

Οι ιδέες και οι δυσκολίες των φοιτητών σε θέματα διάθλασης του φωτός

Καλπία Βαΐα, Παύλος Μίχας *

Υποψήφια διδάκτορας του Π.Τ.Δ.Ε του Δ.Π.Θ., επίκουρος καθηγητής του Π.Τ.Δ.Ε του Δ.Π.Θ., pmichas@eled.duth.gr

Θεματική Ενότητα: Στάσεις, αντιλήψεις και πρακτικές φοιτητών
Κατηγορία Εργασίας: Τριτοβάθμια εκπαίδευση

Περίληψη: Στην παρούσα εργασία γίνεται μια σύντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση και εξετάζονται οι ιδέες που έχουν οι δευτεροετείς φοιτητές του Π.Τ.Δ.Ε του Δ.Π.Θ. πριν την αντίστοιχη διάλεξη για τη διάθλαση του φωτός και παρουσιάζονται οι δυσκολίες που συναντούν κατά τη διάρκεια προαιρετικών εργαστηριακών ασκήσεων και τα εμπόδια που τους οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Γενικά παρατηρείται η τάση για εφαρμογή κανόνων που επινοούν οι φοιτητές χωρίς να εφαρμόζουν γενικές αρχές. Πολλές φορές οι απαντήσεις φαίνονται σωστές, όμως οι εξηγήσεις που δίνονται δείχνουν απλώς μια επιφανειακή κατανόηση. Τα διάφορα απλά πειράματα με ημικύκλια που συνήθως προτείνονται σε σχολικά εγχειρίδια δυσκολεύουν τους φοιτητές καθώς χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του φαινομένου από αραιό και πυκνό μέσο και αντιστρόφως. Η ύπαρξη ταυτόχρονης διάθλασης και ανάκλασης της φωτεινής δέσμης χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή καθώς η εξερχόμενη ακτίνα από το ημικύκλιο ερμηνεύεται πάντοτε ως διαθλωμένη. Όπως από ερωτηματολόγιο που δόθηκε μετά 6 μήνες, η εργαστηριακή διδασκαλία βοηθά σε ορισμένα θέματα, ενώ σε άλλα θέματα δε φαίνεται να υπάρχει μόνιμο αποτέλεσμα. Τέλος παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις για μια πιο αποτελεσματική διδασκαλία.

Λέξεις Κλειδιά: διάθλαση, ακτίνες, παρανοήσεις φοιτητών

Abstract: In the present work is presented a short bibliographical review, and are examined the ideas about refraction, that the second year students of the Department of Elementary Education of Democritus University have before lectures. There are several difficulties and obstacles encountered in laboratory exercises that lead to erroneous conclusions. Generally it was observed a tendency of the students to apply rules they invent without, applying general principles. Many times their responses appear to be correct, but on a closer examination their explanations show only a shallow understanding. The simple experiments that are usually recommended in textbooks are a source of difficulties because of the use of the semicircle on experiments from denser to rarer media and vice versa. The fact that an incident beam is partially reflected and partially transmitted needs to be carefully addressed since the emerging beam from the semicircle is usually considered as a refracted beam. As it appears through a post test given after 6 months, the laboratory teaching helps the students to develop their ideas in some notions, but in other concepts there is not a permanent result. Finally are presented some recommendations for a more effective teaching of the subject.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι Anderson and Karrqvist (1983) στην κλασική τους μελέτη για τις ιδέες των παιδιών για το φως, εξέτασαν πως οι Σουηδοί μαθητές αντιμετωπίζουν το πολύ γνωστό πείραμα του Ευκλείδη: "Αν σ' ένα δοχείο τοποθετηθεί ένα αντικείμενο σε τέτοια απόσταση ώστε να μη γίνεται ορατό και αν η απόσταση αυτή παραμένει σταθερή, χυθεί δε νερό στο δοχείο, το αντικείμενο γίνεται ορατό" (Κατοπτρικά, ορισμός στ' κατά μετάφραση Σπανδάγου, 2000). Οι μαθητές είτε απαντούσαν με όρους ανάκλασης είτε χρησιμοποιούσαν ακτίνες όρασης. Μόνο ένας μικρός αριθμός έδινε εξηγήσεις με διάθλαση ακτίνων. Οι Singh και Butler (1990) διαπίστωσαν ότι για τους μαθητές και φοιτητές η διάθλαση είναι ένας όγκος ανεξάρτητων θεμάτων που κατηγοριοποιούνται με βάση τα επιφανειακά χαρακτηριστικά. Έδωσαν διάφορα προβλήματα με τα οποία διαπίστωσαν ότι: α) οι φοιτητές και οι μαθητές δεν συνειδητοποιούν ότι μία φωτεινή δέσμη που προσπίπτει πάνω σε μία επιφάνεια που διαχωρίζει δύο μέσα, παθαίνει κατά μέρος διάθλαση και κατά μέρος ανάκλαση, β) αντιμετωπίζουν κάθε περίπτωση ως κάτι διαφορετικό, π.χ. πρίσματα, παράλληλες επιφάνειες, καμπύλες επιφάνειες χωρίς να εφαρμόζουν το νόμο της διάθλασης ως μία γενική αρχή αντιμετώπισης όλων των φαινομένων. Η αδυναμία χρήσης ενός γενικού κανόνα φαίνεται και από την εργασία των Galili, Bendal και Goldberg (1993) όπου ζητούσαν από φοιτητές και μαθητές να εξηγήσουν τη δημιουργία φανταστικών ειδώλων από ένα τριγωνικό πρίσμα. Οι περισσότεροι απαντούν με λόγια ότι ο σχηματισμός ειδώλων οφείλεται στη διάθλαση του φωτός αλλά **κανένας** δε σχεδιάζει ένα διάγραμμα στο οποίο να χρησιμοποιεί το νόμο της διάθλασης.

