

Διδασκαλία σε φοιτητές Π.Τ.Δ.Ε. για κύματα δύο διαστάσεων με εφαρμογές στη γεωμετρική οπτική

Μίχας Π., Γιαμουσακάκης Τ.

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Π.Τ.Δ.Ε pmichas@eled.duth.gr
Εκπαιδευτικός Μέσης Εκπαίδευσης, αποσπασμένος στο Π.Τ.Δ.Ε Δ.Π.Θ.

Το άρθρο αυτό εξετάζει τρόπους διδασκαλίας κυματικών φαινομένων σε δύο διαστάσεις. Οι έννοιες που εξετάζονται είναι: μέτωπα κύματος, ακτίνες, διάθλαση, εύρεση των διαθλώμενων μετώπων κύματος με δύο μεθόδους, διάδοση σε μέσα που μεταβάλλεται βαθμιαία η ταχύτητα, εφαρμογές της κυματικής στην εξήγηση της λειτουργίας των φακών καθώς και η μέθοδος του Huygens για τον προσδιορισμό του σχήματος του φακού που δίνει τέλεια εστίαση. Παρουσιάζονται οι δυσκολίες των φοιτητών αναφορικά με αυτά τα θέματα.

Εισαγωγή.

Η διδασκαλία θεμάτων που αφορούν τα διδιάστατα κύματα επιτρέπει την εξήγηση πολλών φυσικών φαινομένων: Διάθλαση του φωτός, λειτουργία των φακών, κροσσοί συμβολής, περίθλαση. Η εισαγωγή σ' αυτά τα θέματα προϋποθέτει μια διδασκαλία μονοδιάστατων κυμάτων σε ελατήρια. Η διδασκαλία των κυμάτων σε μονοδιάστατες περιπτώσεις έχει ιδιαίτερες δυσκολίες το μεγαλύτερο μέρος των οποίων συνοψίστηκαν από τον Whitman (2002) και θέματα σχετικά με τις δυσκολίες των φοιτητών έχουν παρουσιαστεί προηγουμένως (Εργασία 1 2004).

Η χρήση του μοντέλου των κυμάτων στη διδασκαλία της Οπτικής εξετάστηκε από την Wosilat κά (1999). Στην εργασία αυτή εξετάστηκαν οι δυσκολίες των φοιτητών ως προς την εφαρμογή του μοντέλου των κυμάτων κυρίως σε θέματα συμβολής και περίθλασης. Επιπλέον, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εργασία των Colin και Viennot (2001) που αφορά στην αντιμετώπιση των δυσκολιών της χρήσης των δύο μοντέλων (ακτίνων και κυμάτων) που χρησιμοποιούνται στην Οπτική. Η εργασία αυτή αφορά και το χρόνο που χρειάζεται ένα κύμα για την διάδοση μία πηγή μέχρι το σημείο εστίασης που δεν παρουσιάζεται συνήθως σε ένα εισαγωγικό μάθημα.

Διδασκαλία της κυματικής φύσης του φωτός

Η κυματική προσέγγιση θεωρείται από πολλούς φοιτητές ότι τους βοηθά να κατανοούν τη λειτουργία των φακών. Πολλοί φοιτητές που προέρχονται από «θετική» ή «τεχνολογική» κατεύθυνση προτιμούν να στηρίζονται στις γνώσεις του λυκείου και γι' αυτό δεν παρακολουθούν τα μαθήματα, οπότε θεωρούν ότι η κυματική θεώρηση είναι περιττή. Όμως όπως παρατήρησαν οι Harrison and Treagust (1993) το κυματικό μοντέλο μπορεί να διδαχθεί με τη χρήση κατάλληλων αναλογιών. Όμως παρατήρησαν, από 38 εγχειρίδια φυσικής για Μέση Εκπαίδευση, περιγραφόταν η διάθλαση χωρίς εξήγηση, τα 28 περιγράφουν τη διάθλαση και χρησιμοποιούσαν αναλογίες. Η πλειονότητα χρησιμοποιούσε διάφορες αναλογίες: κύματα νερού, όχημα που μεταβαίνει από ένα μέσο σε άλλο, φάλαγγα στρατιωτών που περνά από λείο δρόμο σε λάσπη. Σε πανεπιστημιακά βρέθηκε χρησιμοποιείται ευρέως η αρχή του Huygens

Στο παρελθόν έγινε χρήση της αναλογίας ήχου και φωτός ως κυματικών φαινομένων. Όμως όπως παρατηρεί ο Shapiro (1973) οι ηχητικές πηγές ταλαντώνονται ως ένα σύνολο, ενώ για τις εκτεταμένες φωτεινές πηγές το κάθε σημείο ταλαντώνεται ανεξάρτητο από τα άλλα σημεία.



