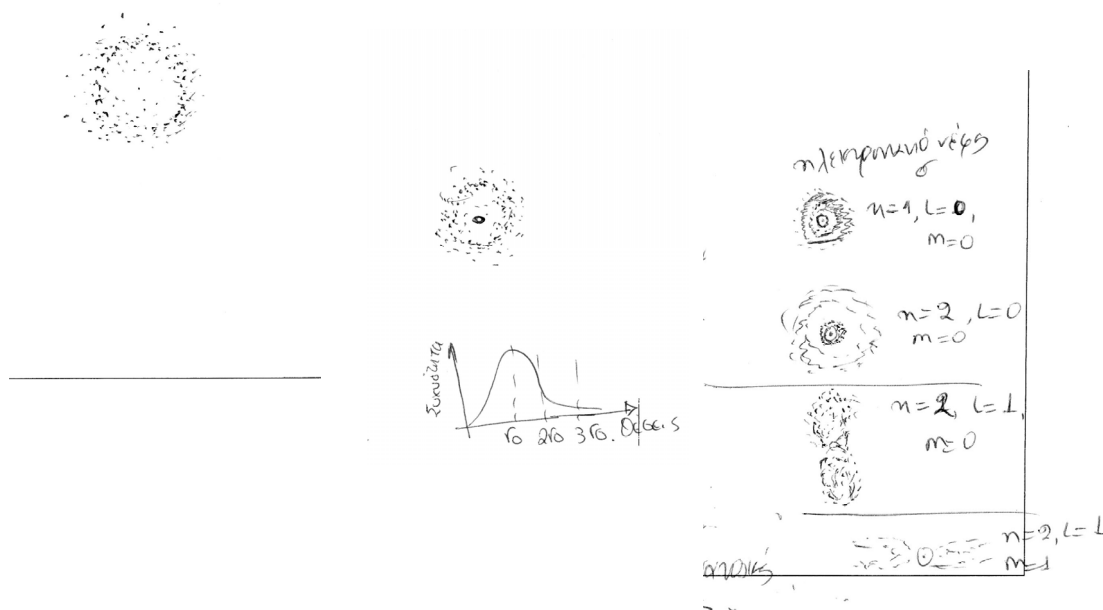
Ακολούθησε η στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων, αφού πρώτα οι απαντήσεις των φοιτητών βαθμολογήθηκαν στη δεκαβάθμια κλίμακα από 0-5 τα σχέδια με το μοντέλο του Bohr και από 6-10 τα σχέδια με το κβαντικό μοντέλο. Οι μέσοι βαθμοί των φοιτητών από όλα τα τμήματα εμφανίζονται στον πίνακα 8.39.

Για την ερώτηση του final post test παρουσιάζουμε μόνο τα αποτελέσματα για την περίπτωση του κβαντικού μοντέλου. Οι απαντήσεις βαθμολογήθηκαν με άριστα το 10.

σχεδίαση μοντέλου με βάση το κβαντικό μοντέλο	Πειραματισμού	Ελέγχου	P
post test	5.95 ± 1.62	4.91 ± 1.07	n.s
final post test	7.90 ± 1.74	7.54 ± 1.44	n.s

Πίνακας 8.39: αποτελέσματα μέσω βαθμών και στατιστική σύγκριση για τη σχεδίαση μοντέλου με βάση το μοντέλο των πιθανοτήτων

Από τις απαντήσεις φαίνεται ότι μεταξύ των τμημάτων πειραματισμού και ελέγχου δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Εκείνο που είναι σημαντικό είναι ότι μόνο φοιτητές του τμήματος πειραματισμού σχεδίασαν το άτομο του υδρογόνου και για καταστάσεις διαφορετικές της 1s. Τέτοια σχήματα παρουσιάζονται παρακάτω (εικόνα 8.1):



εικόνα 8.1: Σχήματα φοιτητών για το άτομο του υδρογόνου που αφορούν στο κβαντικό μοντέλο

### Αποτελέσματα άλλων ερευνών σχετικά με τη διδασκαλία του ατόμου του υδρογόνου

Σε αντίστοιχη έρευνα των Bethge & Niedderer στην ερώτηση για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου το 50% των ερωτηθέντων τελειόφοιτων μαθητών της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης περιέγραψε το άτομο του υδρογόνου με βάση το πλανητικό μοντέλο (μαθητές Λυκείου) ενώ το 25% συνέχισε το κλασικό μοντέλο με το κβαντικό.



Από έρευνα του Fischler σε τελειόφοιτους μαθητές δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης που αφορούσε στην περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου, το 68% των τελειόφοιτων μαθητών περιέγραψε το άτομο του υδρογόνου με βάση το πλανητικό μοντέλο ενώ το 20% με βάση το κβαντικό. Είναι χαρακτηριστικό ότι το ποσοστό παρέμεινε σχεδόν το ίδιο ακόμα και μετά την παραδοσιακή διδασκαλία.

Από έρευνα των Rainer Muller και Hartmut Wiesner, οι οποίοι χρησιμοποίησαν πρόγραμμα οπτικοποίησης με τροχιακά για την απεικόνιση του ατόμου του υδρογόνου, σε ερώτηση για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου προέκυψαν αναλυτικά οι παρακάτω κατηγορίες (πίνακας 8.40) για το τμήμα πειραματισμού και το τμήμα ελέγχου:

	Πειραματισμού (%)	Ελέγχου (%)
Bohr	13	32
Ηλεκτρονιακό νέφος	61	29
$p$ ή $d$ τροχιακά	16	27
Δεν είναι δυνατή η απεικόνιση	5	11

Πίνακας 8.40: κατηγορίες απαντήσεων και ποσοστά από έρευνα των Muller και Wiesner

Όπως παρουσιάζεται και στον παραπάνω πίνακα το μοντέλο του Bohr κατείχε υποδεέστερο ρόλο στο τμήμα πειραματισμού. Σχεδόν όλοι οι μαθητές σχεδίασαν την εικόνα ενός «νέφους».

Στο τμήμα ελέγχου το κλασικό μοντέλο του Bohr, το κβαντικό μοντέλο του νέφους και το  $p$  τροχιακό είχαν παρόμοια κατανομή.

Οι Petri και Niedderer (1998), πραγματοποίησαν μία έρευνα σε έναν μαθητή της ύστερης δευτεροβάθμιας που συμμετείχε σε τάξη στην οποία γινόταν διδασκαλία της κβαντικής φυσικής. Οι δύο ερευνητές έλεγξαν τα μοντέλα του ατόμου, που ο μαθητής δομούσε κατά τη διάρκεια των μαθημάτων, και διέκριναν τις ακόλουθες κατηγορίες γ: πλανητικό μοντέλο, μοντέλο τροχιών που κινούνται στο χώρο, τροχιές νέφη, μοντέλο πιθανοτήτων, μοντέλο electronium.

Ο Mashhadī A. (1996) σε έρευνα σε μαθητές της ύστερης δευτεροβάθμιας, διέκρινε τις ακόλουθες κατηγορίες: μηχανιστική εικόνα (25%), εικόνα πιθανοτήτων (25%), εικόνα τυχαίας κίνησης (23%), εικόνα ηλεκτρονιακού νέφους (10%), δεν είναι δυνατή κανενός είδους απεικόνιση (5%).