Ως προς τη διδασκαλία του φαινομένου της διάθλασης οι Harrison και Treagust (1993) μελέτησαν τα αποτελέσματα μιας διδασκαλίας για τη διάθλαση του φωτός με την αναλογία του Hewitt (1985). Η αναλογία αυτή συνίσταται σε δύο ρόδες συνδεδεμένες με ένα άξονα. Οι ρόδες έχουν βουτηχτεί σε μπογιά και αφήνουν τα ίχνη τους καθώς ο δάσκαλος τις σπρώχνει και κυλάνε. Η αναλογία αυτή δείχνει ταυτόχρονα και την κίνηση του φωτός ως κύματος γιατί οι δύο ρόδες δίνουν δύο σημεία του μετώπου κύματος. Οι μαθητές με αυτό το είδος της διδασκαλίας κατανόησαν τη διάθλαση καλύτερα από όλους τους άλλους στους οποίους είχαν χρησιμοποιηθεί άλλες διδακτικές μέθοδοι. Η McDermott και Shaffer (2000) χρησιμοποιεί για τη διδασκαλία της διάθλασης κατ' αρχήν το κυματικό μοντέλο και μετά εισάγει τις έννοιες της γεωμετρικής οπτικής. Η μέθοδος αυτή εισάγει τα μέτωπα κύματος (χωρίς να επικαλείται την αρχή του Huygens) και κατόπιν εισάγονται οι ακτίνες ως κάθετες στα μέτωπα κύματος. Οι Harrison και Treagust (1993) τονίζουν ότι η αναλογία που θα χρησιμοποιηθεί δε θα πρέπει να εισάγει λανθασμένες γενικεύσεις. Από ιστορικής άποψης μπορεί να φανεί η δυσκολία της

μοντελοποίησης του φωτός ως σωματιδίων. Ο Αλ Χαϊθάμ (Μίχας 2003) έδωσε την αναλογία του σπαθιού. Καθώς το σπαθί κόβει κάθετα κινείται πιο εύκολα, άρα και τα σωματίδια του φωτός κινούνται πιο εύκολα στην κάθετη διεύθυνση από την οριζόντια, γι αυτό και το φως πλησιάζει προς την κάθετο γιατί είναι η πορεία της πιο εύκολης κίνησης. Όπως παρατηρήθηκε (Lindberg 1983) η αναλογία αυτή δεν μπορεί να εξηγήσει την πορεία από το πυκνό στο αραιό.

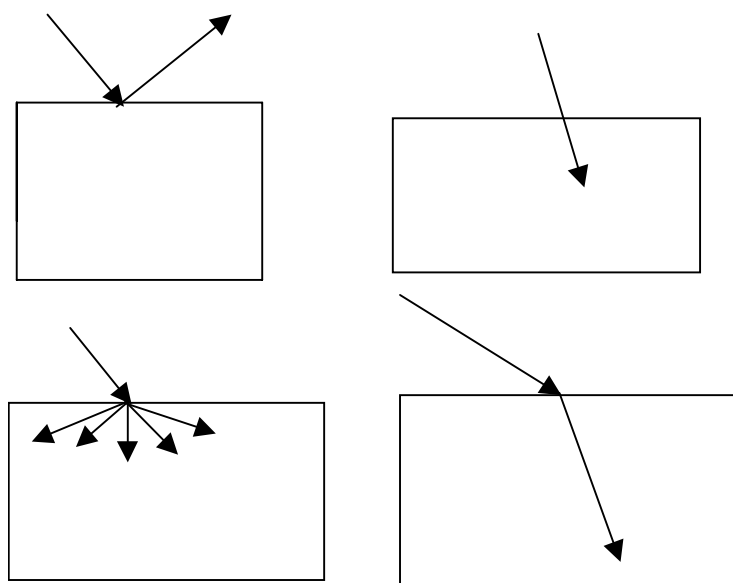
Οι Golberg, Van Neie και Sukow (1995) προτείνουν η διδασκαλία της διάθλασης να ξεκινάει με τους φακούς και μετά να διδάσκονται οι νόμοι της διάθλασης. Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία οι μαθητές θα προσπαθήσουν να εξηγήσουν την εμφάνιση ενός πραγματικού ειδώλου σε οθόνη. Με αυτή τη μέθοδο αναδεικνύονται οι ιδέες των μαθητών. Σύμφωνα με τους Galili και Hazan (2000) οι μαθητές πιθανόν: α) να μη παρουσιάσουν καμία άποψη για το σχηματισμό των ειδώλων, β) να παρουσιάσουν την άποψη ότι το είδωλο μεταφέρεται ολόκληρο και το οπτικό όργανο το μετασχηματίζει και γ) να παρουσιάσουν μια επιστημονική εξήγηση χρησιμοποιώντας το μοντέλο των ακτίνων. Η Mc Dermott και Shaffer (1998) μέσα στα πλαίσια της Γεωμετρικής Οπτικής, αφού έχουν παρουσιάσει τις ιδέες της διάθλασης κυματικά, συνδυάζουν την έναρξη της διδασκαλίας της διάθλασης στην Οπτική με τη διδασκαλία των πραγματικών και φανταστικών ειδώλων.

Μεθοδολογία

Για τη συλλογή των δεδομένων ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία. Πριν τη διάλεξη δόθηκε στους φοιτητές ερωτηματολόγιο (N=55) με ανοικτές ερωτήσεις για την πορεία του φωτός καθώς αλλάζει μέσο και για τη θέση του φανταστικού ειδώλου. Μετά τη διάλεξη δόθηκαν άλλο ερωτηματολόγιο, όπου υπήρχαν ασκήσεις που ήταν σχεδιασμένη η πορεία του φωτός σε δυο διαφορετικά μέσα και οι φοιτητές καλούνταν να εντοπίσουν τα λάθη (ίδιος αριθμός φοιτητών). Επίσης υπήρχε και μια ερώτηση, όπου η πορεία του φωτός ήταν πάλι σχεδιασμένη αλλά τώρα οι ερωτώμενοι έπρεπε να σχεδιάσουν τις γωνίες πρόσπτωσης και διάθλασης και να βρουν τις διαχωριστικές επιφάνειες. Μετά τη διάλεξη οι περισσότεροι φοιτητές (N=48) παρακολούθησαν προαιρετικά μια σειρά εργαστηριακών ασκήσεων οπτικής, όπου μόνοι τους εκτελούσαν πειράματα. Μετά από το κάθε εργαστήριο οι συμμετέχοντες έλυναν ορισμένες ασκήσεις και καταγράφονταν οι δυσκολίες τους. Ύστερα από 6 μήνες επανήρθαμε στα ίδια θέματα με ένα ερωτηματολόγιο με κλειστές ερωτήσεις (N=42). Σε αυτό το ερωτηματολόγιο απάντησαν και φοιτητές που δε συμμετείχαν στα εργαστήρια. Αυτό έγινε για να ελέγξουμε τι πραγματικά τους έμεινε και πόσοι διατηρούν τις αρχικές τους ιδέες. Όλες αυτές οι διαδικασίες είναι απαραίτητες, γιατί δείχνουν τα στάδια που περνάει κάποιος μέχρι να φτάσει στην επιστημονική γνώση καθώς και τα εμπόδια που συναντά ο διδάσκοντας όταν παρουσιάζει μια καινούρια έννοια στους μαθητές του και τα οποία θα πρέπει να καθορίζουν τις ενέργειες και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιήσει για να φέρει στην επιφάνεια τις παρανοήσεις και να τις θεραπεύσει.

