

Διαμορφωτική αξιολόγηση εικονικού εκπαιδευτικού εργαστηρίου laser

Τάσος Α. Μικρόπουλος,

amikrop@cc.uoi.gr

Βασίλης Στρομπούλης,

me00298@cc.uoi.gr

Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Σχολή Επιστημών της Αγωγής,
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 451 10 Ιωάννινα

Περίληψη

Το άρθρο αποτελεί συνέχεια του προγράμματος v-laser για την υποστήριξη της διδασκαλίας της φυσικής του laser με χρήση εικονικών περιβαλλόντων [8, 9]. Η παρούσα έκδοση του εικονικού εργαστηρίου laser επιτρέπει στο χρήστη να κατασκευάσει και να μελετήσει ένα laser Nd:YAG με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους χειρισμού του εικονικού περιβάλλοντος (γάντι δεδομένων, πληκτρολόγιο, ποντίκι, μπάρα πλοήγησης). Κατά την ανάπτυξη του προγράμματος έγινε διαμορφωτική αξιολόγηση από επτά εξειδικευμένους χρήστες στις τεχνολογίες της εικονικής πραγματικότητας. Βασικός άξονας ήταν η μελέτη των δυνατοτήτων πλοήγησης και χειρισμού εικονικών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο του εικονικού εργαστηρίου. Οι χρήστες προτίμησαν το ποντίκι ως την καταλληλότερη συσκευή για την πλοήγηση στον τρισδιάστατο χώρο και το χειρισμό των εικονικών αντικειμένων. Το γάντι δεδομένων παρότι επιτρέπει χειρισμούς που προσεγγίζουν την πραγματικότητα, θεωρήθηκε δύσχηστο και κουραστικό.

Λέξεις κλειδιά: Εκπαιδευτικά εικονικά περιβάλλοντα, φυσική, laser, διαμορφωτική αξιολόγηση

Abstract

This article presents a new version of the v - laser project for teaching laser physics using virtual environments [8, 9]. This version of the virtual laser laboratory allows the construction and study of a Nd:YAG laser system via four different ways for the manipulation of the virtual environment (data glove, keyboard, mouse, navigation bar). During project's development a formative evaluation took place with seven special users in the field of virtual reality technologies. The main axis of the research was the study of navigation and manipulation of virtual objects in the three dimensional space of the virtual lab. The users preferred the mouse as the most suitable peripheral for both the navigation and manipulation. Although the data glove approaches gestures similar to those in the real world, it was considered unfriendly and grueling.

Εισαγωγή

Τα εικονικά περιβάλλοντα έχουν προταθεί από πολλούς ερευνητές ως ανοικτά εκπαιδευτικά περιβάλλοντα για την υποστήριξη της μαθησιακής διαδικασίας [1]. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών λόγω των εγγενών δυσκολιών των εννοιών που πραγματεύονται [2]. Σχετικά με τη διδασκαλία της φυσικής έχουν προταθεί εικονικά περιβάλλοντα για τη Νευτώνεια Μηχανική [3, 4], ηλεκτροστατική και μοριακή δομή [5], αστρονομία [6]. Όλες οι παραπάνω προσεγγίσεις βασίζονται σε τεχνολογίες εμβύθισης ή κιβωτού (CAVE) με όλους τους περιορισμούς που περιλαμβάνουν (υψηλό κόστος, ασθένεια κυβερνοχώρου, χαμηλή ποιότητα αναπαραστάσεων, δυσκολίες ένταξης στη διδακτική πράξη). Σε πιο εξειδικευμένα θέματα φυσικής που απευθύνονται κυρίως στη δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια εκπαίδευση, έχουν γίνει δύο προσεγγίσεις σχετικά με τη φυσική του laser από την ερευνητική μας ομάδα [7, 8, 9]. Η πρώτη αφορά σε θεωρητικά θέματα σχετικά με την παραγωγή του φωτός, και η δεύτερη στη μελέτη λειτουργίας ενός συστήματος laser. Τεχνολογικά τα δύο τελευταία εικονικά περιβάλλοντα βασίζονται σε επιτραπέζια συστήματα, έχοντας ως θετικό στοιχείο την άμεση δυνατότητα ένταξής τους στη διδακτική πράξη. Όσον αφορά στο σημαντικό θέμα της αξιολόγησης όλων των παραπάνω εφαρμογών, έχουν γίνει προσπάθειες μόνο για το εικονικό laser [9]. Οι φοιτητές Τμήματος Φυσικής που εργάστηκαν

με το εικονικό περιβάλλον εξοικειώθηκαν πολύ γρήγορα, συναρμολόγησαν και μελέτησαν με άνεση το σύστημα. Δυσκολία παρουσιάστηκε στο χειρισμό των εικονικών αντικειμένων με το γάντι δεδομένων και στην πλοήγησή τους στο εικονικό περιβάλλον. Επιπλέον δήλωσαν την επιθυμία τους για περισσότερο φωτορεαλιστική απεικόνιση των εικονικών αντικειμένων - εξαρτημάτων του laser.

Η παρούσα εργασία αποτελεί συνέχεια του εικονικού laser. Το laser ολοκληρώνεται σε ένα νέο εικονικό εργαστήριο, αφορά ένα laser συγκεκριμένου τύπου, με μεγαλύτερη αληθοφάνεια των εικονικών αντικειμένων. Επίσης παρουσιάζει μια διαμορφωτική αξιολόγηση του νέου εικονικού περιβάλλοντος από εξειδικευμένους χρήστες (special users).