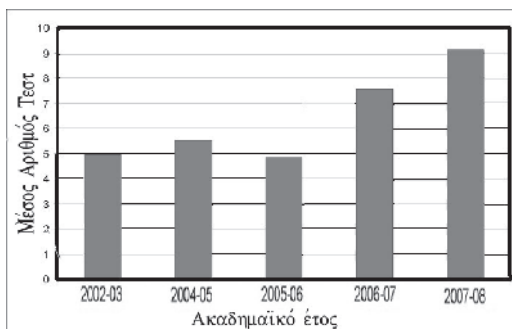
Διδακτικό μοντέλο

Στη διδασκαλία των κυμάτων εφαρμόστηκε η σειρά μαθημάτων «Μαθήματα Εισαγωγικής Φυσικής που βασίζονται στις έρευνες της McDermott και της ομάδας της διδακτικής Φυσικής του πανεπιστημίου της πολιτείας Washington (McDermot et al 1998). Σ' αυτά τα μαθήματα τα κύματα διδάσκονται μέσα από την περιγραφή της μετάδοσης με παλμούς (Arons 1990). Παρόμοιος τρόπος ακολουθήθηκε στο πρόγραμμα διδασκαλίας PSSC.

Η κυματική διδάσκεται σε φοιτητές Π.Τ.Δ. στο τρίτο εξάμηνο μέσα στα πλαίσια του μαθήματος «Αρχές Φυσικής». Οι φοιτητές που επιθυμούν, συμπληρώνουν ασκήσεις και λαμβάνουν μέρος σε τεστ.

Διδάσκονται τα ακόλουθα θέματα μέσα από αλληλεπιδραστικές διαλέξεις.

A) Διάδοση των παλμών B) Υπέρθυση παλμών. Γ) Μοντέλο για την ανάκλαση ενός παλμού. Δ) Διάδοση ενός παλμού καθώς μεταβαίνει από ένα είδος ελατηρίου σε άλλο.



Εικόνα 1 Μέσος όρος τεστ ανά φοιτητή

E) Επίδραση της ταχύτητας στο σχήμα (ύψος – εύρος) ενός παλμού. Στ) Περιοδικά κύματα.

Z) Κύματα σε δύο διαστάσεις.

Η παρακολούθηση των μαθημάτων καθώς και η συμμετοχή στα τεστ δεν είναι υποχρεωτική. Τα πρώτα χρόνια η συμμετοχή ήταν μικρή αλλά με την πάροδο του χρόνου η πλειονότητα παρακολουθεί τα περισσότερα τεστ (εικόνα 3).

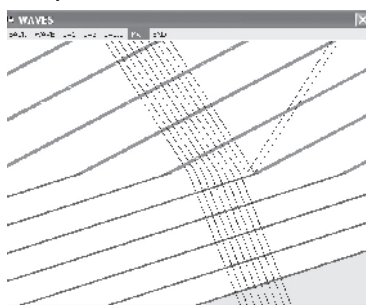
Οι διαλέξεις γίνονται με τη βοήθεια παρουσιάσεων PowerPoint και με την παρουσίαση διαδραστικών λογισμικών που αναπτύχθηκαν από τον ένα

συγγραφέα..

Οι παρουσιάσεις και τα λογισμικά έχουν αναρτηθεί σε ιστοσελίδα έτσι ώστε και οι φοιτητές που δε θέλουν να παρακολουθούν μπορούν να παρακολουθήσουν. Όπως αποδείχτηκε οι παρουσιάσεις βοήθησαν τους φοιτητές να αναπτύξουν καλύτερα τις έννοιες.

Μελέτη των ιδεών. Για τη μελέτη των ιδεών των φοιτητών χρησιμοποιήθηκαν:

A) Τα τεστ πριν από τη διδασκαλία, B) Τα τεστ μετά τη διδασκαλία Γ) Τα γραπτά της Προόδου και των Εξετάσεων. Με βάση αυτά τα δεδομένα καταγράφηκαν οι απαντήσεις των φοιτητών.