Αποτελέσματα του ερωτηματολογίου πριν από τη διδασκαλία

Πριν ξεκινήσει το μάθημα δώσαμε στους φοιτητές ορισμένες ερωτήσεις για να εντοπίσουμε τι γνωρίζουν για τον τρόπο με τον οποίο κινείται το φως από το ένα διαφανές μέσο στο άλλο. Στις δυο ερωτήσεις είχε σχεδιαστεί μια ακτίνα και ζητούσαμε να τη συνεχίσουν σε άλλο μέσο. Στην πρώτη περίπτωση το φως ξεκινούσε από τον αέρα και θα συνέχιζε την πορεία του στο νερό και στη δεύτερη περίπτωση θα γινόταν ακριβώς το αντίθετο. Οι



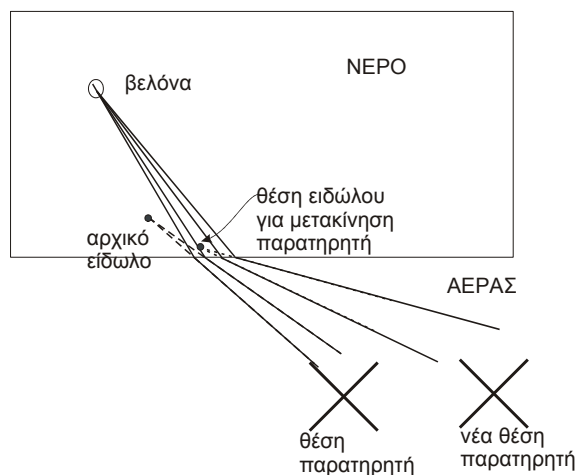
Εικόνα 1

απαντήσεις τους μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες (εικόνα 1). Οι περισσότεροι φοιτητές (40%) συνεχίζουν την ακτίνα ευθεία. Έπειτα ακολουθούν αυτοί που σχηματίζουν την ακτίνα να παθαίνει διάθλαση (27%) και μετά όσοι σχεδιάζουν την ανάκλαση φωτός (15%). Αυτό που αξίζει να σχολιαστεί είναι πως υπάρχει ένα μικρό ποσοστό (13%) που θεωρεί δεδομένη τη διάχυση του φωτός. Μολονότι δηλαδή τους ζητήθηκε να συνεχίσουν την πορεία μιας ακτίνας απαντούν ότι το φως "σκορπίζει παντού". Από τα σχέδια τους για τη διάχυση του φωτός φαίνεται ότι οι φοιτητές έχουν ένα γενικό πλαίσιο για το φως, που δημιουργείται σε πάρα πολύ μικρή ηλικία σύμφωνα με το οποίο το φως κινείται προς όλες τις κατευθύνσεις. Πηγή της παραπάνω παρανόησης

πιθανόν να είναι η σκέδαση του φωτός του ήλιου από την ατμόσφαιρα όπου δημιουργεί την εντύπωση ότι το φως του φθάνει από παντού. Το ποσοστό επί των απαντήσεων που απάντησαν με ευθύγραμμη διάδοση δείχνει

ότι πολλοί γνωρίζουν ότι το φως κινείται ευθύγραμμα. Αυτό το μαθαίνουν σε μικρή ηλικία και ταυτόχρονα είναι μια σταθερή γνώση, γιατί δικαιολογεί πολλά φαινόμενα που παρατηρούν καθημερινά. Τα παιδιά μπορούν να τοποθετήσουν το φως σε ευθύγραμμες ακτίνες ακόμα και αν δεν έχουν κάποια ιδέα για την κίνηση του (Rosalind Driver 1993). Για αυτό και η αλλαγή της πορείας του φωτός κλονίζει ιδιαίτερα τις αρχικές τους απόψεις προκαλώντας μερικές φορές περισσότερο σύγχυση παρά αναδιαμόρφωση των προϋπαρχουσών δομών και αυτό γιατί οι διδασκόμενοι αναζητούν γενικούς κανόνες, ώστε να μπορούν να τους εφαρμόζουν σε όλες τις περιπτώσεις. Όσοι σχεδιάζουν την ακτίνα του φωτός να παθαίνει διάθλαση την σχεδιάζουν μόνο ποιοτικά σωστά. Κανένας δηλαδή δεν αναφέρει το νόμο του Snell ούτε κάποια δικαιολογία. Κάποιοι μάλιστα τη σχεδιάζουν με τέτοιο τρόπο, ώστε να πέφτει πάνω στην κάθετο. Εδώ πρέπει να αναφέρουμε ότι ορισμένοι φοιτητές σχεδιάζουν το φως να κινείται ευθύγραμμα στην μια περίπτωση και στην άλλη να παθαίνει ανάκλαση. Αυτό δε γίνεται λόγω ασυνέπειας αλλά δίνουν εξηγήσεις. Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι αυτό μπορεί να συμβαίνει, γιατί στην πρώτη περίπτωση το φως μπορεί να μπει από τον αέρα στο νερό αλλά δεν μπορεί να βγει έξω από αυτό ή ότι το νερό αντανακλά το φως, ενώ όταν συναντήσει αέρα κινείται ευθύγραμμα.

Φανταστικό είδωλο: Ζητήθηκε να βρεθεί το φανταστικό είδωλο για την περίπτωση της εικόνας 2. Το 57% απαντάει πως η θέση του ειδώλου είναι διαφορετική από τη θέση του αντικειμένου χωρίς όμως να δίνει σωστή εξήγηση (που δείχνεται στην εικόνα με τις προεκτάσεις των διαθλωμένων ακτίνων).



