



## **Από τα Επιστημονικά στα Εκπαιδευτικά Πρότυπα και Πειράματα – Κύματα και Φως: Ανάπτυξη λογισμικού, πρόταση διδασκαλίας, εφαρμογή, αξιολόγηση, συμπεράσματα**

**Βουδούκης Ν., Καλκάνης Γ.**

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος, Π.Τ.Δ.Ε,  
Πανεπιστήμιο Αθηνών,  
nvoudoukis@primedu.uoa.gr, kalkanis@primedu.uoa.gr, <http://micro-kosmos.uoa.gr>

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία εκπαιδευτική πρόταση – έρευνα σχετικά με τη μελέτη των κυμάτων και του φωτός. Βασίζεται σε εκπαιδευτικό λογισμικό που περιλαμβάνει μέσα πολύμορφης επικοινωνίας ενταγμένα σε οθόνες δημιουργημένες στο πρόγραμμα Front Page. Το λογισμικό περιλαμβάνει επίσης προσομοιώσεις διερευνητικού τύπου – με δυνατότητα αλλαγής παραμέτρων - που έχουν σχεδιαστεί και δημιουργηθεί σε Visual Basic 6.0 αποκλειστικά στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών. Απευθύνεται σε φοιτητές, αλλά και σε μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης. Πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του λογισμικού κατά τη διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2007-2008 σε 72 φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών. Συμπληρώθηκαν από τους φοιτητές ερωτηματολόγια (pre, post, final tests) για την αξιολόγηση της προσπάθειας και την εξαγωγή συμπερασμάτων.

### **Εισαγωγή**

Κύρια επιδίωξη της παρούσας εκπαιδευτικής πρότασης αποτελεί ο μετασχηματισμός των επιστημονικών προτύπων για κάποιες ιδιότητες των κυμάτων και του φωτός σε εκπαιδευτικά πρότυπα και πειράματα, αποκλειστικά με τη βοήθεια λογισμικού και τη χρήση υπολογιστών. Επίσης αναδεικνύεται και επισημαίνεται η διττή φύση του φωτός, κυματική και σωματιδιακή. Αρκετές από τις ιδιότητες των κυμάτων και του φωτός δεν είναι εύκολο κάποιος να τις μελετήσει και να τις κατανοήσει με ευχέρεια χρόνου και δυνατότητα επαναληψιμότητας, κάνοντας πειράματα στο κλασικό εργαστήριο. Ακόμη δεν είναι τόσο προφανές ότι οι ιδιότητες των κυμάτων (π.χ. ανάκλαση, διάθλαση, συμβολή, περίθλαση) και του φωτός αποτελούν όμοια φαινόμενα. Η πραγματοποίηση ασκήσεων εργαστηριακών με τη βοήθεια λογισμικού που προσομοιώνει τα εν λόγω φαινόμενα, έχοντας λάβει υπόψη τον μαθηματικό φορμαλισμό που τα συνοδεύει, αποτελεί μία λύση στα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω και αποτελούν εμπόδιο στην βαθύτερη κατανόηση εννοιών και φαινομένων.

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). 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. Η οπτικοποίηση 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). 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).

### **Εκπαιδευτική Μεθοδολογία**

Η εκπαιδευτική μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της εκπαιδευτικής πρότασης είναι η ιστορικά καταξιωμένη επιστημονική / ερευνητική μέθοδος, που όχι μόνο απετέλεσε - και αποτελεί - το εργαλείο του ανθρώπου / ερευνητή / επιστήμονα για την κατανόηση και περιγραφή του κόσμου του και εξοικειώνει / ασκεί το μαθητή με / στην επιστημονική σκέψη, αλλά - τελικά - και οριοθετεί (μαζί με την επιστημονική δεοντολογία) και αυτή την ίδια την επιστήμη από τις άλλες γνωσιακές περιοχές. Η επιστημονική / ερευνητική μέθοδος έχει διαμορφωθεί κατάλληλα σε εκπαιδευτική μέθοδο με τα παρακάτω βήματα:

1. Έναυσμα ενδιαφέροντος – Παρατηρώ, Πληροφορούμαι, Ενδιαφέρομαι
2. Διατύπωση Υποθέσεων – Προβληματίζομαι, Συζητώ, Υποθέτω
3. Πειραματισμός – Ερευνώ, Ενεργώ, Πειραματίζομαι
4. Διατύπωση Θεωρίας – Συμπεραίνω, Καταγράφω, Ερμηνεύω
5. Συνεχής Έλεγχος – Εμπεδώνω, Γενικεύω

### **Η ταυτότητα της έρευνας**

Η διδακτική παρέμβαση-έρευνα πραγματοποιήθηκε σε τριτοετείς φοιτητές και φοιτήτριες του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών, κατά τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο του 2008. Στην έρευνα συμμετείχαν 72 φοιτητές και φοιτήτριες, χωρισμένοι σε δύο τμήματα των 36 ατόμων το καθένα. Σε κάθε εργαστηριακό τμήμα υπήρχαν 12 ομάδες των 3 φοιτητών/φοιτητριών η κάθε μία.