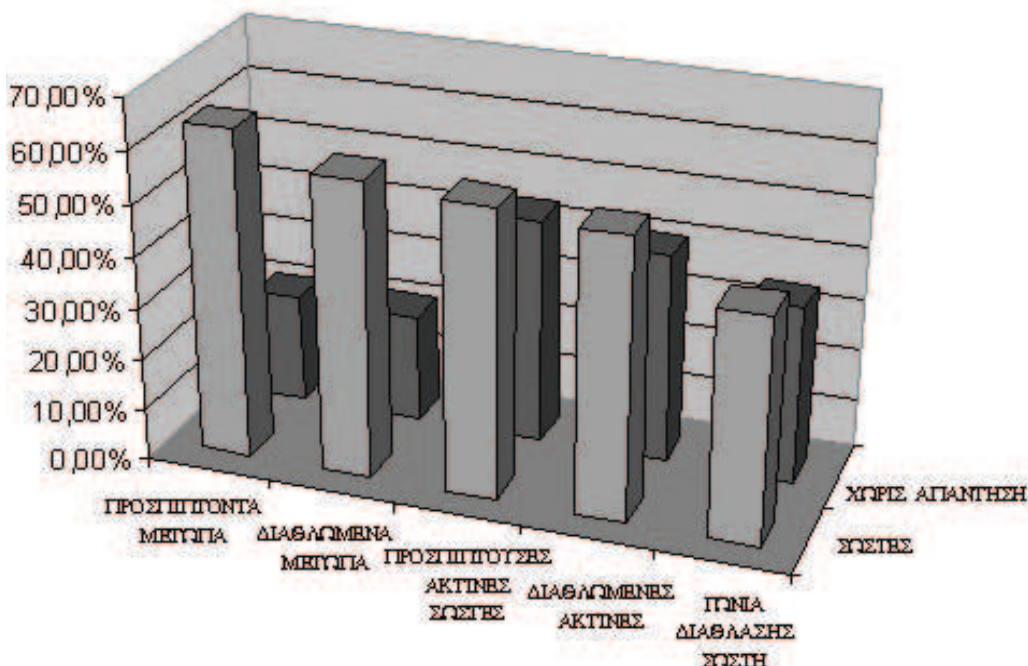
Εικόνα 2. Λογισμικό για επίδειξη κυμάτων (μέρος από την οθόνη)

Ερωτήματα: A) Κατά πόσο μπορούν να ξεχωρίσουν την ιδέα της ακτίνας από την ευθεία γραμμή και να συσχετίσουν την ακτίνα με τη διεύθυνση διάδοσης των μετώπων. B) Κατά πόσο μπορούν να συσχετίσουν το μήκος κύματος με την ταχύτητα. Γ) Ποια μέθοδος είναι καλύτερη για τη εύρεση των διαθλώμενων κυμάτων: μέθοδος διαφανειών ή μέθοδος με τη χρήση της αρχής Huygens. Δ) Αν μπορούν να συσχετίσουν την εστίαση με το ότι ο χρόνος διάδοσης από την πηγή μέχρι την εστία είναι σταθερός

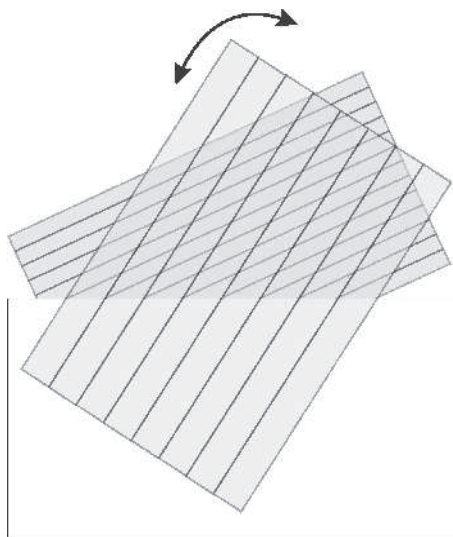
Ανάκλαση και διάθλαση των διδιάστατων μετώπων

Μετά την εξέταση των βασικών εννοιών για παλμούς και περιοδικά κύματα, έγινε η εισαγωγή των διδιάστατων κυμάτων

Μια δυσκολία που έχουν οι φοιτητές αφορά τη σχέση μεταξύ μήκους κύματος και ταχύτητας. Συνήθως οι φοιτητές θεωρούν ότι όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη η



Εικόνα 4. Ποσοστά φοιτητών που ανταποκρίθηκαν στην εύρεση μετώπων με διαφάνειες ταχύτητα. Αυτό θεωρείται ως ένα p-prim σύμφωνα με τους diSessa and Sherin. (1998). Η έννοια του μετώπου εισάγεται με κύματα στο νερό. Εύκολα μπορούν να δουν οι φοιτητές ότι τα κύματα σε μια βαθιά λεκάνη διαδίδονται ταχύτερα από ότι σε μια ρηχή. Η έννοια της ακτίνας εισάγεται ως η κατεύθυνση της διάδοσης των μετώπων. Για τις περιπτώσεις που μελετήθηκαν τα μέτωπα είναι κάθετα προς τις ακτίνες.