Εικόνα 2

Αντιστοιχεί σε απαντήσεις "συγκεκριμένου συλλογισμού" σύμφωνα με τους Anderson and Karrqvist (1983). Αρκετοί από αυτούς νομίζουν ότι το νερό μετακινεί τη βελόνα και δεν καταλαβαίνουν ότι η αλλαγή της θέσης είναι φαινομενική αλλαγή και συμβαίνει από την κίνηση του φωτός σε διαφορετικά μέσα. Σε συνέχεια του ερωτήματος τους ζητήθηκε να προβλέψουν τι θα συμβεί αν ο παρατηρητής μετακινηθεί πιο δεξιά. Οι απαντήσεις των φοιτητών δε στηρίζονται σε χάραξη ακτίνων αλλά σε εικασία: π.χ. μερικοί πιστεύουν ότι εάν ο παρατηρητής μετακινηθεί πιο δεξιά τότε η θέση το ειδώλου θα μετακινηθεί πιο αριστερά. Λιγότεροι νομίζουν ότι εάν ο παρατηρητής μετακινηθεί πιο δεξιά τότε και η θέση του ειδώλου θα μετακινηθεί πιο δεξιά. Για μια φοιτήτρια η μετακίνηση του παρατηρητή δεν επιφέρει κάποια αλλαγή στη θέση του ειδώλου. Ενδεχομένως να έχει επηρεαστεί από τα επίπεδα κάτοπτρα. Σε ένα σχεδιάγραμμα ενώ οι ακτίνες είναι σχεδιασμένες ποιοτικά σωστά, επειδή ξεκινούν από τον παρατηρητή που δείχνουν ότι ο φοιτητής σκέφτεται με ακτίνες όρασης. Είναι αξιοσημείωτο ότι το 93% πιστεύει ορθά ότι ακόμη και αν ο παρατηρητής μετακινηθεί και βρεθεί ακριβώς μπροστά στη βελόνα τότε πάλι θα τη βλέπει σε διαφορετικό σημείο από ότι είναι το αντικείμενο και μάλιστα και αυτό το είδωλο θα είναι φανταστικό.

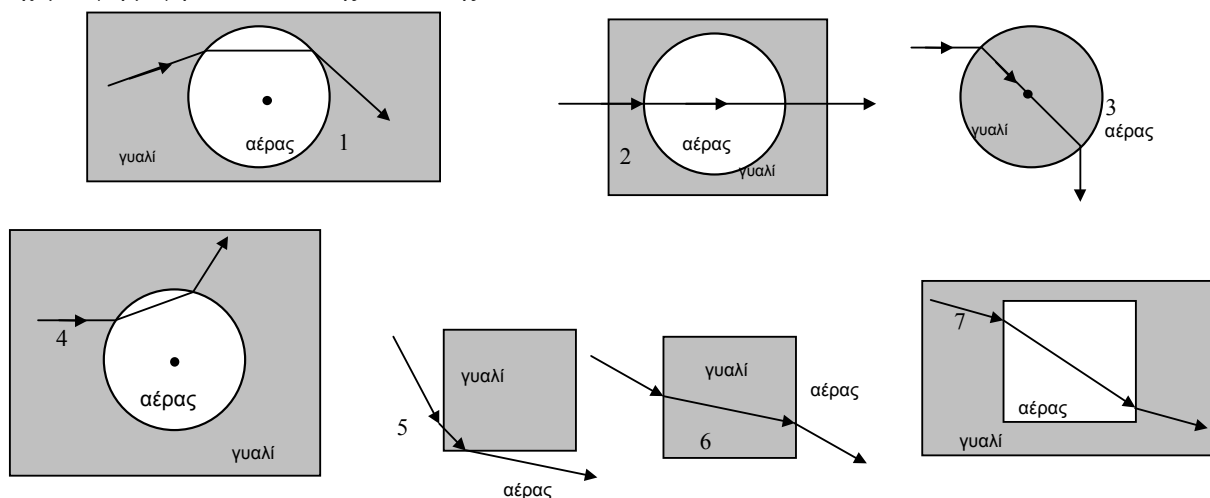
Ο χαρακτηρισμός του ειδώλου ως φανταστικού δε σημαίνει ότι κατανοούν ότι σχηματίζεται από τις προεκτάσεις των ακτίνων που προσπίπτουν στο μάτι του παρατηρητή. Για μερικούς το είδωλο είναι φανταστικό, γιατί το φως κινείται πιο αργά στο νερό από ότι στον αέρα. Δυο φοιτήτριες πιστεύουν ότι το είδωλο είναι φανταστικό επειδή προκύπτει από ακτίνες παθαίνουν διάθλαση. Ακόμη κάποιοι νομίζουν ότι το είδωλο είναι φανταστικό επειδή φαίνεται μεγαλύτερο από ότι είναι στην πραγματικότητα.

Επίδραση της διδασκαλίας

Στην πρώτη ερώτηση του ερωτηματολογίου που δόθηκε μετά τη διάλεξη υπήρχαν διατάξεις με καμπύλες επιφάνειες (δείγματα στην εικόνα 3), όπου το φως έμπαινε από ένα αραιό μέσο σε ένα πιο πυκνό ή το αντίθετο και μετά ξανάβγαίνει στο πρώτο μέσο. Τους ζητήθηκε να εξηγήσουν που υπάρχουν τυχόν λάθη. Υπήρχαν 7 περιπτώσεις που έπρεπε να εξετάσουν οι φοιτητές και το 47% είχε βαθμό επιτυχίας 100%, το 23% είχε βαθμό επιτυχίας 86%. Ο μέσος όρος ήταν 83%. Αν κοιτάξουμε τα λάθη τους δε φαίνεται ότι κάποιο σχήμα τους δυσκόλεψε ιδιαίτερα. Μερικοί έχουν την εντύπωση ότι το φως αλλάζει πορεία ακόμα και αν πέφτει κατά την κάθετο. Επίσης κάποιοι θεωρούν ότι η διαθλώμενη ακτίνα πρέπει να μην περνάει τη διαχωριστική επιφάνεια

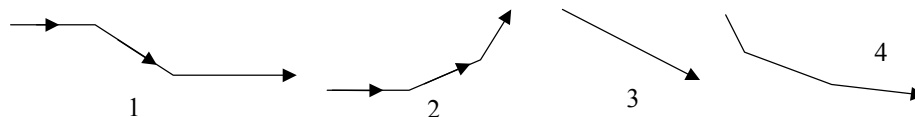
αλλά να βρίσκεται στην ίδια μεριά όπως στα κάτοπτρα.

Όπως και στην περίπτωση των Butler και Singh πολλοί καθοδηγούνται στην απάντησή τους από το σχήμα και όχι με εφαρμογή του κανόνα της διάθλασης.