Ανάμεσα στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου υπήρχε και μία ερώτηση που προέρχεται από το ερωτηματολόγιο του Olsen, στην οποία οι φοιτητές καλούνται να επιλέξουν ανάμεσα σε ορισμένα μοντέλα που ήταν ήδη σχεδιασμένα, μεταξύ των οποίων ένα απλό πλανητικό μοντέλο, ένα μοντέλο με φλοιούς και αυτό με το ηλεκτρονικό νέφος- για το ποιο από αυτά ταιριάζει περισσότερο στην εικόνα που έχουν για το άτομο του υδρογόνου. Τα αποτελέσματα για τα τρία test φαίνονται στον πίνακα 8.41:

	PreTest		Post Test		Final post test	
	Πειραματ	Ελέγχου	Πειραματ	Ελέγχου	Πειραματ	Ελέγχου
Πλανητικό μοντέλο	33	33	0	15	5	16
Η κίνηση του ηλεκτρονίου δεν οπτικοποιείται	0	8	0	8	13	8
Μοντέλο πιθανοτήτων	17	18	100	62	77	61
Μοντέλο de Broglie	2	0	0	0	0	0
Μοντέλο φλοιών	18	7	0	8	0	7
Μοντέλο περιστρεφόμενων τροχιών	15	23	0	3	2	3
κενή	15	11	0	3	3	5

Πίνακας 8.41: ποσοστά φοιτητών ανά κατηγορία μοντέλου προτίμησης για το άτομο του υδρογόνου

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα οι περισσότεροι μαθητές στην περίπτωση του post test και του τελικού test επέλεξαν το μοντέλο πιθανοτήτων (και μάλιστα η ομάδα πειραματισμού με μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με την ομάδα ελέγχου). Το εύρημα αυτό της έρευνας συμφωνεί με αυτό του Olsen όπου οι μαθητές που απάντησαν στο ερωτηματολόγιό του επέλεξαν το ηλεκτρονικό νέφος και στη συνέχεια το μοντέλο των φλοιών, ενώ ελάχιστοι επέλεξαν το απλό πλανητικό μοντέλο.

Το ποσοστό για τις αντίστοιχες κατηγορίες απαντήσεων εμφανίζεται στον πίνακα 8.42:

Έρευνα Olsen	
Κατηγορίες απαντήσεων	Ποσοστό φοιτητών (%)
Πλανητικό μοντέλο	3
Η κίνηση του ηλεκτρονίου δεν οπτικοποιείται	9
Μοντέλο πιθανοτήτων	37
Μοντέλο de Broglie	1
Μοντέλο φλοιών	31
Μοντέλο περιστρεφόμενων τροχιών	16
κενή	4

Πίνακας 8.42: ποσοστά φοιτητών ανά κατηγορία μοντέλου προτίμησης για το άτομο του υδρογόνου από την έρευνα του Olsen

Αυτό έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες έρευνες (Petri et.al. 1998) όπου το κυρίαρχο μοντέλο μετά το πέρας της παρέμβασης των μαθητών ήταν το πλανητικό μοντέλο. Σύμφωνα με τον Olsen (2002) η διαφοροποίηση οφείλεται στο ότι οι μαθητές απλώς έπρεπε να επιλέξουν ανάμεσα σε κάποια σχήματα και όχι να ζωγραφίσουν οι ίδιοι τα σχήματα, κάτι που απλοποιεί κατά πολύ τα πράγματα. Ο Olsen υποστηρίζει ότι την κάθε φορά έχει σημασία σε κάθε έρευνα το πώς τίθεται η ερώτηση.

Στις ερωτήσεις περιλαμβάνονταν και ερώτηση που αφορούσε στην αρχή της απροσδιοριστίας του Heisenberg. Οι φοιτητές κλήθηκαν να απαντήσουν στην ερώτηση:

Pre test (ερώτηση 6)	Post test (ερώτηση 2)	Final Post test (ερώτηση 10)
<p>6. Με ποια από τις παρακάτω απόψεις συμφωνείτε;</p> <p><b>α.</b> Μπορούμε να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου που κινείται.</p> <p><b>β.</b> Δεν μπορούμε να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ταχύτητα ενός σωματιδίου που κινείται.</p> <p>Γιατί:.....</p> <p>.....</p> <p>2. Αν γνωρίζουμε στο άτομο του υδρογόνου (πυρήνας και ένα ηλεκτρόνιο) που βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο κάποια χρονική στιγμή θα μπορούσαμε με βεβαιότητα να προσδιορίσουμε την επόμενη θέση του;</p> <p>Αιτιολογήστε την απάντησή σας.</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		

Από την κατηγοριοποίηση των απαντήσεων προέκυψε ο πίνακας 8.43:

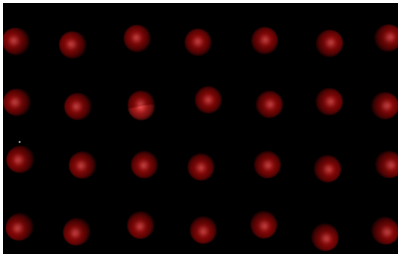
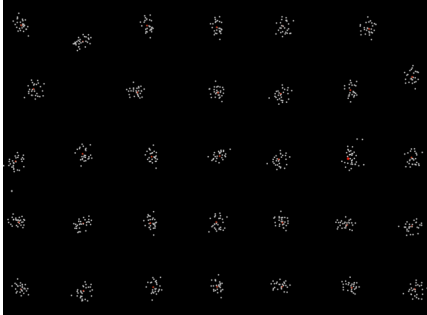
Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	PreTest		Post Test	
		Πειραμ	Ελέγ	Πειραμ	Ελέγ
1α. σωστή απάντηση	σύμφωνα με την αρχή του Heisenberg δεν μπορούνε να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή, συνεπώς την ταχύτητα, του σωματιδίου	11	8	48	33
1β. σωστή απάντηση	δεν είναι δυνατός ο καθορισμός της θέσης του ηλεκτρονίου για αυτό το λόγο η θέση του μπορεί να οπτικοποιηθεί καλύτερα από ένα ηλεκτρονιακό νέφος	0	0	5	3
2. μερικώς σωστή απάντηση	γιατί η κίνηση του ηλεκτρονίου είναι τυχαία και όχι σε καθορισμένες τροχιές	2	0	3	7
3.Μερικώς λάθος	δεν ακολουθεί συγκεκριμένη τροχιά	0	0	5	0
3. λάθος απάντηση	α. το ηλεκτρόνιο κινείται πάρα πολύ γρήγορα και για να προσδιορίσουμε τη θέση του πρέπει να ξέρουμε την ταχύτητα	13	12	11	5
	β. Η θέση εξαρτάται από την ταχύτητα μέσα από τη σχέση $s=ut$ (αφορά στις απαντήσεις των ναι)	18	15	0	0
	γ. Πρέπει να γνωρίζουμε τις αρχικές συνθήκες (αφορά στις απαντήσεις των ναι)	3	2	0	0
	δ. ταχύτητα είναι μεγάλη αλλά η μάζα είναι μικρή	0	0	5	0
4. κενή απάντηση	–	52	63	23	52

Πίνακας 8.43: Κατηγορίες απαντήσεων και ως προς την πληρότητά / ορθότητά τους για την αρχή της απροσδιοριστίας

Ανάμεσα στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου για τη θεματική του ηλεκτρικού ρεύματος συμπεριλήφθηκαν και δύο ερωτήσεις που αφορούσαν στη μικροσκοπική ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το κλασικό και το κβαντικό μοντέλο. Σημειώνουμε, ότι όπως και στη θεματική για το «άτομο του υδρογόνου», εκείνο που διαφοροποιήθηκε κατά τη διάρκεια της εκπαιδευτικής παρέμβασης ήταν ότι χρησιμοποιήθηκε στο τμήμα πειραματισμού βίντεο οπτικοποίησης για την περιγραφή του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση τόσο το κλασικό όσο και το κβαντικό μοντέλο, ενώ στο τμήμα ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν μόνο στατικές εικόνες και λεκτικές περιγραφές.