Εικόνα 3. Χρήση διαφανιών για την εύρεση των διαθλωμένων μετώπων

Για να υπάρξει μια ξεκάθαρη εικόνα για τα διδιάστατα κήματα χρησιμοποιήθηκε λογισμικό (εικόνα 4) που έδειχνε: α) τα προσπίπτοντα και διαθλώμενα κύματα, β) τις ακτίνες γ) το ποσοστό των ανακλώμενων και διαθλωμένων κυμάτων (με 2 τρόπους) δ) τα σωματίδια που προέβλεψε ο Νεύτωνας, οπότε μπορεί να γίνει μια αντιπαραβολή των δύο μοντέλων για την ταχύτητα στο πυκνότερο μέσο. Οι επιδείξεις με τη συσκευή κυμάτων παρουσιάζουν δυσκολίες στην επίδειξη των φαινόμενων διάθλασης.

Διαφάνειες για την αναπαράσταση της διάθλασης Όπως αναφέρθηκε τα μέτωπα κύματος δίνουν μια καλύτερη προσέγγιση για να κατανοήσουν οι φοιτητές τη διάθλαση. Όπως αναφέρθηκε ο Hobbes μελέτησε τη διάθλαση θεωρώντας μια περιστροφή των μετώπων κύματος (Shapiro 1973). Η μέθοδος είναι όμοια με αυτή που παρουσιάζεται σε μαθήματα εισαγωγικής φυσικής (McDermott 1998). Ο φοιτητής πρέπει να περιστρέψει μια



διαφάνεια μέχρι να συμπίπτουν τα μέτωπα στο δεύτερο μέσο με τα μέτωπα στο πρώτο μέσο. (εικόνα 5). Στην περίπτωση αυτή παρουσιάζονται περιοδικά κύματα ενώ ο Hobbes παρουσίαζε κάτι που θύμιζε δύο τροχούς όπως αυτούς που αναφέρουν οι Harrison και Treagust (1993).

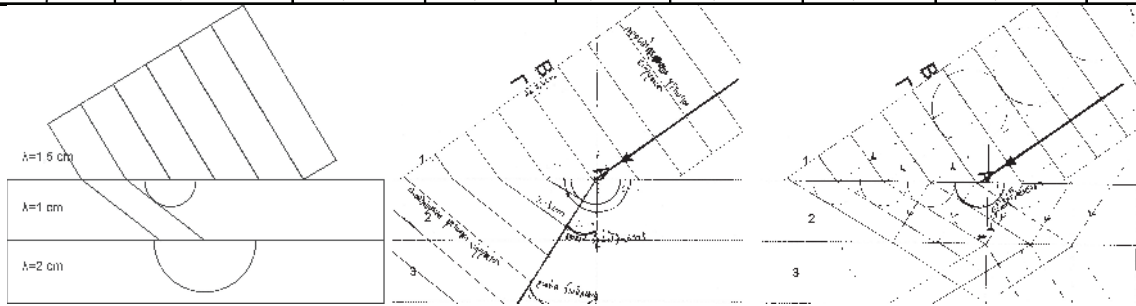
Όπως μπορεί να φανεί από την εικόνα 6 περίπου 40% των φοιτητών μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τις διαφάνειες για να βρουν α) τα προσπίπτοντα μέτωπα κύματος, β) τα διαθλώμενα μέτωπα γ) τις ακτίνες δ) τη γωνία διάθλασης.

Μέτωπα κύματος και μέθοδος Huygens

Τα διαθλώμενα μέτωπα κύματος μπορούν να προσδιοριστούν και με τη μέθοδο Huygens. Χρησιμοποιήθηκε μια μέθοδος παρόμοια με αυτή που παρουσιάζεται στο βιβλίο των Δαπόντες κ.ά. (1995). Η μέθοδος αυτή αποδείχτηκε ότι δεν ήταν δυσκολότερη από τη μέθοδο με διαφάνειες και μπορεί εύκολα να εφαρμοστεί με διάφορα μήκη κύματος και σε περισσότερα από δύο μέσα. Για την κατανόηση της χρησιμοποιήθηκε λογισμικό όπου μπορούσαν να δούνε τη δημιουργία μετώπου κύματος από τα κυματίδια, την εύρεση του διαθλώμενου και τέλος την ορική γωνία πρόσπτωσης.

Από 57 φοιτητές που χρησιμοποίησαν τη μέθοδο Huygens με 3 μέσα όπου στο 3^ο μέσο υπήρχε ολική ανάκλαση έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα (εικόνα 8):

	Σε ποιο μέσο η μεγαλύτερη ταχύτητα;	Μέτωπα στο 2ο	Μέτωπα στο 3ο	Ακτίνες στο 1ο	ακτίνες στο 2ο	Ακτίνες στο 3ο	Γωνίες διάθλασης: 2ο μέσο	Γωνίες διάθλασης: 3ο μέσο
Σωστά	54,39%	47,37%	45,61%	52,63%	52,63%	42,11%	29,82%	31,58%
λάθος	7,02%	31,58%	3,51%	42,11%	43,86%	5,26%	8,77%	8,77%
Δεν απάντησαν	38,60%	17,54%	38,60%	5,26%	3,51%	52,63%	61,40%	59,65%