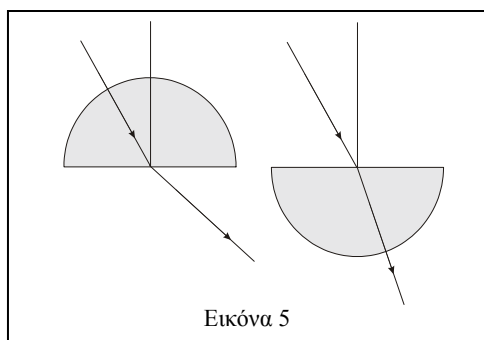
Εικόνα 3

Εμφανίστηκε μια διαφορά στις απαντήσεις που αφορούσαν επίπεδες επιφάνειες (δείγμα στην εικόνα 3) με τις απαντήσεις σε καμπύλες επιφάνειες: Στις επίπεδες παραδόξως υπήρξε μικρότερος βαθμός επιτυχίας από ότι στις καμπύλες: το 29% έχει βαθμό επιτυχίας 100%, το 25% έχει βαθμό επιτυχίας 75%. Ο μέσος όρος ήταν 50%, δηλαδή μικρότερος από ότι ήταν στη προηγούμενη άσκηση με τις καμπύλες επιφάνειες. Σε αυτή την άσκηση το 16% των ερωτηθέντων δεν απαντάει καθόλου και από τους υπόλοιπους δε λύνουν όλοι όλες τις περιπτώσεις. Γενικά και πάλι δυσκολεύονται με την κάθετο (το φως αλλάζει πορεία ακόμα και όταν προσπίπτει κατά την κάθετο). Μια άλλη άσκηση (McDermott 1996) αποδείχτηκε πολύ δύσκολη καθώς τους ζητήθηκε να σχεδιάσουν σχήματα που να δικαιολογούν την πορεία των ακτίνων (εικόνα 4), το ποσοστό των επιτυχών απαντήσεων είναι τώρα 28%. Το 67% δεν απαντάει καθόλου. Οι υπόλοιποι σχεδιάζουν με τέτοιο τρόπο τα δοχεία, ώστε η γωνία διάθλασης να είναι ίση με 0° .



Εικόνα 4

Ως προς τη σύνδεση των φαινομένων διάθλασης με κυματικά φαινόμενα, όπως φάνηκε από αποτελέσματα εξετάσεων, δε συνίσταται η διδασκαλία των κυματικών φαινομένων μετά τη διδασκαλία της γεωμετρικής οπτικής, ενώ η διδασκαλία των κυματικών φαινομένων (όπως έγινε σε επανάληψη της ίδιας διδασκαλίας το επόμενο ακαδημαϊκό έτος, αλλά με τη διδασκαλία των κυματικών φαινομένων να προηγείται της γεωμετρικής οπτικής) δίνει την ευκαιρία στους φοιτητές να κατανοήσουν ότι οι ακτίνες δεν είναι παρά εργαλεία που χρησιμοποιούνται όπως και τα μέτωπα κύματος, και κατανοούν ότι και στην κάθετη πρόσπτωση υπάρχει μεταβολή στο μήκος κύματος.



Εικόνα 5

Παρατηρήσεις κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών ασκήσεων

Κατά τη διάρκεια των εργαστηριακών ασκήσεων οι παρατηρήσεις τους πολλές φορές τους οδηγούν σε λανθασμένα συμπεράσματα. Η παράλληλη μετατόπιση είναι ένα θέμα που τους προκαλεί ενδιαφέρον και αποτελεί ερέθισμα στο να προχωρήσουν τη σκέψη τους καθώς πιστεύουν ότι η εξερχόμενη ακτίνα θα περίμεναν να

πέφτει ακριβώς στην προέκταση της προσπίπτουσας.

Χρησιμοποιώντας ημικύκλιο για πειράματα διάθλασης από αέρα σε γυαλί και από γυαλί σε αέρα (εικόνα 5) δυσκολεύονται να κατανοήσουν πότε συμβαίνει η μια περίπτωση και πότε η άλλη. Αρχικά δεν παρατηρούν ποια γωνία είναι μικρότερη και ποια μεγαλύτερη. Το μόνο που τους απασχολεί είναι η εκτροπή της πορείας του φωτός. Δυσκολεύονται να προσδιορίσουν τις γωνίες διάθλασης και πρόσπτωσης και πότε η μία είναι μικρότερη από την άλλη.

Επίσης δεν καταλαβαίνουν, γιατί η ίδια συσκευή δίνει δυο διαφορετικές περιπτώσεις.

Επίσης δεν κατανοούν την ολική ανάκλαση. Όταν έχουμε διάθλαση από γυαλί σε αέρα ακόμα και για μικρές γωνίες πρόσπτωσης δεν παρατηρούν καθόλου την ανακλώμενη ακτίνα. Έτσι όταν η γωνία πρόσπτωσης ξεπεράσει την οριακή τότε αρχικά πιστεύουν ότι η διαθλώμενη ακτίνα χάθηκε. Ένα σφάλμα στις παρατηρήσεις είναι ότι θεωρούν την ανακλώμενη θεωρούν ως διαθλώμενη και καταγράφουν τις τιμές της που μάλιστα είναι μεγαλύτερες των 90° . Με παρεμβολή του διδάσκοντα παρατηρούν ότι καθώς αυξάνεται η γωνία πρόσπτωσης η γωνία διάθλασης φθάνει τις 90° στην κρίσιμη γωνία. Αυτό δεν είναι αρκετό για να εντοπίσουν το λάθος τους. Χρειάζεται ο διδάσκοντας να τους παροτρύνει να συγκρίνουν τις γωνίες των ακτινών που θεωρούν ως "διαθλώμενες" με τις γωνίες πρόσπτωσης. Έτσι βλέπουν ότι είναι ίσες και κατανοούν ότι παρατηρούσαν μία ανακλώμενη ακτίνα. Με αυτόν τον τρόπο δείχνουμε στους φοιτητές ότι οι ακτίνες είναι ένα εργαλείο για την κατανόηση του φωτός και ότι πρόκειται για μια δέσμη φωτός, όπου ένα μέρος της μπορεί να ανακλάται και ένα μέρος της να διαθλάται, όταν συναντήσει την κατάλληλη επιφάνεια.

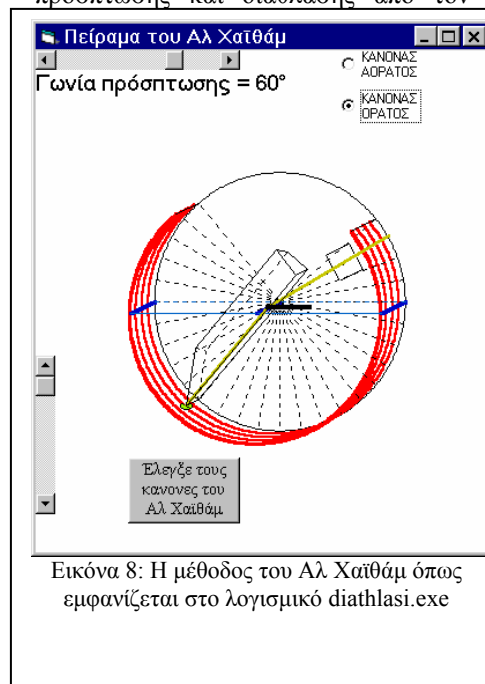


Για να δουν ορισμένα ιστορικά στοιχεία από το νόμο της διάθλασης, χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο του Πτολεμαίου (Εικόνα 6), η οποία συνίσταται στην τοποθέτηση καρφιστών και παρατήρηση τους, δια μέσου του ημικυκλίου. Η μέθοδος παρουσιάζει δυσκολίες, λόγω της μεγέθυνσης. Το πρόβλημα αυτό γίνεται πολύ έντονο καθώς οι γωνίες πρόσπτωσης μέσα στο νερό ή το γυαλί πλησιάζουν την κρίσιμη γωνία (Εικόνα 7). Παρουσιάστηκε ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από έναν από εμάς (Mihás 2001) και μπορούν να δούνε ότι η βελτίωση της μεθόδου της μέτρησης γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης από τον Αλ