Η κάθε ομάδα εργάστηκε επί δύο ώρες, ακολουθώντας τα πέντε βήματα της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας. Δόθηκε ένα φύλλο εργασίας και αναφοράς για κάθε ομάδα. Είχε προηγηθεί τεστ (pre-test) πριν την πραγματοποίηση της άσκησης και ακολούθησε τεστ ελέγχου (post-test) μία εβδομάδα αργότερα και τελικό τεστ (final test) περίπου δύο μήνες μετά. Το pre-test και το post-test περιελάμβαναν 10 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής με 4 απαντήσεις (α, β, γ, δ,) για κάθε μία ερώτηση. Η στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των απαντήσεων έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS (κάποια στάδια της ανάλυσης είναι σε εξέλιξη).

Οι τριτοετείς φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δημοτικής Εκπαίδευσης του Πανεπιστημίου Αθηνών οι οποίοι παρακολουθούν το εργαστήριο και συμμετείχαν στην έρευνα είχαν διδαχθεί στο δεύτερο έτος των σπουδών τους δύο εξαμηνιαία μαθήματα φυσικής. Το μάθημα του χειμερινού εξαμήνου αναφέρεται στις θεωρίες που υπάρχουν ως σήμερα και καλύπτουν όλους τους κλάδους της φυσικής, ενώ το μάθημα του εαρινού εξαμήνου. Το μάθημα του εαρινού εξαμήνου αναφέρεται στα φαινόμενα που παρατηρούνται και εξηγούνται από τις θεωρίες. Συνεπώς οι φοιτητές είχαν διδαχθεί τις θεωρίες και τα φαινόμενα τόσο των κυμάτων όσο και του φωτός. Η διδασκαλία, βέβαια, είχε γίνει με έμφαση στην ποιοτική ερμηνεία και όχι στον μαθηματικό φορμαλισμό καθώς οι φοιτητές αφενός δεν είχαν το απαραίτητο μαθηματικό υπόβαθρο και αφετέρου οι φυσικές επιστήμες δεν είναι το κύριο και αποκλειστικό αντικείμενο των σπουδών τους. Με βάση αυτή την παρατήρηση πιστεύουμε ότι η παρούσα διδακτική πρόταση θα ήταν κατάλληλη και για μαθητές της ύστερης δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (λυκείου).



### Δομή του λογισμικού

Η διαδικασία των πέντε βημάτων της διδακτικής μεθόδου υποστηρίζεται από λογισμικό - υλικό το οποίο έχει αναπτυχθεί με τη χρήση του προγράμματος “Front Page”. Κάθε ομάδα φοιτητών (3 φοιτητές) πηγαίνει στον Η/Υ του εργαστηρίου που αντιστοιχεί σε αυτήν. Στον Η/Υ υπάρχει το υποστηρικτικό υλικό – λογισμικό. Με βάση οδηγίες – φύλλα εργασίας που δίνονται σε μορφή φυλλαδίου οι φοιτητές χειρίζονται το υλικό. Στα φύλλα εργασίας τα οποία παραδίδονται στο τέλος καταγράφουν τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις τους.

Αναλυτικότερα σχόλια για κάθε βήμα της δομής του λογισμικού παρατίθενται στη συνέχεια.

α) Έναυσμα Ενδιαφέροντος: Προβολή του έναυσματος ενδιαφέροντος των εκπαιδευόμενων μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Οι ομάδες ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται και στο φύλλο εργασίας, παρατηρούν η κάθε μία στον ηλεκτρονικό υπολογιστή της το έναυσμα της διδακτικής ενότητας. Στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός καλεί τον εκπρόσωπο μίας από τις ομάδες να περιγράψει σε όλο το τμήμα το έναυσμα.

β) Διατύπωση Υποθέσεων: Συζήτηση ανά ομάδα. Οι εκπαιδευόμενοι συζητούν στο πλαίσιο της ομάδας τους και διατυπώνουν τις υποθέσεις τους (και γραπτά στο φύλλο εργασίας) με άξονα τις ερωτήσεις που προτείνονται από το λογισμικό. Μετά τη συζήτηση ανά ομάδες ο εκπαιδευτικός καλεί μία από τις ομάδες να ανακοινώσει στο τμήμα τις υποθέσεις που κατέγραψε στο φύλλο εργασίας της και ακολούθως ρωτά αν κάποια ομάδα έχει διατυπώσει διαφορετικές υποθέσεις, οπότε και τις ανακοινώνει. Στο τέλος της συζήτησης ο εκπαιδευτικός συνοψίζει τις υποθέσεις που αναφέρθηκαν τονίζοντας ιδιαίτερα εκείνες που σχετίζονται και με τους διδακτικούς στόχους της ενότητας.