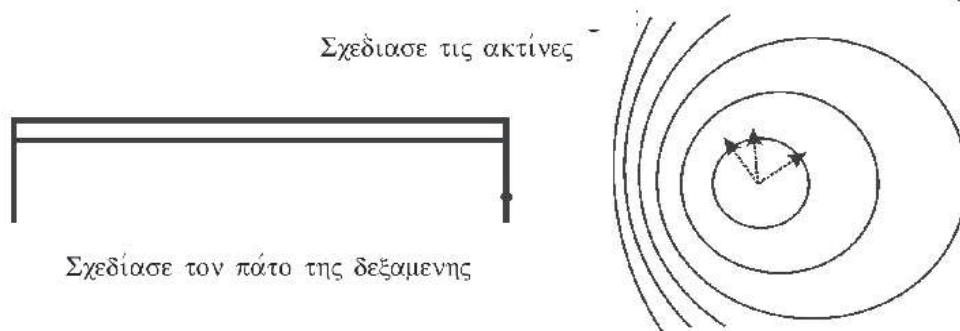


Εικόνα 5. Ερώτημα για εύρεση διαθλώμενων μετώπων με μέθοδο Huygens

Όπως φαίνεται στην εικόνα 8 χρησιμοποιήθηκε μια απλή μέθοδος (Δαπόντες κ.ά. 1995): Ένα ημικύκλιο σχεδιάστηκε στο άκρο ενός μετώπου και από το επόμενο σχεδιάστηκε μια εφαπτόμενη. Τα άλλα μέτωπα σχεδιάζονται παράλληλα. Στην περίπτωση ολικής ανάκλασης υπήρχε μεγαλύτερη δυσκολία: μόνο ένας φοιτητής σε 35 μπόρεσαν να απαντήσουν. Σε πιο απλό ερώτημα όπου υπήρχε διάθλαση από αργό σε γρήγορο (γωνία πρόσπτωσης 10^ο) με Α Όπως φάνηκε και από άλλα αποτελέσματα η μέθοδος Huygens εφαρμόζεται με μεγαλύτερη επιτυχία από τους φοιτητές σε σχέση με τη μέθοδο με διαφάνειες.

Βαθμιαία αλλαγή στην ταχύτητα διάδοσης.

Η περίπτωση της βαθμιαίας αλλαγής μπορεί να εμφανιστεί σε μια δεξαμενή νερού με μη σταθερό βάθος, σεισμικών κυμάτων στο εσωτερικό της γης (Εργασία 2 2002), βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης στην Ατμόσφαιρα (Εργασία 3. 2008β). Η ταχύτητα μπορεί, είτε να αυξάνει, είτε να ελαττώνεται με το βάθος.



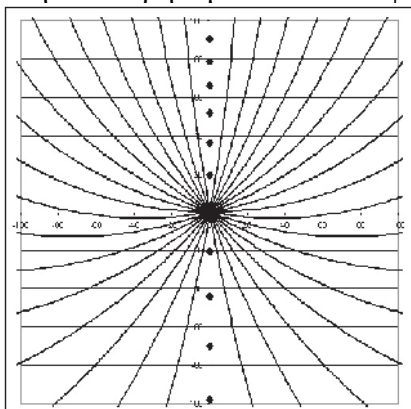
Εικόνα 6. Ερώτημα για βαθμιαία μεταβολή της ταχύτητας

Σε κατάλληλο λογισμικό η ταχύτητα μπορεί είτε να αυξάνει είτε να ελαττώνεται και επιπλέον να επιλεγεί η αρχική κατεύθυνση της ακτίνας. Το λογισμικό βοηθά αποφασιστικά στο να διαλευκανθεί ότι η ακτίνα δεν είναι αναγκαστικά ευθεία γραμμή. Αυτό ενισχύει τον φοιτητή στο να κατανοήσει ότι η ακτίνα δεν είναι παρά ένα μαθηματικό εργαλείο και ότι αυτό που ενδιαφέρει η διάδοση των κυμάτων. Οι φοιτητές που παρακολουθούν τις διαλέξεις αναμένεται να ανταποκρίνονται καλύτερα.. Ζητήθηκε από φοιτητές να σχεδιάσουν τις ακτίνες.

Από μια ομάδα φοιτητών (57) τέθηκαν τα ερωτήματα: Να βρούνε σε ποια πλευρά μεγαλώνει η ταχύτητα, β) να επιλέξουν τη σωστή δεξαμενή που δίνει τα κύματα δεξιά (εικόνα 6).