Χαϊθάμ, που χρησιμοποίησε φωτεινή δέσμη έδωσε αφορμή για να διατυπωθούν νέοι νόμοι για τη διάθλαση (Εικόνα 8). Έδωσε ορισμένους κανόνες που παρουσιάστηκαν στους φοιτητές. Οι κανόνες αυτοί περιέχουν σφάλματα που οφείλονται σε υπεργενικεύσεις του Αλ Χαϊθάμ (π.χ. Ο Αλ Χαϊθάμ περιόρισε τις μετρήσεις του σ' αυτές που έκανε ο Πτολεμαίος για γωνίες πρόσπτωσης μέχρι 80° και έβγαλε συμπεράσματα που δεν ισχύουν για μεγαλύτερες γωνίες). Αυτό έγινε αφορμή για συζήτηση ως προς την επιστημονική μέθοδο και ότι οι θεωρίες και οι "κανόνες" έχουν μεταβληθεί κατά τη διάρκεια της ιστορίας. Όπως παρατηρήθηκε υπάρχει ανάγκη προσοχής γιατί οι αντιδράσεις ως προς το ότι οι νόμοι και οι μέθοδοι της Φυσικής έχουν μεταβληθεί κατά τη διάρκεια των αιώνων, μπορεί να οδηγήσουν από μία παραδοσιακή "υποταγή" σ' αυτά που εμφανίζονται στα εγχειρίδια ως τελική μορφή της Φυσικής σε μια ολική δυσπιστία προς τους νόμους της Φυσικής.

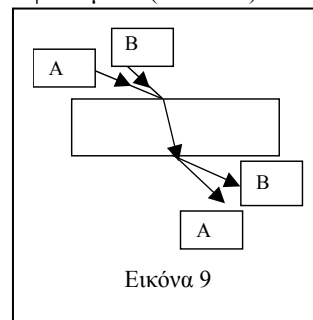
Αποτελέσματα από τις ασκήσεις μετά τις εργαστηριακές ασκήσεις

Κατά τη διάρκεια της εργαστηριακής άσκησης φαίνεται πως καταλαβαίνουν την παράλληλη μετατόπιση. Όμως στις ασκήσεις που θα πρέπει να συμπληρώσουν δόθηκε μία



άσκηση με δυο ακτίνες διαφορετικών χρωμάτων. Πολλοί σχεδιάζουν τις εξερχόμενες παράλληλα με τις εισερχόμενες αλλά τις ονομάζουν ανάποδα που δείχνει ότι δεν έχουν κατανοήσει το φαινόμενο (εικόνα 9).

Τους δόθηκε το παρακάτω σχήμα (εικόνα 10, Arons 1994) και ζητήθηκε να ονομάσουν τη προσπίπτουσα, την ανακλώμενη και τη διαθλώμενη ακτίνα. Το 49% βρήκε τη σωστή απάντηση. Από τους υπόλοιπους το 28% θεωρεί ότι η ακτίνα 2 είναι η προσπίπτουσα, η ακτίνα 1 η διαθλώμενη και η ακτίνα 3 η ανακλώμενη και το 22% τις ονομάζει τελείως λάθος. Η δεύτερη κατηγορία θα μπορούσε να θεωρηθεί σωστή αν δεν υπήρχε η διαθλώμενη ακτίνα, καθώς σχεδίασαν προσπίπτουσα και ανακλώμενη από την ίδια μεριά του μέσου. Μερικοί μάλιστα σχεδιάζουν μόνοι τους σωστά ποια θα ήταν η διαθλώμενη σε αυτή την περίπτωση.

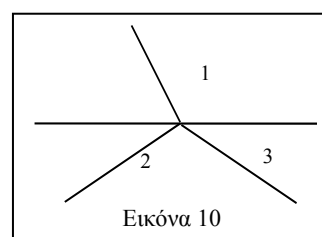


Σε δοχείο με παράλληλες επιφάνειες αρκετοί πιστεύουν ότι η εξερχόμενη και η εισερχόμενη ακτίνα θα είναι πάντα παράλληλες ακόμη και αν αυτές δε βρίσκονται στις παράλληλες επιφάνειες του δοχείου

Σε μια άσκηση όπου συνδυάζεται η δημιουργία σκιάς με τη διάθλαση του φωτός (εικόνα 11) το 73% απαντάει σωστά. Υπάρχουν κάποιοι φοιτητές που ενώ καταλαβαίνουν τον τρόπο λύσης της άσκησης και τον περιγράφουν σωστά σχεδιάζουν λανθασμένα τη διαθλώμενη ακτίνα. Επίσης ένα πολύ μικρό ποσοστό εκφράζει την άποψη ότι η παρουσία του γυαλιού δε θα επηρεάσει το μέγεθος της σκιάς, που ίσως οφείλεται στην αδυναμία τους να συνδυάσουν δυο κατά τη γνώμη τους ανεξάρτητα κεφάλαια της οπτικής.

Εμπόδια στην κατανόηση της διάθλασης του φωτός

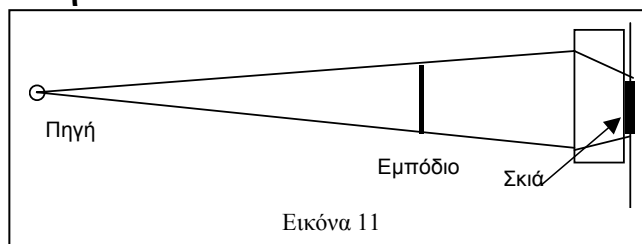
Ο σχεδιασμός των καθέτων είναι ένα θέμα που δυσκολεύει ορισμένους πολύ έντονα και σε όλα τα στάδια. Από τα σχέδια τους φαίνεται πως δεν έχουν κατανοήσει την έννοια της καθέτου από γεωμετρική άποψη. Οι περισσότεροι από αυτούς θεωρούν ως κάθετο μια ευθεία γραμμή με διεύθυνση από πάνω προς τα κάτω ή μια οριζόντια γραμμή. Πολλές φορές σε ένα σχήμα σχηματίζουν όλες τις καθέτους παράλληλες μεταξύ τους ακόμα και αν οι πλευρές του σχήματος δεν είναι παράλληλες.