γ) Πειραματισμός. Εκτέλεση πειραμάτων από τους εκπαιδευόμενους. Τα πειράματα βασίζονται στην αντίστοιχη θεωρία, (κύματα και φως) και παρουσιάζονται -μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή - με τη βοήθεια του λογισμικού ως προγράμματα προσομοίωσης, με βάση τις οδηγίες του φύλλου εργασίας. Υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής παραμέτρων, επανάληψης και αποθήκευσης δεδομένων και σχημάτων.

Στο βήμα αυτό εκτελούν το πείραμα με βάση τις οδηγίες του φύλλου εργασίας και καταγράφουν τις παρατηρήσεις τους σ’ αυτό. Μετά την εκτέλεση του πειράματος, ο εκπαιδευτικός καλεί και πάλι μία από τις ομάδες να ανακοινώσει στο τμήμα τις παρατηρήσεις της και δίνει την ευκαιρία σε ομάδες με διαφορετικές παρατηρήσεις να τις ανακοινώσουν επίσης. Στη συνέχεια, ο εκπαιδευτικός θέτει προς όλους τους εκπαιδευόμενους ερωτήσεις ερμηνείας της φυσικής διαδικασίας που παρατηρήθηκε στο πείραμα.

δ) Διατύπωση Συμπερασμάτων. Διατύπωση συμπερασμάτων για τις φυσικές διαδικασίες των πειραμάτων με βάση τις αντίστοιχες θεωρίες. Οι εκπαιδευόμενοι ανά ομάδα καταγράφουν τα συμπεράσματά τους. Στη συνέχεια ο εκπαιδευτικός τους καλεί να τα ανακοινώσουν με τον τρόπο που αυτό πραγματοποιείται και στα προηγούμενα βήματα της εκπαιδευτικής μεθοδολογίας και τέλος τους καλεί να ελέγξουν τα συμπεράσματά τους ως προς αυτά που περιλαμβάνονται στο λογισμικό.

ε) Εφαρμογή και Γενίκευση. Εφαρμογή των συμπερασμάτων σε άλλες περιπτώσεις. Οι εκπαιδευόμενοι καλούνται να εφαρμόσουν τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν κατά την πορεία της διδασκαλίας σε άλλες περιπτώσεις, που επίσης προβλέπονται από το λογισμικό.

#### *Αναλυτικότερη περιγραφή-παρουσίαση των προσομοιώσεων του πειραματικού μέρους*

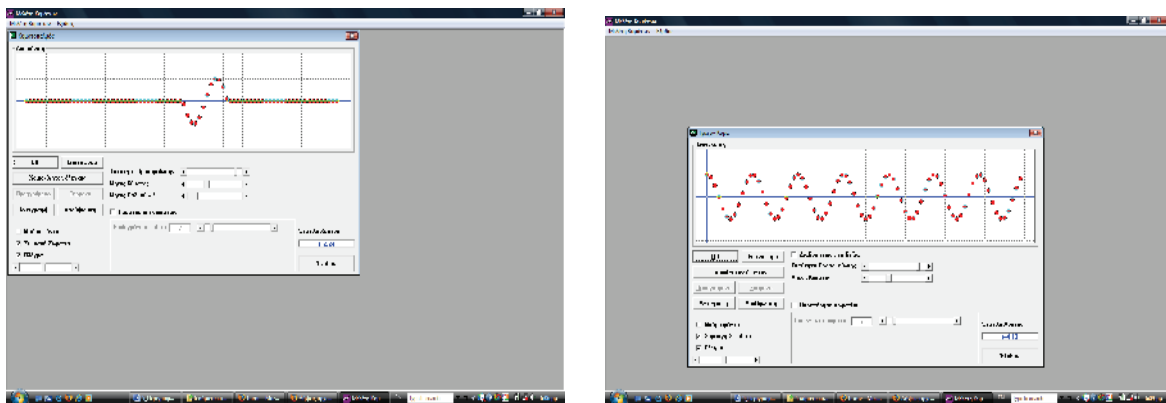
Η προτεινόμενη άσκηση/θεματική ενότητα περιλαμβάνει δύο υποενότητες – μέρη. Αυτά είναι τα εξής: Μελέτη κυμάτων (μέρος Α) και Φως - Οπτική (μέρος Β).