	Προς τα που αυξάνεται η ταχύτητα με βάση μέτωπα κύματος	Πώς το καταλαβαίνεις	Σχεδιάσε τις ακτίνες	Ζωγράφισε σταγόνες στη σωστή δεξαμενή	Εξήγησε την επιλογή
Σωστά	82,46%	66,67%	63,16%	77,19%	45,61%
Λάθος	3,51%	5,26%	35,09%	14,04%	21,05%
Δεν απάντησαν	14,04%	28,07%	1,75%	8,77%	35,09%

Στην δεύτερη ομάδα από 51 φοιτητές οι 13 βρήκαν το σωστό σχήμα και 8 τις σωστές ακτίνες..



Εικόνα 7. Ερώτημα για σχεδίαση μετώπων κύματος από ακτίνες

Άλλη ερώτηση αφορούσε την εύρεση των μετώπων κύματος από τις ακτίνες και δεδομένα σημεία των μετώπων (εικόνα 7) Από 110 φοιτητές οι 30 βρήκαν τα σωστά μέτωπα.

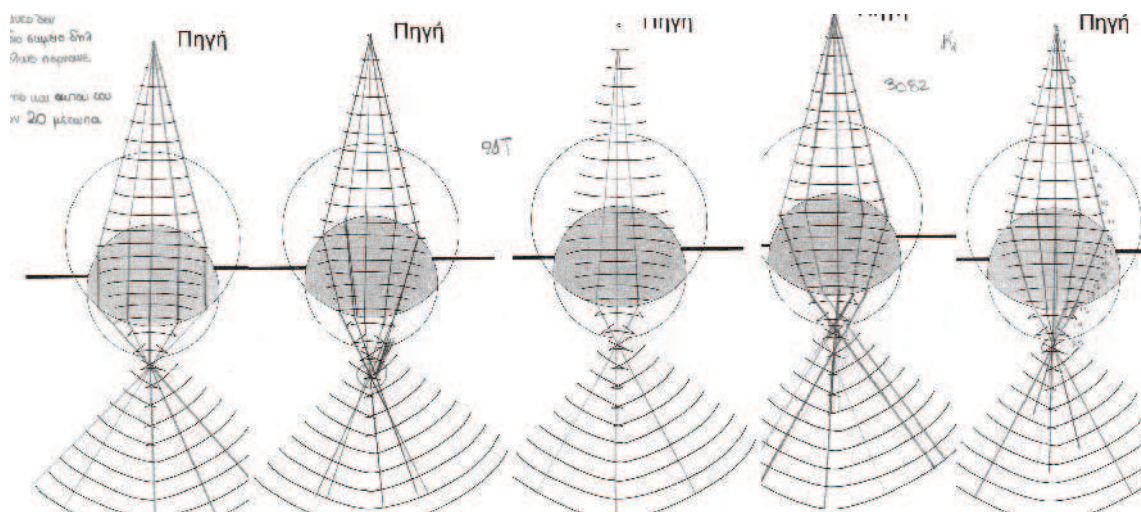
Εφαρμογή των κυματικών φαινομένων σε φακούς

Οι κυματικές ιδέες εφαρμόστηκαν στην γεωμετρική οπτική. Δηλαδή χρησιμοποιήθηκαν τα μοντέλα των κυμάτων και ακτίνων για να εξηγηθούν τα φαινόμενα της ανάκλασης και διάθλασης. Το θέμα αυτό έχει εξεταστεί από τις Colin και Viennot (2001).

Ένα θέμα που μελετήθηκε ήταν η έννοια του οπτικού μήκους. Φοιτητές ρωτήθηκαν να σχεδιάσουν μερικές ακτίνες από ένα σημείο σε άλλο και να βρούνε που περίπου



συναντιούνται μετά που περνάνε μέσα από ένα φακό. Οι φοιτητές έπρεπε να σχεδιάσουν πέντε ακτίνες αρχίζοντας από μια πηγή και να βρουνε που περίπου συναντιούνται μετά που περνάνε από το φακό. Οι φοιτητές έπρεπε να σχεδιάσουν τις ακτίνες κάθετα προς τα μέτωπα κύματος (εικόνα 8). Οι φοιτητές έπρεπε να βρουνε τον αριθμό περιόδων (που ισοδυναμούμε με τη μέτρηση του χρόνου) μεταξύ πηγής και σημείου εστίασης. Από 34 φοιτητές οι 14 μπόρεσαν να σχεδιάσουν τις εξερχόμενες ακτίνες να περνάνε από το σημείο. Αυτή ήταν η προσδοκία τους σύμφωνα με το διδασκόμενο μοντέλο των λεπτών φακών. Από τους υπόλοιπου 5 βρήκαν ότι δεν τέμνονται και οι υπόλοιποι σχεδίασαν λανθασμένα τις ακτίνες. Όσον αφορά τον αριθμό των περιόδων 18 βρήκανε μεταξύ 17 και 23 περιόδων. Είναι ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε ότι οι φοιτητές αυτοί μπόρεσαν να δούνε ότι το συνηθισμένο μοντέλο των λεπτών φακών δεν επαρκεί για την πρόβλεψη σε παχύ φακό.