### 8.3.β.iv Το ηλεκτρικό ρεύμα

Οι ερωτήσεις για το ηλεκτρικό ρεύμα ήταν:

Pre test (ερώτηση 7)		
<p>7. Σε ένα μέταλλο εφαρμόζουμε στα άκρα του διαφορά δυναμικού. Αναφερθείτε στις διαδικασίες που συμβαίνουν στο μικρόκοσμο του.</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		
Post test (ερώτηση 10)		
<p>10. Στην εικόνα εμφανίζεται το πλέγμα ενός μεταλλικού αγωγού και ένα μόνο από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Απεικονίστε και περιγράψτε την κίνηση του ηλεκτρονίου μετά την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου.</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		
Post test (ερώτηση 11)		
<p>11. Σύμφωνα με την κβαντική φυσική τα ηλεκτρόνια έχουν τη δυνατότητα να κινηθούν ελεύθερα μέσα στον αγωγό και η σύγκρουση με άτομα δεν είναι πιθανή παρά μόνο αν δεν είναι τελείως περιοδική η διάταξη των ατόμων, δηλαδή αν υπάρχουν ατέλειες ή προσμίξεις.</p> <p>.....</p> <p>.....</p>		
Final Post test (ερώτηση 7)		
<p>7. Σε ένα μέταλλο εφαρμόζουμε στα άκρα του διαφορά δυναμικού. Αναφερθείτε στις διαδικασίες που συμβαίνουν στο μικρόκοσμο του μετάλλου (και σχεδιάστε τες) χρησιμοποιώντας το κβαντικό και το κλασσικό μοντέλο.</p> <p>.....</p>		

Για την ερώτηση του post test και την αντίστοιχη του final post test οι απαντήσεις ταξινομήθηκαν στις ακόλουθες κατηγορίες τόσο για το κλασσικό μοντέλο (πίνακας 8.44) όσο και για το κβαντικό μοντέλο (πίνακας 8.45):

Κλασσικό μοντέλο

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Post test		Final post test	
		Πειραμ	Ελέγ	Πειραμ	Ελέγ
1α. σωστή απάντηση	Η κατάσταση μεταβάλλεται όταν εφαρμοστεί ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο στο μέταλλο. Εκτός από την τυχαία θερμική κίνηση (κρούσεις με τα διατεταγμένα άτομα του αγωγού), τα ελεύθερα ηλεκτρόνια υπό την	17	20	4	11

	επίδραση του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου, διολισθαίνουν αργά προς μία κατεύθυνση. Η μέση ταχύτητα διολίσθησης είναι πολύ μικρότερη από τη μέση ταχύτητα που έχουν τα ηλεκτρόνια μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων.				
2α. μερικώς σωστή απάντηση	πριν την εφαρμογή του ηλεκτρικού πεδίου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινείται τυχαία προς όλες τις κατευθύνσεις. Με την εφαρμογή όμως του πεδίου το ηλεκτρόνιο θα διολισθαίνει αργά προς μια κατεύθυνση. Αυτή η κίνηση του ηλεκτρονίου προς μία κατεύθυνση είναι το ηλεκτρικό ρεύμα	33	30	43	25
3.Μερικώς λάθος	το ηλεκτρόνιο θα κινηθεί σύμφωνα με την φορά της έντασης I του ηλεκτρικού πεδίου. Αν η ένταση έχει την εξής φορά: τότε το ηλεκτρόνιο θα κινείται ευθύγραμμο προς αυτή τη φορά	10	3	10	0
3 α. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο θα διαγράψει κάποια τροχιά	23	0	11	14
3 β. λάθος απάντηση	Απάντηση που περιέχει στοιχεία από το κβαντικό μοντέλο	3	3	7	4
3 γ. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο μετά την εφαρμογή του εξ ηλ πεδίου κινείται και δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο	0	17	0	0
3δ. λάθος απάντηση	Κινείται κυματοειδώς	0	3	0	0
3ε. λάθος απάντηση	Αναφορά σε κρούσεις με τα άτομα	10	7	11	18
3στ. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο θα κινείται από τα αρνητικά στα θετικά με τη φορά του ηλεκτρικού πεδίου	0	0	0	0
4. κενή απάντηση	–	3	17	14	29

Πίνακας 8.44: Κατηγορίες απαντήσεων και ως προς την πληρότητά / ορθότητά τους για την ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το κλασικό μοντέλο

#### Κβαντικό μοντέλο

Κατηγοριοποίηση	Απαντήσεις	Post test		Final post test	
		Πειραμ	Ελέγ	Πειραμ	Ελέγ
1α. σωστή απάντηση	το ηλεκτρόνιο δεν αλληλεπιδρά με τα κανονικώς διατεταγμένα άτομα του πλέγματος αλλά περνά ελεύθερα δια μέσου του πλέγματος. Αντίθετα συγκρούεται με τα μη κανονικώς διατεταγμένα άτομα του πλέγματος.	41	13	33	10
2α. μερικώς σωστή απάντηση	το ηλεκτρόνιο δεν αλληλεπιδρά με τα κανονικώς διατεταγμένα άτομα του πλέγματος	14	20	7	17

3.Μερικώς λάθος	το ελεύθερο ηλεκτρόνιο δεν ακολουθεί συγκεκριμένη τροχιά μέσα στο πλέγμα	0	13	17	3
3 α. λάθος απάντηση	το ηλεκτρόνιο μπορεί να κινηθεί κυματοειδώς. Υπάρχει περίπτωση να συναντήσει τις ατέλειες αλλά μπορεί να και όχι (οι περισσότερες πιθανότητες είναι να μην τις συναντήσει)	7	7	6	10
3 β. λάθος απάντηση	Στοιχεία από το κλασικό μοντέλο	0	7	3	7
3 γ. λάθος απάντηση	η κίνηση του ηλεκτρονίου δεν είναι τελείως περιοδική σε ορισμένα σημεία και έτσι η σύγκρουση του ηλεκτρονίου με αυτά είναι πολύ πιθανή	0	3	3	0
3δ. λάθος απάντηση	Αναφορά σε κρούσεις με τα άτομα	14	0	0	20
4. κενή απάντηση	–	24	37	30	33

Πίνακας 8.45: Κατηγορίες απαντήσεων και ως προς την πληρότητά / ορθότητά τους για την ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το κβαντικό μοντέλο

Στη συνέχεια οι απαντήσεις βαθμολογήθηκαν. Οι μέσοι βαθμοί των φοιτητών από όλα τα τμήματα εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 8.46).

Κλασικό μοντέλο	Πειραματισμού	Ελέγχου	P
μέσος βαθμός (post test)	3.66 ± 1.05	3.74 ± 0.78	n.s.
μέσος βαθμός (final post test)	2.73 ± 1.05	2.51 ± 1.28	0.004

Πίνακας 8.46: Μέσοι βαθμοί για την για την ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το κλασικό μοντέλο

Κβαντικό μοντέλο	Πειραματισμού	Ελέγχου	P
μέσος βαθμός (post test)	5.53 ± 2.05	2.45 ± 1.18	0.000
μέσος βαθμός (final post test)	3.86 ± 1.65	2.25 ± 1.08	0.004

Πίνακας 8.46: Μέσοι βαθμοί για την για την ερμηνεία του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το κβαντικό μοντέλο

Από τους παραπάνω πίνακες, γίνεται φανερό ότι, οι φοιτητές του τμήματος πειραματισμού έλαβαν μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τους φοιτητές του τμήματος ελέγχου, όσον αφορά στην περιγραφή του ηλεκτρικού ρεύματος με βάση το κλασικό και το κβαντικό μοντέλο.

Μάλιστα όσο αφορά στην περιγραφή με το κβαντικό μοντέλο η βαθμολογική διαφορά είναι πολύ μεγάλη στην περίπτωση του post test, και μικρότερη στην περίπτωση του final post test.