Στο Μέρος Α (Μελέτη κυμάτων) οι δραστηριότητες είναι με τη σειρά οι εξής:

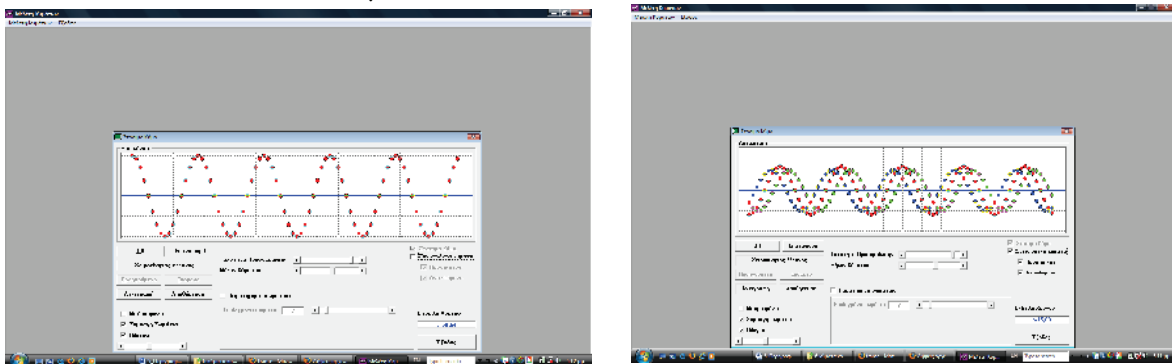
1.κυματοπαλμός, 2.τρέχον κύμα, 3.συμβολή κυμάτων, 4.στάσιμο κύμα, 5.περίθλαση κυμάτων.

Ενδεικτικές εικόνες της άσκησης καθώς και των προσομοιώσεων παρατίθενται στη συνέχεια

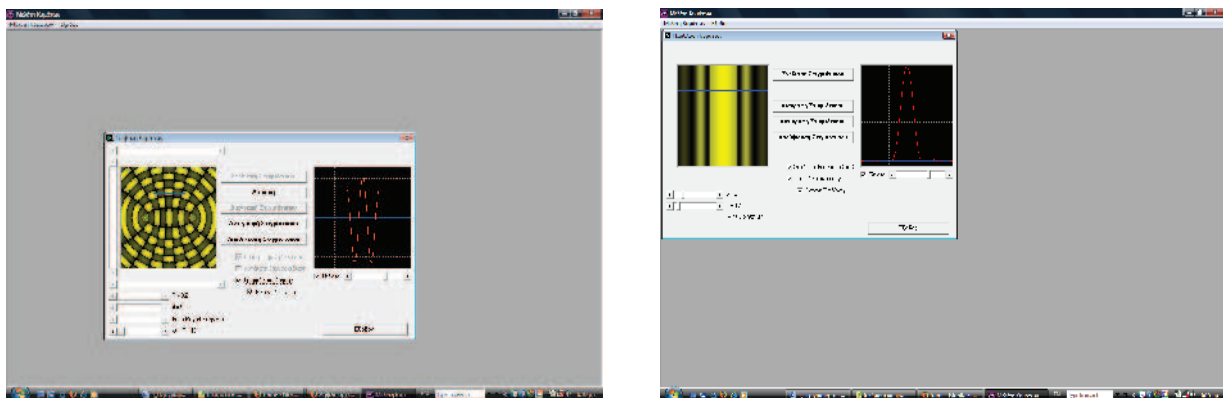
Σχήμα 1: Προσομοίωση 1.κυματοπαλμός, Προσομοίωση 2.τρέχον κύμα



Σχήμα 2: Προσομοίωση 4(α).στάσιμο κύμα Προσομοίωση 4(β).στάσιμο κύμα με τα συνιστώσα κύματα



Σχήμα 3: Προσομοίωση 3.συμβολή κυμάτων, Προσομοίωση 5.περίθλαση κυμάτων



Στο Μέρος Β (Φως - Οπτική) αναλύονται με τη βοήθεια των προσομοιώσεων η ανάκλαση και η διάθλαση. Οι υποπεριπτώσεις που εξετάζονται αναφέρονται στη συνέχεια.