Εικόνα 8. Σχεδίαση ακτινών από μέτωπα και εύρεση χρόνου από πηγή σε σημείο εστίασης.

Ταχύτητα και μήκος κύματος

Σε σχέση με τους φακούς βρέθηκε ότι αρκετοί φοιτητές απαντούν λανθασμένα ως προς το ερώτημα του αν η ταχύτητα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη μέσα στον φακό. 23 σε 56 φοιτητές απάντησαν σωστά ότι η ταχύτητα ελαττώνεται μέσα στο φακό. Αντίθετα οι 25 απάντησαν ότι αφού μικραίνει το μήκος κύματος η ταχύτητα αυξάνει. Σε περίπτωση που δινόταν αριθμητικά το μήκος κύματος (για 3 μέσα) σε 57 φοιτητές οι 31 βρήκαν σωστά που υπάρχει μεγαλύτερη ταχύτητα, 4 λάθος και 22 δεν απάντησαν.

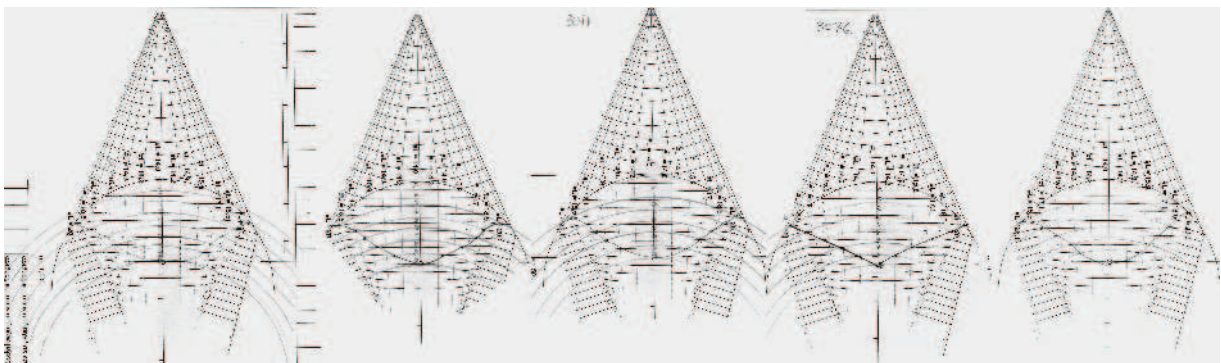
Μέθοδος Huygens για την κατασκευή τέλειου φακού

Με τη συνειδητοποίηση της κατά προσέγγιση εστίασης ενός φακού δίνεται αφορμή για την εισαγωγή στις ιδέες του Huygens για την κατασκευή ενός 'τέλειου' φακού, που μπορεί να εστιάσει σε ένα ακριβώς σημείο (Huygens 2005 fig. 119).

Ο Huygens πρότεινε να βρεθεί μια επιφάνεια με την ακόλουθη μέθοδο: Δίδεται μια επιφάνεια (π.χ. σφαιρική ή υπερβολική εκ περιστροφής) και ζητείται αφού σχεδιαστούν οι διαθλώμενες ακτίνες να βρεθεί μια επιφάνεια στην οποία θα έχουμε νέα διάθλαση, τέτοια ώστε ο χρόνος να είναι σταθερός μεταξύ πηγής και σημείου εστίασης. Αυτό επιτυγχάνεται με ειδικό λογισμικό (Huygens_Lens_Construction.exe) με βάση το οποίο ο διδάσκων έδινε στους φοιτητές φύλλα με σχεδιασμένες τις ακτίνες και τα μέτωπα κύματος από την πλευρά της πηγής και στο εσωτερικό του φακού. Οι φοιτητές χρησιμοποιώντας διαβήτη μπορούσαν να βρουνε το σχήμα του φακού. Με

κέντρο το σημείο εστίασης σχεδίαζαν διαδοχικά κυκλικά μέτωπα μέχρι το σημείο που συναντούσαν το φακός στο μεγαλύτερο πάχος. Μετρούσαν τις περιόδους από την πηγή μέχρι το σημείο εστίασης πάνω στον οπτικό άξονα (π.χ. 25 περίοδοι). Το επόμενο κυκλικό μέτωπο κύματος έτεμνε το μέτωπο κύματος στο εσωτερικό του φακού που ήταν μετά το παχύτερο σημείο.. Ο χρόνος για την αντίστοιχη ακτίνα είναι ο ίδιος με το χρόνο πάνω στον οπτικό άξονα. Με την ίδια μέθοδο, προσέθεταν νέες περιόδους σχεδιάζοντας τους επόμενους κύκλους έτσι ώστε να τέμνουν τα επόμενα μέτωπα κύματος σε σημεία που να δίνουν τον ίδιο χρόνο. Τα σχήματα που έδωσαν οι φοιτητές έδιναν αρκετά το σχήμα που είχε δώσει ο Huygens (εικόνα 9) (Εργασία 4).