## 9 Συμπεράσματα

Ένας από τους βασικούς στόχους της παρούσας εργασίας ήταν η ριζική αναμόρφωση του αναλυτικού προγράμματος σπουδών –στην κατεύθυνση της μετακλασικής φυσικής– το οποίο προσφέρεται στους προπτυχιακούς φοιτητές παιδαγωγικών τμημάτων και ταυτόχρονα η ανάπτυξη μιας διδακτικής προσέγγισης και κατάλληλου συνοδευτικού υλικού. Για το σκοπό αυτό αναπτύξαμε εκπαιδευτικό υλικό, που να στηρίζει ένα αναλυτικό πρόγραμμα κβαντικής φυσικής, το οποίο και εφαρμόσαμε σε φοιτητές του ΠΤΔΕ του Πανεπιστημίου Αθηνών.

Η εφαρμογή μίας τέτοιας θεματικής σε φοιτητές παιδαγωγικού τμήματος αφενός μεν προσκρούει στο χαμηλό υπόβαθρο των φοιτητών στα μαθηματικά και στη φυσική αφετέρου δε στην αρνητική στάση που έχουν προς το μάθημα της φυσικής. Επιπλέον η εφαρμογή της θεματικής πραγματοποιήθηκε με χρήση των ΤΠΕ, και οι φοιτητές κλήθηκαν να χρησιμοποιήσουν τον υπολογιστή και να πλοηγηθούν στις σελίδες του λογισμικού που αναπτύξαμε καθώς και να χρησιμοποιήσουν προγράμματα προσομοίωσης / οπτικοποίησης φαινομένων. Η εξοικείωση των φοιτητών πραγματοποιήθηκε εύκολα, αφού το λογισμικό συνόδευαν και φύλλα εργασίας όπου δίνονταν αναλυτικές οδηγίες στους φοιτητές.

Η εφαρμογή περιλάμβανε και διαγνωστικά αλλά και αξιολογικά ερωτηματολόγια πριν και μετά τη διδασκαλία κάτι που αρχικά δυσaráεστησε αρκετούς φοιτητές, μιας και γνώριζαν ότι στα υπόλοιπα εργαστηριακά τμήματα δεν υπήρχε γραπτή αξιολόγηση. Βέβαια η τελική αξιολόγηση των φοιτητών δεν πραγματοποιήθηκε μόνο μέσα από τις γραπτές εξετάσεις αλλά και από τη συνολική παρουσία τους, τη συνέπεια στις εργασίες και την προφορική τους συμμετοχή.

Τα αποτελέσματα της ερευνητικής μας προσπάθειας μπορούν να θεωρηθούν ενθαρρυντικά όχι βέβαια μόνο αν κανείς δει τη διαφορά των συνολικών βαθμών ανάμεσα στα pre-test και τα post-test –αφού στα pre test οι φοιτητές κλήθηκαν να απαντήσουν και σε ερωτήσεις που αφορούσαν σε θεματικές ενότητες που προηγούμενα δεν είχαν αναλυτικά διδαχθεί– αλλά στο ότι οι βαθμοί μεταξύ των δύο post-test (χρονικής διαφοράς τριών μηνών) ήταν περίπου ισοδύναμοι. Το τελευταίο αποτελεί μία ένδειξη, ότι η γνώση που αποκόμισαν οι φοιτητές από την εκπαιδευτική παρέμβαση διατηρήθηκε. Σημειώνουμε μάλιστα ότι οι ίδιοι φοιτητές, ασκήθηκαν και σε πειράματα μηχανικής με κατάλληλα διαμορφωμένο λογισμικό, μπορούν να αποδώσουν τόσο σε θεματικές που περιλαμβάνουν τους νόμους του Νεύτωνα (Dendrinos K. et.al., 2004) όσο και σε θεματικές που σχετίζονται με βασικές αρχές της κβαντικής φυσικής.

### *Γενικά χαρακτηριστικά της πρότασης*

Τα γενικά χαρακτηριστικά της πρότασης είναι:

- Η παράλληλη εισαγωγή δύο ανεξάρτητων εννοιολογικών συστημάτων, που αφορούν στην κλασική και στην κβαντική φυσική, με ταυτόχρονη ανάδειξη των ομοιοτήτων και των διαφορών τους:

στόχος μας δεν ήταν η κατάργηση των κλασικών προτύπων για την περιγραφή διαδικασιών του μικρόκοσμου αλλά η χρήση τους ως ενδιάμεσων για το πέρασμα στα κβαντικά πρότυπα

στόχος υπήρξε η χρήση των μοντέλων ώστε να γίνουν κατανοητά τα όρια των μοντέλων.

Για την εκπόνηση του αναλυτικού προγράμματος λάβαμε υπόψιν το γεγονός ότι οι φοιτητές είχαν ήδη διδαχθεί κατά την προ-πανεπιστημιακή τους εκπαίδευση με βάση το κλασικό μοντέλο. Τα αρχικά ερωτηματολόγια έδειξαν ότι οι φοιτητές αγνοούν βασικές αρχές και φαινόμενα της κβαντικής φυσικής, έλλειψη που οφείλεται στην εκπαίδευση που οι φοιτητές έλαβαν τα προηγούμενα χρόνια των σπουδών τους στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Όπως δείξαμε στο αντίστοιχο κεφάλαιο της εργασίας μας τα θέματα κβαντικής που περιλαμβάνει η ύλη των μαθημάτων φυσικής και χημείας στη λυκειακή εκπαίδευση –και κυρίως τα θέματα που τελικά οι μαθητές διδάσκονται– είναι αφενός μεν ελάχιστα αφετέρου δε μη ικανά να οδηγήσουν σε εννοιολογική αλλαγή αλλά και σε αλλαγή του τρόπου με τον οποίο αντιλαμβάνονται τον κόσμο. Οι γνώσεις που αποκτούν από τη σχολική τους εκπαίδευση αφορούν στις αρχές της κλασικής φυσικής, ακόμα και όταν πρόκειται για τον μικρόκοσμο στον οποίο κυριαρχούν οι κβαντικές αρχές.

Η διδασκαλία της κλασικής φυσικής και η εφαρμογή της και στον μικρόκοσμο οδηγεί στη δημιουργία ενός εννοιολογικού συστήματος από το οποίο δύσκολα μπορούν να απαγκιστρωθούν. Μάλιστα και στις περιπτώσεις εκείνες όπου διδάσκονται έννοιες της κβαντικής φυσικής, είτε τις απορρίπτουν είτε τις αναμειγνύουν με τις υπάρχουσες απόψεις.

Έτσι αν και οι φοιτητές γνωρίζουν τον κυματοσωματιδιακό χαρακτήρα του φωτός δεν μπορούν να επιχειρηματολογήσουν για αυτόν ενώ αντίθετα αντιμετωπίζουν τα ηλεκτρόνια ως σωματίδια μόνο –κάτι που είναι συμβατό με την εκπαίδευση που έχουν λάβει, όχι όμως με τις απόψεις της επιστήμης για σχεδόν έναν αιώνα– χωρίς όμως να επιχειρηματολογούν για τον χαρακτήρα αυτό. Το τελευταίο μάλιστα δείχνει ότι δεν είναι σε θέση να προσδώσουν στα κύματα και στα σωματίδια κάποιες βασικές ιδιότητές τους. Μετά το πέρας της διδασκαλίας οι φοιτητές αντιλαμβάνονται ότι και το φως αλλά και τα ηλεκτρόνια εμφανίζουν κυματοσωματιδιακή φύση, ενώ δίνουν επιχειρήματα για τη δυική φύση του φωτός και των ηλεκτρονίων, στηριζόμενοι τόσο σε φαινόμενα όπως η περίθλαση, η συμβολή, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αλλά και η μάζα ή το φορτίο για την περίπτωση των ηλεκτρονίων, όσο και στην αρχή της συμπληρωματικότητας.