"Ανάκλαση". Οι δραστηριότητες είναι οι εξής:

- 1.κατοπτρική ανάκλαση φωτός, 2.διάχυση φωτός, 3.ανάκλαση σε πρίσμα

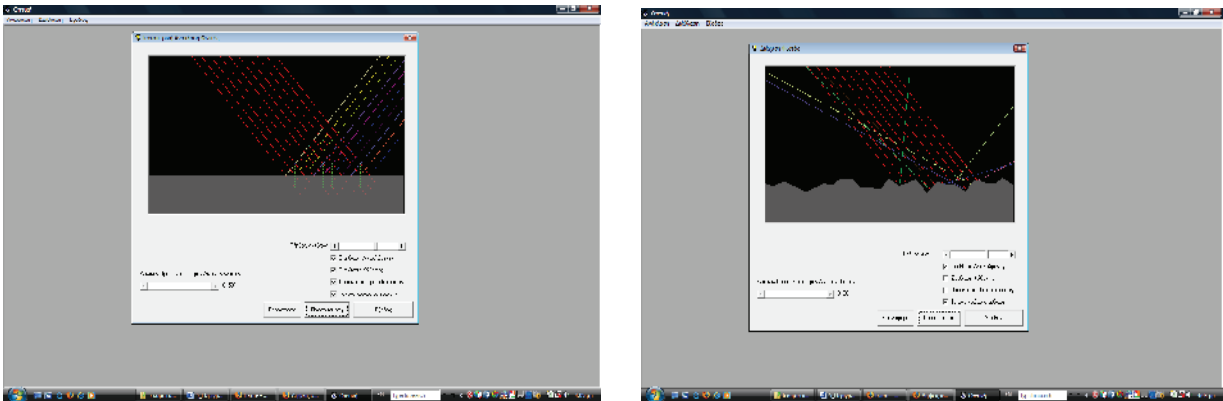
"Διάθλαση". Οι δραστηριότητες είναι οι εξής:

- 1.διάθλαση σε λεία επίπεδη επιφάνεια (I), 2.διάθλαση σε λεία επίπεδη επιφάνεια (II),
3. διάθλαση σε μη λεία επιφάνεια, 4. διάθλαση σε πρίσμα.

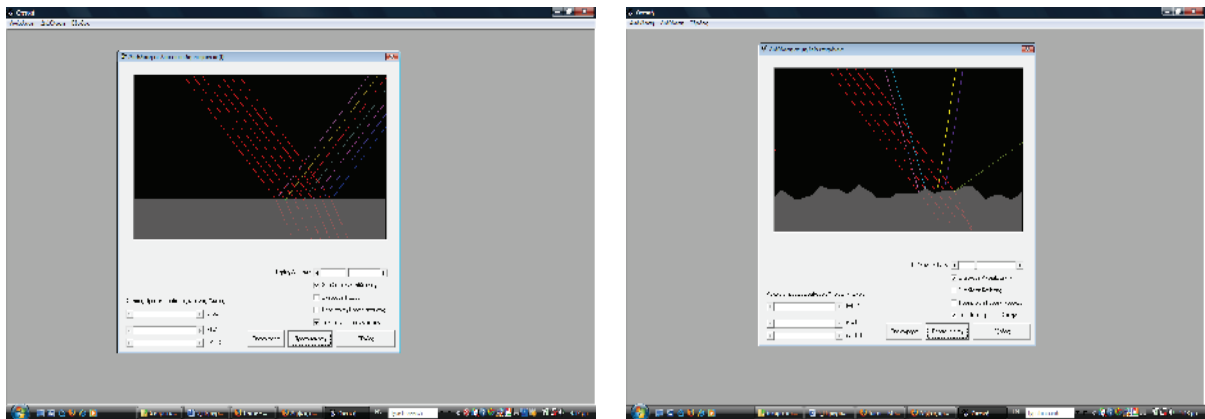
Ενδεικτικές εικόνες της άσκησης καθώς και των προσομοιώσεων παρατίθενται στη συνέχεια.



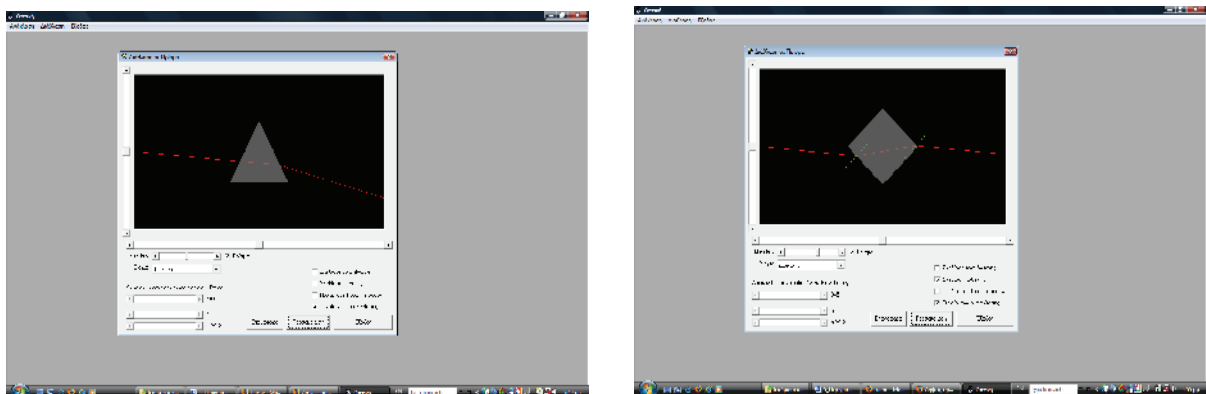
Σχήμα 4: Προσομοίωση 1. κατοπτρική ανάκλαση φωτός Προσομοίωση 2. διάχυση φωτός