Ένα άλλο σημαντικό εμπόδιο στην κατανόηση των εννοιών της διάθλασης είναι οι υπεργενικεύσεις που κάνουν. Πιστεύουν ότι γενικά ένα σχήμα με επίπεδες επιφάνειες μπορεί σύμφωνα με τις εκφράσεις τους να "σπάει την ακτίνα προς τα έξω" ενώ ένα άλλο με καμπύλες επιφάνειες "σπάει την ακτίνα προς τα μέσα". Αυτό οφείλεται πάλι σε περιορισμένη εστίαση. Δοκίμασαν την πορεία μιας ακτίνας μπροστά από ένα ποτήρι με επίπεδες επιφάνειες και την πορεία μιας ακτίνας σε ένα δοχείο με καμπύλες επιφάνειες και έφτασαν σε αυτό το συμπέρασμα. Εδώ όμως επισημαίνεται στους φοιτητές όχι μόνο το γεγονός ότι έκαναν λίγες δοκιμές αλλά ότι η μεταβλητή τους ήταν λάθος, ότι δηλαδή εστίασαν τη προσοχή τους σε λανθασμένο παράγοντα.

Αποτελέσματα των ερωτηματολογίων μετά τη διδασκαλία

Μετά από 6 μήνες το 47% απαντάει σωστά σε ερωτήσεις που έχουν σχέση με τη διάθλαση του φωτός. Μόνο το 7% δείχνει να πιστεύει ότι η πορεία του φωτός όταν αλλάζει μέσο παραμένει στην ίδια κατεύθυνση. Οι υπόλοιποι απαντούν λάθος ποσοτικά φανερώνοντας πως η διάλεξη και οι εργαστηριακές ασκήσεις επηρέασαν τις αρχικές τους απόψεις αλλά ακόμα δεν έχουν κατανοήσει πλήρως πότε η γωνία πρόσπτωσης θα είναι μεγαλύτερη και πότε μικρότερη από τη γωνία διάθλασης. Όταν συγκεκριμένα τους ζητείται να απαντήσουν ποια γωνία θα είναι μεγαλύτερη όταν το φως κινείται από ένα αραιό σε ένα πιο πυκνό μέσο τότε το 50% επιλέγει τη σωστή απάντηση. Μόνο το 7.5% πιστεύει ότι οι δυο γωνίες θα είναι ίσες, γιατί δεν έχουν κατανοήσει την αρχή του ελαχίστου χρόνου. Η πρώτη ιδέα που έχουν ότι δηλαδή το φως κινείται ευθύγραμμα παραμένει αναλλοίωτη και αυτό γιατί οι διδασκόμενοι έχουν την τάση να χρησιμοποιούν γενικούς κανόνες χωρίς να τους εντάσσουν σε ένα γενικότερο πλαίσιο και χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τους τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε περίπτωσης. Επίσης σε αυτό το σημείο έχουν επηρεαστεί από την ανάκλαση του φωτός, που αναφέρεται σε ίσες γωνίες. Το 42.5% απαντάει ανάποδα φανερώνοντας πως δεν έχουν κατανοήσει την αιτία που δημιουργεί τη διάθλαση του φωτός.



Επίσης φαίνεται πως κατανοούν ότι η φαινομενική θέση του αντικειμένου δε θα είναι ίδια με την πραγματική (εικόνα 2). Στην επόμενη ερώτηση καλούμε τους φοιτητές να σκεφτούν που πρέπει να στοχεύσει ένας ψαράς για να πετύχει ένα ψάρι στη θάλασσα. Σε αυτήν την περίπτωση όπου εμπλέκεται και ο παρατηρητής το ποσοστό των σωστών απαντήσεων μειώνεται στο 39%. Ουσιαστικά ο ερωτώμενος χρειάζεται να βρει τη θέση του φανταστικού ειδώλου και να απαντήσει ανάλογα με την ερώτηση. Οι περισσότεροι 53.7% δίνουν ως σωστή απάντηση τη θέση του φανταστικού ειδώλου. Αυτό δείχνει ότι γνωρίζουν ότι η θέση του ειδώλου διαφέρει από τη θέση του αντικειμένου και μάλιστα ξέρουν που ακριβώς είναι αλλά δεν καταλαβαίνουν ότι αφού κάποιος

βλέπει ένα αντικείμενο πιο ψηλά από ότι είναι για να το πετύχει είναι απαραίτητο να στοχεύσει πιο χαμηλά από εκεί που το βλέπει. Έχουν κατανοήσει όμως ότι ο παρατηρητής βλέπει στην ευθεία της ακτίνας που φθάνει στα μάτια του και όχι πάνω στη διαθλώμενη. Ένα μικρό ποσοστό 7.3% πιστεύει ότι ο ψαράς θα πρέπει να στοχεύσει ακριβώς πάνω στο ψάρι φανερώνοντας ότι η θέση ειδώλου και αντικειμένου είναι ίδιες.

Σε ερώτηση για τη διάθλαση του φωτός σε αντικείμενα με παράλληλες επιφάνειες το 55.8% βρίσκει ότι ακόμη και αν αλλάξει η γωνία πρόσπτωσης πάλι η εισερχόμενη και η εξερχόμενη ακτίνα θα είναι παράλληλες. Η πλειοψηφία φαίνεται πως κατανοεί ότι η παράλληλη μετατόπιση οφείλεται στο γεγονός ότι η εισερχόμενη και εξερχόμενη ακτίνα προσπίπτουν σε παράλληλες επιφάνειες. Κατανοούν πως η αλλαγή της γωνίας πρόσπτωσης θα έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της γωνίας διάθλασης η οποία θα επηρεάσει και τη δεύτερη γωνία διάθλασης αλλά με τέτοιο τρόπο, ώστε οι δυο ακτίνες να παραμείνουν παράλληλες. Καταλαβαίνουν δηλαδή πως η μια ακτίνα δε λειτουργεί ανεξάρτητα από την άλλη και ότι όση διάθλαση θα πάθει το φως μπαίνοντας στο δοχείο ακριβώς την ίδια θα πάθει καθώς θα βγαίνει από το δοχείο. Αυτό δείχνει πως έχουν αντιληφθεί την αντίστροφη πορεία του φωτός. Ένα μικρό ποσοστό πιστεύει ότι η προσπίπτουσα και η προέκταση της διαθλώμενης θα τέμνονται προς τα πίσω. Ενδεχομένως αυτοί να απαντούν με αυτό τον τρόπο, γιατί πιστεύουν ότι η εξερχόμενη ακτίνα θα παραμείνει ίδια, ενώ βέβαια θα αλλάξει και αυτή.