Οι φοιτητές του παιδαγωγικού τμήματος –όπως και οι περισσότεροι φοιτητές των ελληνικών πανεπιστημίων– κατά τη λυκειακή τους εκπαίδευση δεν έρχονται σε επαφή με την κβαντική άποψη για το άτομο του υδρογόνου, τη στιγμή που το μοντέλο του Bohr –ή το απλό πλανητικό μοντέλο– κατέχει κυρίαρχη θέση στα βιβλία φυσικής και χημείας των σχολικών τάξεων. Αλλά και στην περίπτωση που οι φοιτητές προέρχονται από τη θετική κατεύθυνση και διδάσκονται το κβαντικό μοντέλο για το άτομο του υδρογόνου –ενώ ταυτόχρονα διδάσκονται και το μοντέλο

του Bohr, οι πληροφορίες που λαμβάνουν δεν είναι ικανές να οδηγήσουν σε εννοιολογική αλλαγή και αποδοχή του κβαντικού μοντέλου. Πολύ συχνό μάλιστα είναι το φαινόμενο οι φοιτητές να συγχέουν έννοιες των δύο μοντέλων.

Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν δύο ανεξάρτητα εκπαιδευτικά εννοιολογικά που αντιστοιχούν στα κβαντικά και στα κλασικά πρότυπα για την περιγραφή του μικροκόσμου. Για το σκοπό αυτό ιδιαίτερη έμφαση κατά την ανάπτυξη των θεματικών δόθηκε στο άτομο του υδρογόνου, καθώς και στην περιγραφή του ηλεκτρικού ρεύματος.

Όσον αφορά στο άτομο του υδρογόνου, τα αρχικά pre-test έδειξαν ότι το κυρίαρχο μοντέλο των φοιτητών για το άτομο του υδρογόνου είναι το απλό πλανητικό μοντέλο κάτι που έρχεται σε συμφωνία και με άλλες έρευνες (Olsen 2001, Mashhadi 1996, Müller and Wiesner 1999, Unal and Zollman 1999). Για τη διδασκαλία της θεματικής του ατόμου του υδρογόνου χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα προσομοίωσης / οπτικοποίησης που περιλάμβανε το μοντέλο του Bohr και το μοντέλο των πιθανοτήτων.

- Ο ρόλος των προσομοιώσεων / οπτικοποιήσεων ήταν καταλυτικός για την παρέμβαση, αφού:

αφενός μεν, εκμηδένισε τη χρήση του μαθηματικού φορμαλισμού της κβαντικής φυσικής αφετέρου δε, ώθησε τους φοιτητές που δίδαχθηκαν με αυτές να κάνουν χρήση των κβαντικών μοντέλων σε μεγαλύτερο βαθμό από τους υπόλοιπους φοιτητές

Η στρατηγική που υιοθετήθηκε στην προσομοίωση απαιτούσε δύο διαφορετικές δραστηριότητες: την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του προσομοιούμενου συστήματος και την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Αυτή η στρατηγική αφορούσε στην πρόκληση των νοητικών μοντέλων και τη σύγκρισή τους με τις συμπεριφορές των συστημάτων αναδεικνύοντας τις ομοιότητες και τις διαφορές. Εξακριβώσαμε ότι η προσέγγιση αυτή πρόσφερε καλύτερη κατανόηση στο γνωσιακό αντικείμενο.

Για να διαπιστωθεί ο ρόλος της προσομοίωσης / οπτικοποίησης ως προς τα μαθησιακά αποτελέσματα έναντι της χρήσης στατικών εικόνων και λεκτικών περιγραφών διακρίναμε τα 4 τμήματα του δείγματος σε 2 τμήματα πειραματισμού και 2 τμήματα ελέγχου. Στα τμήματα πειραματισμού χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης ενώ στα άλλα τμήματα στατικές εικόνες και λεκτικές περιγραφές. Η έρευνα έδειξε ότι περισσότεροι φοιτητές των τμημάτων πειραματισμού προτίμησαν το μοντέλο πιθανοτήτων για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου σε σχέση με τους φοιτητές των τμημάτων ελέγχου, αν και πάλι το κυρίαρχο μοντέλο ήταν το μοντέλο του Bohr. Στο ίδιο πάλι ερωτηματολόγιο περιλάβαμε μία ερώτηση, στην οποία οι φοιτητές έπρεπε να επιλέξουν ανάμεσα σε σχήματα –μοντέλα ατόμων– και εδώ η συντριπτική πλειοψηφία των φοιτητών –και μάλιστα περισσότεροι του τμήματος πειραματισμού– επέλεξαν το κβαντικό μοντέλο, έναντι του μοντέλου του Bohr. Σε αντίστοιχη

ερώτηση για την περιγραφή και των δύο μοντέλων, τρεις μήνες μετά τη διδασκαλία οι φοιτητές των τμημάτων πειραματισμού απάντησαν καλύτερα για την περίπτωση του κβαντικού μοντέλου έναντι των φοιτητών των τμημάτων ελέγχου. Εξίσου καλά απάντησαν οι φοιτητές όλων των τμημάτων στην ερώτηση για τη σχεδίαση των μοντέλων, αν και μόνο φοιτητές του τμήματος πειραματισμού σχεδίασαν το άτομο του υδρογόνου και για καταστάσεις διαφορετικές της 1s.

Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι, η χρήση του προγράμματος προσομοίωσης βοήθησε τους φοιτητές να κατανοήσουν βασικά στοιχεία του μοντέλου των πιθανοτήτων για το άτομο του υδρογόνου ενώ ακόμη τους βοήθησε σε σημαντικό βαθμό να κατανοήσουν ομοιότητες και διαφορές μεταξύ των μοντέλων –Bohr και πιθανοτήτων– για να περιγράψουν το άτομο του υδρογόνου, ώστε τελικά να αποφεύγεται η σύγχυση μεταξύ των δύο μοντέλων. Όπως έχει αναφερθεί και προηγούμενα στόχος μας δεν ήταν η κατάργηση του μοντέλου του Bohr ως μοντέλου για την περιγραφή του ατόμου του υδρογόνου από τους φοιτητές αλλά η χρήση του με τέτοιο τρόπο ώστε να ενισχυθεί η διάκριση των δύο μοντέλων.

- Η εκπαιδευτική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε έδωσε τη δυνατότητα στους φοιτητές, οι ίδιοι να ανακαλύψουν –και σε κάποιες περιπτώσεις να αναδομήσουν– τη γνώση.

Εξάλλου οι φοιτητές καθ όλη την διάρκεια της διδασκαλίας τους διδάχθηκαν με ομαδοσυνεργατική διεξαγωγή του μαθήματος. Η «εξουσία» του επόπτη – διδάσκοντα αποκεντρώθηκε και πέρασε στις ομάδες. Μέσα στις ευθύνες και αρμοδιότητες της ομάδας ήταν όχι μόνο η ομαλή διεξαγωγή της άσκησης –με συμπλήρωση του φύλλου εργασίας, εκτέλεση των πειραμάτων, εκτέλεση των προσομοιώσεων– αλλά και η επίλυση προβλημάτων συμπεριφοράς, η αναφορά στον επόπτη – διδάσκοντα για επίλυση προβλημάτων. Με τον τρόπο αυτό, ο επόπτης – διδάσκων πρόσφερε βοήθεια μόνο όταν ήταν απολύτως αναγκαίο –είτε για να βοηθήσει στην κατανόηση δύσκολων σημείων είτε στην επίλυση προβλημάτων που προέκυπταν κατά τη χρήση των υπολογιστών–. Επιπλέον αξιοποιήθηκε άμεσα το δυναμικό της ομάδας ενώ ταυτόχρονα οι φοιτητές ασκούσαν στις συλλογικές διαδικασίες και στην αυτοεξυπηρέτηση.