Σχήμα 5: Προσομοίωση 4. Διάθλαση σε λεία επίπεδη επιφάνεια(I)  
Προσομοίωση 6. Διάθλαση σε μη λεία επιφάνεια



Σχήμα 6: Προσομοίωση 7α. Διάθλαση σε πρίσμα  
Προσομοίωση 7β. Διάθλαση σε διαμάντι (με σχεδίαση κάθετης)



### Αποτελέσματα και σχόλια

Τα αποτελέσματα της διδακτικής παρέμβασης είναι πολύ ικανοποιητικά, καθώς η βελτίωση στις απαντήσεις των φοιτητών είναι περίπου κατά μέσο όρο 3 μονάδες σε όλες σχεδόν τις ερωτήσεις. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίστηκε στην κατανόηση του φαινομένου της περίθλασης και της εξάρτησής του από το μήκος κύματος και το μέγεθος της σχισμής ή της οπής ή του εμποδίου

(ερώτηση 5), όπου το ποσοστό των σωστών απαντήσεων ήταν αρχικά 25% και μετά 76,39%. Κάποιες ερωτήσεις (όπως οι 7, 8 ) συγκέντρωσαν υψηλό ποσοστό (περίπου 80%) ορθών απαντήσεων εξαρχής. Γενικά όμως μπορεί να ειπωθεί ότι διευκρινίστηκαν με ικανοποιητικό τρόπο η κυματική φύση του φωτός καθώς και φαινόμενα που άπτονται της γεωμετρικής οπτικής.

### Αποτελέσματα ποσοτικής έρευνας

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της ποσοτικής έρευνας παρατίθενται στη συνέχεια (Πίνακας 1). Οι 10 ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής (με 4 επιλογές η κάθε μία) ήταν ίδιες στο pre test και στο post test. Η σωστή απάντηση σε κάθε ερώτηση βαθμολογήθηκε με 1 και η λάθος με 0. Συνεπώς το άριστα ήταν το 10. Ο μέσος όρος της βαθμολογίας στο pre test ήταν 6,65 και στο post test 9,47 με άριστα το 10. Η στατιστική επεξεργασία στο final test δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα. Σύμφωνα με τις πρώτες εκτιμήσεις ο μέσος όρος είναι λίγο υψηλότερος απ' αυτόν του post test, γεγονός αρκετά ικανοποιητικό και ενθαρρυντικό. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι οι φοιτητές διάβασαν και προετοιμάστηκαν πριν γράψουν το final test.

**Πίνακας 1**

Σωστές απαντήσεις:	Ερώτηση 1	Ερώτηση 2	Ερώτηση 3	Ερώτηση 4	Ερώτηση 5	Ερώτηση 6	Ερώτηση 7	Ερώτηση 8	Ερώτηση 9	Ερώτηση 10
pre test	45	49	54	44	18	41	67	58	51	52
pre test ποσοστό %	62,50	68,06	75,00	61,11	25,00	56,94	93,06	80,56	70,83	72,22
post test	67	70	71	68	55	69	72	71	69	70
post test ποσοστό %	93,06	97,22	98,61	94,44	76,39	95,83	100,00	98,61	95,83	97,22

Ενδεικτικά παρατίθενται οι ερωτήσεις 1-5 του ερωτηματολογίου που χρησιμοποιήθηκε.

1. Στάσιμο κύμα ονομάζεται το αποτέλεσμα της συμβολής δύο κυμάτων:

- α. διαφορετικής συχνότητας και του ίδιου πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο μέσο με αντίθετες κατευθύνσεις
- β. της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο μέσο με αντίθετες κατευθύνσεις
- γ. της ίδιας συχνότητας και του ίδιου πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο μέσο προς την ίδια κατεύθυνση
- δ. της ίδιας συχνότητας και διαφορετικού πλάτους που διαδίδονται στο ίδιο μέσο προς την ίδια κατεύθυνση

2. Στο τρέχον κύμα, σε αντίθεση απ' ότι συμβαίνει στο στάσιμο κύμα:

- α. μεταφέρεται ενέργεια στο χώρο και δεν μένει στην περιοχή ταλάντωσης των σημείων
- β. υπάρχουν σημεία τα οποία μένουν μόνιμα ακίνητα