Σε μια άλλη ερώτηση που αναφέρει το δείκτη διάθλασης μόνο το 12.8% απαντάει πως δεν επηρεάζει την απόσταση των παράλληλων ακτινών. Το 51.3% δηλώνει πως κάποιο υλικό με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης θα είχε σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί η απόσταση της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ακτίνας σε ένα δοχείο με παράλληλες επιφάνειες, ενώ το 35.9% ότι θα μειωνόταν. Όσοι νομίζουν ότι η απόσταση των παράλληλων ακτινών θα μειωθεί σε υλικό με μεγαλύτερο δείκτη διάθλασης παρασύρονται από την ιδέα ότι σε αυτήν την περίπτωση η γωνία διάθλασης θα είναι μικρότερη. Φαίνεται πως κατανοούν ότι σε αυτήν την περίπτωση το φως παθαίνει δυο διαθλάσεις.

Συμπεράσματα

Όλα τα παραπάνω αποτελούν στοιχεία πάνω στα οποία πρέπει να στηριχθούμε για να οργανώσουμε μια αποτελεσματική διδασκαλία. Ο διδάσκοντας πρέπει να λαμβάνει υπόψη του όλους τους παράγοντες που πιθανόν να οδηγήσουν τους μαθητές σε παρανοήσεις, ώστε να τις προλάβει πριν ακόμη γεννηθούν.

Στην περίπτωση τώρα της διάθλασης είναι απαραίτητο οι διδασκόμενοι να σχεδιάζουν και να περιγράφουν με λόγια αυτά που παρατηρούν. Η χρήση βέβαια σχεδιαγραμμάτων παρουσιάζει δυσκολίες, γιατί οι μαθητές δεν έχουν συνηθίσει σε τέτοιου είδους εκφράσεις και αρχικά τουλάχιστον θα τους είναι εξαιρετικά δύσκολο να σχεδιάσουν οποιεσδήποτε γραμμές. Είναι αναγκαίο όμως να παροτρύνουμε τους μαθητές να τοποθετούν τα δοχεία ή τα κομμάτια γυαλιού με διάφορες κατευθύνσεις μπροστά από την ακτίνα, για να μη δημιουργηθούν οι παρανοήσεις ότι "ένα δοχείο σπάει την ακτίνα προς τα έξω και ένα διαφορετικό δοχείο προς τα μέσα". Ακόμη πρέπει οι ίδιοι να δουν διαμέσου διαφόρων μέσων ένα αντικείμενο, ώστε να κατανοήσουν το ρόλο του παρατηρητή για τη δημιουργία φανταστικών ειδώλων. Ένα άλλο σημείο που χρειάζεται να προσεχθεί, είναι ο χαρακτηρισμός των ειδώλων δηλ. αν το φως έρχεται από το σημείο που βλέπουμε το είδωλο ή όχι.

Είναι σημαντικό να μάθουν οι διδασκόμενοι να σχεδιάζουν τις καθέτους. Επίσης είναι αναγκαίο να παρουσιάζονται στους μαθητές "περίεργα" σχήματα, ώστε να σχεδιάζονται κάθε φορά οι κάθετοι και να σημειώνουν τις διάφορες γωνίες.

Ο διδάσκοντας πρέπει να βοηθήσει τους διδασκόμενους να αποφεύγουν τις υπεργενικεύσεις.

Τελικά όπως φάνηκε και από επαναλήψεις του ίδιου μαθήματος, η εισαγωγή του κυματικού μοντέλου πριν από τη διδασκαλία της γεωμετρικής οπτικής και η σύνδεση των ακτινών με μέτωπα κύματος βοήθησε τους φοιτητές να κατανοήσουν καλύτερα τα φαινόμενα της διάθλασης.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το λογισμικό diathlasi.exe μπορεί να ληφθεί στο Διαδίκτυο από τη θέση: <http://utopia.duth.gr/~pmichas>

Βιβλιογραφία

- Anderson B. and Karrqvist C. (1983) How Swedish pupils aged 12-15 understand light and its properties, European Journal of Science Education, v.5, n.4. p.387-402
- Arons Arnold (1992) Οδηγός διδασκαλίας της φυσικής, εκδόσεις Τροχαλία
- Arons Arnold (1994) *Homework and Test Questions for Introductory Physics Teaching*, John Wiley
- Galili Igal (1996), *Students' conceptual change in geometrical optics*, International Journal of Science Education, v. 18, n. 7, p.847-868
- Galili I. Bendall S. Goldberg F. (1993) *The Effects of Prior Knowledge on understanding Image formation*, Journal of Research in Science Teaching, v. 30, n. 3, p.271-301
- Galili I. Hazan A (2000), *The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets - schemes analysis*, Physics Education Research, a Supplement to the American Journal of Physics, Vol 68, pp S3 -S15

- Goldberg, Van Neie and Sukow (1995) , *Powerful Ideas in Physical Sciences, A model Course*, American Association of Physics Teachers, College Park Maryland
- Harrison All , Treagust D. (1993), *Teaching with Analogies: A Case Study in Grade –10 Optics*, Journal of Research in Science Teaching, v. 30, n. 10, p. 1291-1307
- Hewitt Paul (1985) *Conceptual Physics*, Ελληνική Μετάφραση 1994: *Οι έννοιες της Φυσικής*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο
- Lindberg David (1983) *Studies in the History of Medieval Optics*, University of Chicago Press
- McDermott Lillian και ομάδα έρευνας πανεπιστημίου της πολιτείας Washington.(1996) *Physics By Inquiry Volume I, Volume II* Εκδόσεις John Wiley & Sons 1996
- McDermott Lillian, Shaffer Peter S. και ομάδα έρευνας πανεπιστημίου της πολιτείας Washington. (1998) *Tutorials in Introductory Physics*: Έκδοση Prentice Hall 1998, μετάφραση στα Ελληνικά από Π. Μίχα με τον τίτλο *Μαθήματα Εισαγωγικής Φυσικής (2001)*, Δαρδανός
- Singh A and Butler P. (1990) Refraction: conceptions and knowledge structure, International Journal of Science Education, v. 12, n. 4, p. 429-442
- Mihas Pavlos (2001) Educational Software Connecting History of Optics with the Optics Laboratory, Themes In Education, Ιούνιος
- Μίχας Παύλος (2003) *Η Διδακτική της Οπτικής μέσα από μια διαχρονική ματιά (Υπό έκδοση)*
- Σπανδάγου Ευάγγελου (2000) *Τα Οπτικά και τα Κατοπτρικά του Ευκλείδου*, Εκδόσεις "Αίθρα", Αθήνα