- Η έμφαση στις αρχές της συμπληρωματικότητας και της απροσδιοριστίας, που αναδεικνύουν το γεγονός ότι (και) τα σωματίδια όπως και το φως έχουν κυματοσωματιδιακή συμπεριφορά καθώς και το ότι η πιθανοκρατία επικρατεί στον μικρόκοσμο.

Οι αρχές αυτές επιβάλλουν εξάλλου, την αλλαγή στον τρόπο κατανόησης του κόσμου. Ο κόσμος στον οποίο ζούμε στηρίζεται σε δομές που λειτουργούν, συμπληρωματικά και απροσδιόριστα, άρα για να τον κατανοήσουμε θα πρέπει να μεταβάλλουμε τον τρόπο σκέψης

μας. Κάτι τέτοιο μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσα από την εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες (Mashadi, 1996), μία εκπαίδευση όμως, που στηρίζεται σε μηχανιστικά αναλυτικά προγράμματα, προβάλλοντας τη νευτώνεια θεωρία ως ένα εννοιολογικό και γνωσιακό πλαίσιο μη προβληματικό και ισχυρό –όταν στην πραγματικότητα είναι εννοιολογικά λανθασμένο. Ερευνητές (Dobson, 1985; Fischler, 1999) σημειώνουν ότι δεν είναι αρκετό να περιληφθούν απλά και μόνο οι αρχές της νέας φυσικής σε ένα σχολικό αναλυτικό πρόγραμμα αλλά θα πρέπει οι μαθητές να βοηθηθούν ώστε να κατανοήσουν τον νέο τρόπο σκέψης και άρα τον νέο τρόπο θέασης του κόσμου που η κβαντική θεωρία επιβάλλει.

## 10 Συζήτηση - Προτάσεις

Όπως σημειώθηκε και προηγούμενα το υλικό που αναπτύχθηκε φαίνεται ότι βοήθησε στην κατανόηση από τους φοιτητές βασικών αρχών της κβαντικής φυσικής. Είναι βέβαιο απαραίτητο να τονίσουμε ότι αποτελέσματα μίας έρευνας θα έπρεπε να μπορούν να ελεγχθούν και μετά από χρόνια ακολουθώντας τους ίδιους φοιτητές στο εργασιακό / σχολικό τους περιβάλλον. Ας μην ξεχνάμε ότι οι φοιτητές που συμμετείχαν στην έρευνά μας, σε λίγα χρόνια θα κληθούν, ως εκπαιδευτικοί πλέον, να διδάξουν στους μαθητές τους έννοιες όπως το φως, το άτομο, το ηλεκτρόνιο... . Είναι λοιπόν σημαντικό οι ίδιοι να γνωρίζουν τις σύγχρονες απόψεις της επιστήμης για αυτές τις έννοιες, όταν μάλιστα –τα νέα βιβλία που θα κληθούν να διδάξουν στα δημοτικά σχολεία– περιέχονται επιγραμματικά οι απόψεις αυτές.

Από τα πρώτα κεφάλαια έχουμε ήδη τονίσει ότι στόχος μιας εκπαιδευτικής παρέμβασης στις φυσικές επιστήμες θα πρέπει να είναι η κατανόηση του κόσμου από τους εκπαιδευόμενους μέσα από τις σύγχρονες απόψεις της επιστήμης. Η σύγχρονη άποψη της επιστήμης αφορά σε έναν κόσμο εγγενώς απροσδιόριστο και πιθανοκρατικό κάτι που είναι δύσκολο να γίνει κατανοητό μέσα από μια μικρής χρονικής διάρκειας παρέμβαση όπως είναι η δικιά μας και να βοηθήσει τους φοιτητές να απαγκιστρωθούν από τις απόψεις της νευτώνειας μηχανικής – απόψεις που οι εν λόγω φοιτητές διδάσκονταν όλα τα προηγούμενα χρόνια σε όλες τις βαθμίδες εκπαίδευσης.

Αποτελεί γεγονός ότι η βιβλιογραφική αναζήτηση ανέδειξε και άλλες προσεγγίσεις στην κατεύθυνση της διδασκαλίας της κβαντικής φυσικής, όπως για παράδειγμα την πλήρη εγκατάλειψη του κλασικού προτύπου (Fischler, 1999), την εισαγωγή νέων όρων κατά τη διδασκαλία της κβαντικής φυσικής (Fischler, 1999) –όπως για παράδειγμα «κβαντόνια» ή «κβαντικά αντικείμενα» για το φως και τις οντότητες του μικροκόσμου– την εισαγωγή του κβαντικού προτύπου μέσα από την παρουσίαση τεχνολογικών εφαρμογών (Zollman, 1999). Οι προσεγγίσεις αυτές ακολουθούνταν από ανάπτυξη κατάλληλου εκπαιδευτικού υλικού. Μάλιστα η χρήση των νέων τεχνολογιών βοήθησε στην ανάπτυξη αυτού του υλικού και ιδίως στην ανάπτυξη προγραμμάτων προσομοίωσης και οπτικοποίησης που αφορούν σε φαινόμενα του μικροκόσμου. Οι προσεγγίσεις αυτές, ίσως, από κάποιους θεωρηθούν ως ριζοσπαστικές, προτείνονται όμως από ερευνητές που δρουν στο χώρο της εκπαιδευτικής έρευνας που σχετίζεται με τη σύγχρονη φυσική, και οι οποίοι ελέγχουν και αξιολογούν τις προτάσεις τους.

Δε θα πρέπει πάντως να ξεχνάμε ότι η ίδια η κβαντική θεωρία είναι η πλέον ριζοσπαστική στο χώρο της επιστήμης και η εισαγωγή της στο χώρο της εκπαίδευσης θα έσειε την ίδια τη δομή των μηχανιστικών αναλυτικών προγραμμάτων των φυσικών επιστημών όπως ακριβώς η κβαντική θεωρία έσεισε το οικοδόμημα της νευτώνειας μηχανικής, οδηγώντας σε ένα εκπαιδευτικό σύστημα που θα προβάλλει τις λίγες θεμελιώδεις αρχές που διέπουν στο σύμπαν, θα δίνει έμφαση στις έννοιες, θα περιορίζει την επανάληψη θεματικών ενοτήτων, θα συνδέει τη σύγχρονη επιστημονική έρευνα με την εκπαίδευση ενημερώνοντας τους μαθητές –αυριανούς

πολίτες– για της εξελίξεις του τεχνολογικού πολιτισμού, βοηθώντας τους ταυτόχρονα να αποκτούν κατάλληλη άποψη για τη θέαση του κόσμου που στις μικρο-δομές του συμπεριφέρεται κβαντικά.