- γ. το πλάτος ταλάντωσης των υλικών σημείων εξαρτάται από τη θέση των σημείων  
δ. η φάση σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή δεν μεταβάλλεται με την απόσταση από την πηγή

3. Το φαινόμενο της συμβολής συμβαίνει:

- α. μόνο στα εγκάρσια κύματα  
β. μόνο στα διαμήκη κύματα  
γ. μόνο στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα  
δ. σε όλα τα παραπάνω

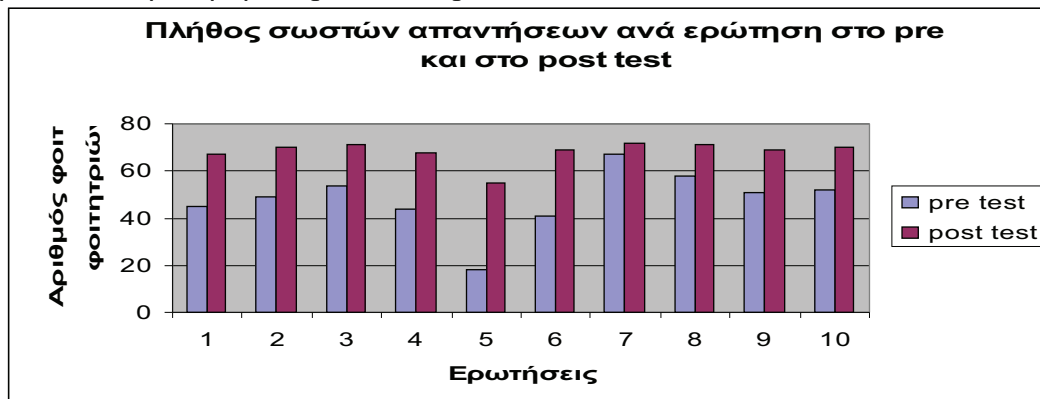
4. Στην επιφάνεια ενός υγρού δύο πηγές κυμάτων εκτελούν κατακόρυφη ταλάντωση με το ίδιο πλάτος  $A$ , την ίδια συχνότητα και την ίδια φάση. Το πλάτος της ταλάντωσης (κατ' απόλυτη τιμή) ενός τυχαίου σημείου της επιφάνειας του υγρού, στο οποίο φτάνουν τα δύο κύματα:

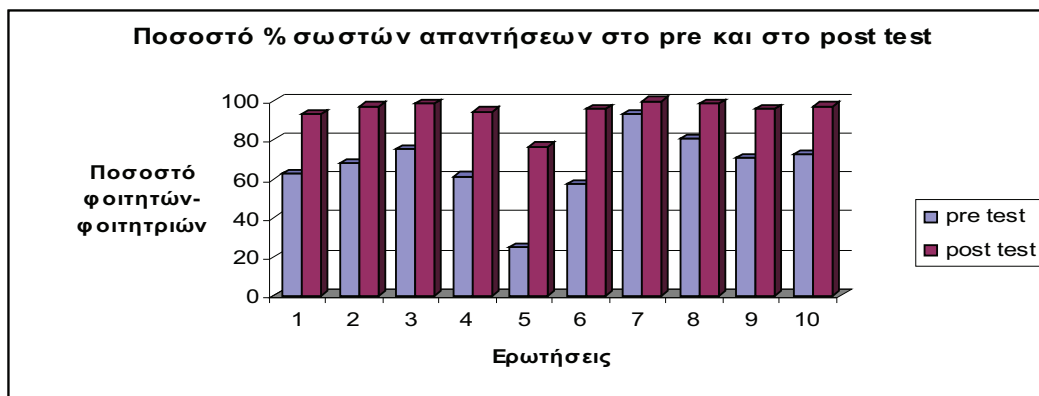
- α. είναι  $2A$   
β. ποικίλει από μηδέν έως  $A$   
γ. ποικίλει από μηδέν έως  $2A$   
δ. ποικίλει από  $A$  έως  $2A$

5. Το φαινόμενο της περίθλασης γίνεται περισσότερο έντονο αν:

- α. ελλατωθεί το μήκος κύματος ή ελλατωθεί το μέγεθος της σχισμής (ή της οπής ή του εμποδίου)  
β. ελλατωθεί το μήκος κύματος ή αυξηθεί το μέγεθος της σχισμής (ή της οπής ή του εμποδίου)  
γ. αυξηθεί το μήκος κύματος ή αυξηθεί το μέγεθος της σχισμής (ή της οπής ή του εμποδίου)  
δ. αυξηθεί το μήκος κύματος ή ελλατωθεί το μέγεθος της σχισμής (ή της οπής ή του εμποδίου)

Στα ακόλουθα ραβδογράμματα φαίνεται α) το πλήθος και β) το ποσοστό των σωστών απαντήσεων ανά ερώτηση στο pre και στο post test.





### Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι η επίδοση των φοιτητών-φοιτητριών σε ερωτήσεις περιγραφής και ερμηνείας φαινομένων σχετικά με τα κύματα και το φως υπερέιχε σημαντικά μετά την πραγματοποίηση της διδακτικής παρέμβασης. Αποσαφηνίστηκαν οι έννοιες του στάσιμου και τρέχοντος κύματος, έγιναν κατανοητά από περισσότερους φοιτητές τα φαινόμενα της συμβολής, περίθλασης, διάχυσης, διάθλασης, ανάκλασης του φωτός. Επιστημάνθηκαν εκδηλώσεις των φαινομένων αυτών στην καθημερινή ζωή. Αναδείχτηκε η κυματική φύση του φωτός και αναφέρθηκε η άποψη της σύγχρονης επιστήμης για τη διττή φύση του φωτός. Η προσπάθεια, σε μία πρώτη αποτίμηση, κρίνεται ως ιδιαίτερα επιτυχής. Τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης αυτής έναντι πραγματικών πειραμάτων οφείλονται στο γεγονός της μελέτης των ιδιοτήτων των κυμάτων και του φωτός με ευχέρεια χρόνου, αλλαγής παραμέτρων και δυνατότητα επαναληψιμότητας.

### Βιβλιογραφία

- Ν. Φ. Βουδούκης, Γ. Θ. Καλκάνης «Από τα Επιστημονικά στα Εκπαιδευτικά πρότυπα και πειράματα – Το “Κβαντικό Φως” στο Εκπαιδευτικό Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών» 5<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο «Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση», Ιωάννινα, Μάρτιος 2007
- Ν. Φ. Βουδούκης, Β. Δημόπουλος «"Τι, Πώς, Γιατί;" ΜεταΚλασικές –Σχετικιστικές και Κβαντικές– Έννοιες στην Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες» Ζ' Πανελλήνιο Συνέδριο «Έρευνα και Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες στα Παιδαγωγικά Τμήματα Δημοτικής Εκπαίδευσης», Αθήνα, Μάιος 2007
- Καλκάνης Γ., (2002), Εκπαιδευτική ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ, Εκπαιδευτικές εφαρμογές των Τεχνολογιών Πληροφόρησης (και) στην Εκπαίδευση στις Φυσικές Επιστήμες, 1<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα.
- Καλκάνης Γ., (2007), Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση στις-με τις ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ I. οι Θεωρίες, 1<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα.
- Καλκάνης Γ., (2007), Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση στις-με τις ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ II. τα Φαινόμενα, 1<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα.
- Γεωργακάκος, Π., Σκαλωμένος, Α., Σφαρνάς, Ν. & Χριστακόπουλος, Ι. (2000). Φυσική Γενικής Παιδείας Γ' τάξης Ενιαίου Λυκείου. Έκδοση Β, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
- Ιωάννου Α., Ντάνος Γ., Πήττας Α., Ράπτης Σ., (2001) Φυσική Θετ. κατ/νσης Γ' Εν. Λυκείου. ΟΕΔΒ, Αθήνα.





Nikolaos Voudoukis, Sarantos Oikonomidis and George Kalkanis “Hands-on Activities with LEDs and Light” HSCI2006, 3<sup>rd</sup> International Conference on Hands-on Science, University of Minho, Braga, Portugal, September 4-9, 2006

Sarantos Oikonomidis, Dimitrios Sotiropoulos, Nikolaos Voudoukis and George Kalkanis “Four Hands-on Activities Obeying the Inverse Square Law” HSCI2006, 3<sup>rd</sup> International Conference on Hands-on Science, University of Minho, Braga, Portugal, September 4-9, 2006

Nikolaos Voudoukis, George Kalkanis “Students Understanding and Teachers Education on Wave - Particle Duality — A Proposal for Scientific to Educational Models Transformation ”

ESERA conference “Research and the quality of science education”, Sweden, 2007

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

Barnea, N. (2000), “Teaching and learning about chemistry and modeling with a computer-managed modeling system”, in Gilbert, J.K. & Boulter, C. (eds.), *Developing Models in Science Education*, Dordrecht: Kluwer, pp. 307-324.

Doerr, H. (1997), “Experiment, simulation and analysis: an integrated instructional approach to the concept of force”, *International Journal of Science Education* **19**(3), pp. 265-282.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood – Robinson, V. (1994), *Making sense of Secondary Science – Research into Children’s Ideas*, London: Routledge.

Justi, R.S. & Gilbert, J.K. (2002), “Modeling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers”, *International Journal of Science Education* **24**(4), pp. 369-387.

Osborne, R.Y. & Freyberg, F. (1985), *Children learning in Science*, London: Heinemann.

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