Όπως μπορούμε να δούμε στην επόμενη εικόνα οι πιο πολλοί φοιτητές πέτυχαν να βρουν για σχήμα του φακού ένα σχήμα που είναι παρόμοιο με την εικόνα 119 στο βιβλίο του Huygens.



Εικόνα 9. Ανταπόκριση φοιτητών στο ερώτημα για την εύρεση του φακού με την τέλεια εστίαση.

Συμπέρασμα

Χρησιμοποιώντας κατάλληλες διδακτικές μεθόδους οι φοιτητές καλυτέρεψαν ως προς τις απαντήσεις. Χρησιμοποιώντας παρουσιάσεις PowerPoint οι οποίες μπορούν να ληφθούν και από το διαδίκτυο αρκετοί φοιτητές μπόρεσαν να δώσουν καλύτερες απαντήσεις .

Όπως αποδείχτηκε από τη μελέτη των αποτελεσμάτων μια σημαντική δυσκολία που παραμένει και μετά τη διδασκαλία είναι η συσχέτιση του μήκους κύματος με την ταχύτητα. Η έννοια της ακτίνας ως κατεύθυνσης της κίνησης του μετώπου κύματος γίνεται περισσότερο κατανοητή.

Βιβλιογραφία

Δαπόντες Ν., Κασέτας Α. & Μουρίκης Σ. (1995), *Φυσική Β' Τάξη Πολυκλαδικού Λυκείου*, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών βιβλίων, Αθήνα.

Εργασία 1(2004) «*Η διδασκαλία κυματικών Φαινόμενων σε φοιτητές Π.Τ.Δ.Ε.*» (σελ. 285-291) Συνέδριο «Φυσικές Επιστήμες, Διδασκαλία, Μάθηση & Εκπαίδευση», Αθήνα, Νοέμβριος 2004,

Εργασία 2. *Αντιμετώπιση των δυσκολιών που αφορούν τη διδασκαλία των σεισμικών κυμάτων* «Διδακτική των Φυσικών Επιστημών και την Εφαρμογή των Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση» που διεξήχθη στο Ρέθυμνο (Μάιος 2002) (Σελ. 427 – 431)

Colin P., Viennot L. (2001) Using two models in optics: Students' difficulties and suggestions for teaching, *Physics Education Research A Supplement to the American Journal of Physics* (Supplement 1 to Volume 69, No 7) S36 – S44

diSessa, A. A. and Sherin, B. L. (1998) What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20, 1155-1191.



- Linder, C. J., and Erickson, G. L. (1989). A study of tertiary physics students' Making Sense of Mechanical Waves. *The Physics Teacher*, 37, 15-21.
- Maurines, L. (1992) Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. *International Journal of Science Education*, 14, 279-293.
- Whitman M. (2002) The object coordination class applied to wave pulses: analysing student reasoning in wave physics, *International Journal of Science Education* 24(1), 97 – 118
- Ioannou A., Damos I., Pittas A., Raptis S. (2001) *Physics for students who follow a positive & technological direction for 3rd Lyceum (12 Grade)*, Educational Books Publishing House
- Christiaan Huygens (release date 2005) *Treatise on Light* Rendered into English By Silvanus Thompson eBook or online at <http://www.gutenberg.net/>
- McDermott L. C. Schafer P., (1998) *Tutorials in Introductory Physics, Preliminary Edition* Prentice Hall.
- Arons Arnold (1990) *Teaching Introductory Physics*, John Wiley and Sons, New York
- Harrison, A.G., Treagust, D.F., (1993) Teaching with Analogies: A Case Study in Grade-10 Optics, *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1291-1307
- Haber-Schaim U., Dodge J. , Gardner R., Shore E., Walter E, (1991) *PSSC Physics* Kendall/Hunt Publishing Company
- Shapiro, A.E. (1973), 'Kinematic Optics: A Study of the Wave Theory of Light in the Seventeenth Century'. *Archive for History of Exact Sciences* 11:134-266.
- Sabra A.I. :1981 *Theories of Light from Descartes to Newton*, Cambridge University Press.
- Εργασία 3. (2008α), *The Problem of focusing and Real Images*, , European Journal of Physics, Vol. 29, pp539 – 555 (2008),
- Εργασία 4. (2008β), *Developing ideas of refraction, lenses and rainbow through the use of Historical Resources*, *Science & Education*, August 2008