## Βιβλιογραφία

- Ambrose, B.S., Shaffer, P.S., Steinberg, R.N., & McDermott, L.C. (1999). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *American Journal of Physics* 67, 146-155
- Bagdonis, A.S. & Salisbury, D.F. (1994). Development and validation of models in instructional design. *Educational Technology*, April, 26-32.
- Barnea Nitza and Dori Yehudit, Computerized molecular modelling – The new technology for enhancing model perception among chemistry educators and learners, [http://www.uoi.gr/ceip/2000\\_January/pdf/16barneaf.pdf](http://www.uoi.gr/ceip/2000_January/pdf/16barneaf.pdf)
- Budde M., Niedderer H., Scott P. and Leach J., (2002), The quantum atomic model 'Electronium': a successful teaching tool, *Physics Education* 37 (3)
- Budde M., Niedderer H., Scott P. and Leach J., (2002), 'Electronium': a quantum atomic teaching model, *Physics Education* 37 (3), 197 - 203
- Clement J, (2000), Model based learning as a key research area for science education, *Int. J. Sci. Educ.*, 2000, VOL. 22, NO. 9, 1041- 1053
- Dendrinos K., Kalkanis G. (2004), Instructional software supporting hands on laboratory activities in physics education, *Girep*, Ostrava, July 2004
- Dendrinos K., Kalkanis G. (2004), Computer assisted hands-on laboratory activities – Design / development and evaluation of Instructional Software applied to students' / teachers' education, *Proceedings of the ESERA Summer School*, Duisburg-Essen, Germany
- 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
- Dobson K, (1985), The experience of physics, *Physics Education*, 20, 188-191
- 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, 317-326
- Editorial, 2002, The double-slit experiment, *Physics World*, <http://physicsweb.org/article/world/15/9/1>



Fischler H. (1999), "Introduction to Quantum Physics-Development and Evaluation of a New Model" Research on teaching and Learning quantum Mechanics, Papers presented at the annual meeting – National Association for Research in Science Teaching

Fischler H. and Lichtfeldt, M. (1992) Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 14 (2), 181–190.

Fletcher, P. and Johnston, I. (1999) Quantum mechanics: exploring conceptual change. Paper presented at NARST. In D. Zolman (ed.) *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics*, 28–31.

Gilbert, J.K. (1997) (Ed). *Exploring Models and Modeling in Science and Technology Education*. The University of Reading, The New Bulmershe Papers, UK.

Hadzidaki, P., Kalkanis, G., Stavrou, D., (2000), Quantum mechanics: a systemic component of the modern physics paradigm, *Physics Education, special issue "Quantum Physics"*, **35** (6), 386-392

Hadzidaki, P., Stavrou, D., Kalkanis, G., (1999), A teaching proposal aiming at a weak reconstruction toward quantum mechanics concepts supported by a simulation/visualization of the "p" orbitals, *2nd International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.), Kiel, Germany*

Harrison A, Treagust D., (1999), Learning about Atoms, Molecules, and Chemical Bonds: A Case Study of Multiple-Model Use in Grade 11 Chemistry, *ScEd\_Vol84\_Issue3\_p352\_381.pdf*

Horwitz P. (2002), Simulations and Visualizations, <http://prospectassoc.com/NSF/simvis.htm#1>

Ireson, G. (2000) The quantum understanding of pre-university physics students. *Physics Education*, 35, 15–21

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.

Kalkanis, G., Dimitriadis, P., Papatsimpa, L., Tsakonas, P., Hatzidaki, P., Stavrou, D., Imvrioti, D., Patrinoopoulos, M., Straga, S., Dendrinis, K., Kyriaki, E., Hatzitsompanis, T., Dimopoulos, V., Feggou, E., Sotiropoulos, D., Tsagogeorga, A., (2001), A research (and and appeal) for a radical reform of the content, the instructional approach and the supporting technology of science education: From relativistic / probabilistic microkosmos to the mechanistic / almost certain macrokosmos - The case of science teachers, *3rd International Conference of the European Science Education Research Association (E.S.E.R.A.), Thessaloniki, Greece*

Kalkanis, G., (2001), Which (and How) Science and Technology Education for Future Citizens?, (invited speech), *1st IOSTE Symposium in Southern Europe, Science and Technology Education: Preparing future citizens, Paralimni, Cyprus*

- Kalkanis, G., Dimitriadis, P., Papatsimpa, L., (2000), Physics in Research and Physics in School – from Epistemological to Educational Reforms, Proceedings of GIREP International Conference 2000, Barcelona, Spain
- Kalkanis G., Hadzidaki P., Stavrou D., (2003) An Instructional Model for a Radical Conceptual Change Towards Quantum Mechanics Concepts. *Science Education*, 84, 325-381
- Kalkanis, G., (2001), Which (and How) Science and Technology Education for Future Citizens?, (invited speech), *1st IOSTE Symposium in Southern Europe, Science and Technology Education: Preparing future citizens, Paralimni, Cyprus*
- Kalkanis G., (1997), Realistic Systems / MicroKosmos, Stochastic Processes, Probabilistic Modelling, Computer Simulation / Animation - (or) How to optimise understanding / teaching and learning real physical phenomena – an Appeal and Applications, Proceedings of the 7th EARLI International Conference, Athens
- 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.
- Mashadi, A. (1997). 21st century thinking and science education. Paper presented at the Annual International Conference on Thinking. Singapore, June 1-6, 1997
- Mashhadi A. (1996), Student's conceptions of quantum physics, *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes*, The Falmer Press
- Mashhadi, A. (1994). Advanced level physics students - understanding of quantum physics. Paper presented to the British Educational Research Association Annual Conference, Oxford, September 1994
- McDermott, L.C., & Shaffer, P.S., "Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding," *American Journal of Physics* 60, 994-1003 (1992); erratum, *ibid.* 61, 81 (1993)
- Muller R., Wiesner H. (2002) Teaching quantum mechanics on an introductory level, *Am. J. Phys.* 70 (3), pp 200-209
- Muller R., Wiesner H. (1999). Students' conceptions of quantum physics, Paper presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching [http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM\\_papers.pdf](http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM_papers.pdf)
- Ogborn J., (2000), Post-16 physics for tomorrow, *Phys. Educ.* 35(4) July 2000
- Ogborn, Jon. (1998) Attracting teenagers to physics, *Physics World* 11 (2) pp55-56
- Ogborn, J. (1974) Introducing quantum physics. *Physics Education*, 9, 436–443.

- Olme A., (2000), Views on the physics, curriculum beyond 2000, *Phys. Educ.* 35(3) May 2000 p. 195
- Olsen R. (2002), Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway, *INT. J. SCI. EDUC.*, VOL. 24, NO. 6, 565–574
- 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, 1995.
- (<http://www.phys.uu.nl/~fmeijer/wordpress/index.php?p=72>)
- Petri, J. and Niedderer, H. (1998) A learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20, 1075–1088.
- Redish E., Steinberg R., Wittmann M, "A New Model Course in Applied Quantum Physics." 18 June 2002  
<http://www.physics.umd.edu/perg/qm/qmcourse/NewModel/index.html>
- Rieber L. (2001), Supporting Discovery-Based Learning within Simulations,  
<http://www.iwm-kmrc.de/workshops/visualization/rieber.pdf>
- Robblee k., Garik P., Abegg G., Horwitz P. (2000), Concord Consortium Teachers' Use of Computer Visualization Models in Secondary Chemistry: A Comparative Study, A Paper Presented at the Annual Conference of the National Association for Science Teaching, New Orleans, LA, April 28, 2000
- Robblee K., Garik P. & Abegg G. (1999). Using computer visualization software to teach quantum science: the impact on pedagogical content knowledge. Paper presented at the annual meeting National Association for Research in Science Teaching,  
[http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM\\_papers.pdf](http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst/QM_papers.pdf)
- Rohrer M., (2000), Seeing is believing: The importance of visualization in manufacturing simulation, *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, <http://www.informs-sim.org/wsc00papers/163.PDF>
- Rosaaria J, Gilbert J., (2000), History and philosophy of science through models: some challenges in the case of 'the atom', *INT. J. SCI. EDUC.*, 2000, VOL. 22, NO. 9, 993- 1009

Sanjay N., Robello and Zollman D. (1999), "Conceptual Understanding of Quantum Mechanics after use Hand-on and Visualization Structural Materials " Research on teaching and Learning quantum Mechanics, Papers presented at the annual meeting – National Association for Research in Science Teaching, March

Shabajee, P. and Postlethwaite, K. (2000) What happened to modern physics?, *School Science Review*, 81(297), p51-56

Shiland T. (1997), Quantum Mechanics and Conceptual Change in High School Chemistry Textbooks, *Journal of research in science teaching*, VOL. 34, NO. 5, PP. 535–545

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

Stavrou, D., Hadzidaki, P., Kalkanis, G., (1999), An Instructional Model for a qualitative approach of Quantum Mechanics concepts, *8th European Conference for Research on Learning and Instruction (EARLI)*, Goteborg, Sweden

Steinberg R., Wittmann M., Bao L and Redish E., "The Influence of Student Understanding of Classical Physics When Learning Quantum Mechanics " Research on teaching and Learning quantum Mechanics, Papers presented at the annual meeting – National Association for Research in Science Teaching, March (1999).

Styer, D.: 1996, 'Common Misconceptions Regarding Quantum Mechanics', *American Journal of Physics* 64(1), 31–34

Thomas, R. & Hooper, E. (1991). Simulation: An opportunity we are missing. *Journal of Research on Computing in Education*, 23(4), 497-513

Tuvi I. and Nachmias R, (2001), Current State of Web Sites in Science Education – Focus on Atomic Structure, *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 10, No. 4, December 2001

Unal R., Zollman D., Students' Description of an Atom: A Phenomenographic Analysis, <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/vqm/AtomModels.PDF>

Warren J (2003), 'Electronium'? No, thanks, *Physics Education*, Volume 38, Number 3, p 268

Weller H., (1996) Assessing the impact of computer-based learning in science, *Journal of Research on Computing in Education*, Vol. 28, pp. 461-485.

Wosilait K., Heron P., Shaffer P. and McDermott L., (2000), Addressing student difficulties in applying a wave model to the interference and diffraction of light, *Am. J. Phys.* 67 (7), S5-S15

Zollman D., Rebello N., Hogg K., (2002), Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology, *Am. J. Phys.* 70 (3), 252-259

Zollman D., Rebello N., Hogg K, (2001), Quantum Mechanics for Everyone: Hands-On Activities Integrated with Technology, <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/2001/VQM-AJP5.pdf>

Zollman D., (1999), Hands-on Quantum Mechanics, Proceedings of ICPE-GIREP International Conference 1998, Duisburg, Germany

Γ.Θ. Καλκάνης, (2002), Η μετακλασική φυσική (και) στην εκπαιδευτική διαδικασία - Μια απόπειρα / πρόταση / εφαρμογή επαναπροσέγγισης της εκπαιδευτικής προσομοίωσης και οπτικοποίησης του μικροκόσμου, (προσκεκλημένη κεντρική ομιλία), 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο για τη Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Ρέθυμνο

Κοντογεωργίου Α., Κώτσης Κ., Μικρόπουλος Τ., (2004), Οπτικές και νοητικές αναπαραστάσεις για την κατανόηση της δομής της ύλης, 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα 26-28 Νοεμβρίου 2004

Νταλαούτη Π., Τσαπαρλής Γ., (2004) Επιδιώκοντας την αποφυγή προσκόλλησης στο ατομικό μοντέλο του Bohr: Διδασκαλία ενός κβαντομηχανικού μοντέλου του ατόμου στο Δημοτικό Σχολείο, 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα 26-28 Νοεμβρίου 2004

Παπαφώτης Γ., Τσαπαρλής Γ., (2004) Μοντέλα ατομικής δομής στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση, 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα 26-28 Νοεμβρίου 2004

Σταύρου, Δ., Χατζηδάκη, Π., Καλκάνης, Γ. Θ., (1999), Μια ποιοτική Διδακτική Προσέγγιση βασικών εννοιών της Κβαντομηχανικής σε ένα μαθησιακό περιβάλλον βασισμένο στη χρήση του Η/Υ, 1ο Διεθνές Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Υπουργείο Παιδείας και Πολιτισμού, Λευκωσία, Κύπρος

Στεφανή Χ., Τσαπαρλής Γ., (2004), Φαινομενογραφική ανάλυση των ιδεών φοιτητών χημείας σε θέματα κβαντικής χημείας, 4<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Αθήνα 26-28 Νοεμβρίου 2004

Χατηδάκη 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<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαΐου 1998

## **Βιβλία**

Αλεξάκης Ν., Αμπατζής Σ., Γκουγκούσης Γ., Κουντούρης Β., Μοσχοβίτης Ν., Οβαδίας Σ., Πετρόχειλου Κ., Σαμπράκος Μ., Α.Ψαλίδας, (2000), “Φυσική Β' Τάξης Ενιαίου Λυκείου”, ΟΕΔΒ, Αθήνα

Βλάχου Ι, Γραμματικάκης Ι., Καραπαναγιώτης Β., Κόκκοτας Π., Περιστερόπουλος Π., Τιμοθέου Γ., (2000), “Φυσική Α' Τάξης Ενιαίου Λυκείου”, ΟΕΔΒ, Αθήνα

Γεωργακάκος Π., Σκαλωμένος Α., Σφαρνάς Ν., Χριστακόπουλος Ι. (2002), “Φυσική Γενικής Παιδείας Γ' Τάξης Ενιαίου Λυκείου”, Έκδοση Β', ΟΕΔΒ, Αθήνα

Ιωάννου Α., Ντάνος Ι., Πήπτας Α., Ράπτης Σ.,(1999), “Φυσική Θετικής και Τεχνολογικής Κατεύθυνσης Ενιαίου Λυκείου”, ΟΕΔΒ, Αθήνα

Κακουλίδου Μ., Μαυρομιχαλάκη Ε., Ροζάκη – Μαυρούλη Ε., Εισαγωγή στην ατομική φυσική, 2<sup>η</sup> έκδοση, 1991

Καλκάνης Γ., (2002), Εκπαιδευτική Φυσική – Από το μικρόκοσμο στο Μακρόκοσμο, Ηλεκτρομαγνητισμός – Κυματική – Πυρηνική, Αθήνα

Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α.(1999), “Χημεία Α' Τάξης Ενιαίου Λυκείου”, Έκδοση Β', ΟΕΔΒ, Αθήνα

Λιοδάκης Σ., Γάκης Δ., Θεοδωρόπουλος Δ., Θεοδωρόπουλος Π., Κάλλης Α.(1999), “Χημεία Γ' Τάξης Ενιαίου Λυκείου”, Έκδοση Β', ΟΕΔΒ, Αθήνα

Feynman R., Έξι εύκολα κομμάτια, Αθήνα, 1998, Κάτοπτρο (μετάφραση Αθηνά Τσαγκογέωργα), σελ. 164

Οικονόμου Ε, Η φυσική σήμερα – Αυτός ο κόσμος ο μικρός ο μέγας Ι, τα θεμέλια, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, 4<sup>η</sup> έκδοση , 2000, σελ. 156

Al-Khalili J., Quantικά Παράδοξα, Εκδόσεις Τραυλός, 2005

Bicalho A., Fetman S., Maxscript and the SDK for 3D studio max, SYBEX, 2000

Emilio Segré, Από τις ακτίνες Χ έως τα Κουάρκ, σελ 146, Εκδόσεις Δίαυλος, 1997

Hugh D. Young, Πανεπιστημιακή Φυσική - Τόμος Β', σελ 1115, Εκδόσεις Παπαζήση, 1992

Melissinos A., Napolitano J., Experiments in Modern Physics, Academic Press, 2<sup>nd</sup> Edition, 2003

Murdock K., 3ds max 5 Bible, Wiley Publishing Inc, 2003

Phillips A., Introduction to Quantum Mechanics, John Wiley and Sons Ltd, 2003