V-Laser II (Virtual Approach to Stimulated Emission of Radiation)

Το νέο εικονικό laser περιέχει βελτιώσεις που άπτονται τεχνικών, λειτουργικών, και εκπαιδευτικών θεμάτων. Ολοκληρώνεται σε ένα εργαστήριο - εικονικό περιβάλλον που παρέχει στο χρήστη ένα χώρο ελεύθερης πλοήγησης, δράσης και μελέτης. Στο εργαστήριο βρίσκονται όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα και συσκευές για την κατασκευή ενός laser στερεάς κατάστασης νεοδυμίου (Nd:YAG). Τα εξαρτήματα που είναι απαραίτητα για την κατασκευή του και οι λειτουργίες που επιτελούν περιγράφονται ως εξής (εικόνα 1):

Εξάρτημα	Λειτουργία
1. Ανακλαστήρας άντλησης	Κατεύθυνση φωτός άντλησης προς ράβδο laser. Περικλείει λυχνία και ράβδο
2. Λυχνία άντλησης	Αντλεί οπτικά τη ράβδο του υλικού laser
3. Ράβδος υλικού laser Nd:YAG	Δημιουργεί το φως laser. Πρέπει να παραλληλισθεί απόλυτα με τη λυχνία
4. Κάτοπτρα οπτικής κοιλότητας	Το πίσω έχει ανακλαστικότητα 100%, και το εξόδου επιλέγεται μεταξύ 85% και 90%
5. Βάσεις στήριξης κατόπτρων	Ο χρήστης τοποθετεί τα κάτοπτρα και όλο το σύστημα στη σωστή θέση
6. Διπλασιαστής συχνότητας	Διπλασιάζει τη συχνότητα της δέσμης
7. Μονάδα ελέγχου	Ο χρήστης ελέγχει τη λειτουργία του συστήματος

Εικόνα 1. Άποψη του εργαστηρίου laser.



Ο χρήστης πλοηγείται στο εικονικό περιβάλλον, χειρίζεται τα εικονικά αντικείμενα, και εκτελεί τις λειτουργίες που περιγράφονται παραπάνω με τελικό στόχο την κατασκευή του συστήματος, την παραμετροποίησή και τη μελέτη λειτουργίας του. Οι εργασίες γίνονται με μια σειρά περιφερειακών συσκευών όπως το γάντι δεδομένων, το ποντίκι, το πληκτρολόγιο και την μπάρα πλοήγησης..

Πάνω στην τράπεζα του laser και μπροστά από τη θέση που πρέπει να τοποθετηθούν τα εξαρτήματά υπάρχουν ενδεικτικές λυχνίες που πιστοποιούν τη σωστή τοποθέτησή τους (πράσινη - σωστή, κόκκινη - λάθος). Επίσης οι λυχνίες βοηθούν το χρήστη να καταλάβει σε πιο ακριβώς σημείο γίνεται η τοποθέτηση των εξαρτημάτων για αποφυγή προβλημάτων αποπροσανατολισμού του στο τρισδιάστατο περιβάλλον, αφού η σωστή ευθυγράμμιση όλων των εξαρτημάτων και στις τρεις διαστάσεις είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Με την ολοκλήρωση κατασκευής του laser ο χρήστης θέτει το σύστημα σε λειτουργία από τη μονάδα ελέγχου. Σ' αυτήν υπάρχουν τα πλήκτρα 'Start' και 'Stop', αλλά και πλήκτρα με τα οποία μπορεί να γίνει αυξομείωση της ισχύος εξόδου του laser η οποία σημειώνεται σε ψηφιακή οθόνη. Η αυξομείωση της ισχύος εξόδου εκτός από τη ρύθμιση της ισχύος εισόδου, μπορεί να γίνει τοποθετώντας κάτοπτρα εξόδου διαφορετικής αναλαστικότητας. Επίσης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα τοποθετώντας το διπλασιαστή συχνότητας μέσα στο οπτικό αντηχείο, να διπλασιάσει τη συχνότητα της δέσμης εξόδου, με αποτέλεσμα το χρώμα της από υπέρυθρο να γίνει πράσινο. Όλοι οι παραπάνω χειρισμοί γίνονται από το χρήστη και εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο μέσω προσομοίωσης που 'τρέχει' στο υπόβαθρο.

Οι τεχνολογικές βελτιώσεις που αφορούν στην παρούσα έκδοση του εικονικού laser αφορούν πρώτα στην επιλογή νέου λογισμικού ανάπτυξης (SUPERSCAPE VRT) που παρέχει μεγάλες δυνατότητες αλληλεπίδρασης χρήστη - εικονικού περιβάλλοντος. Το εικονικό laser δεν είναι ένα απλοποιημένο θεωρητικό μοντέλο, αλλά προσομοίωση ενός πραγματικού συστήματος τύπου Nd:YAG. Τα εικονικά εξαρτήματα έχουν περισσότερη αληθοφάνεια και αντικαταστάθηκε το δύσχρηστο γάντι δεδομένων με άλλο σύγχρονο μεγαλύτερης ακρίβειας, σύμφωνα με τα αποτελέσματα προηγούμενης μελέτης [9]. Σχετικά με τις λειτουργικές βελτιώσεις, τοποθετήθηκαν οι ενδεικτικές λυχνίες και οι διεργασίες πλοήγησης και χειρισμού των αντικειμένων ενσωματώθηκαν σε μια περιφερειακή συσκευή σε αντίθεση με την προηγούμενη έκδοση όπου απαιτούνταν ταυτόχρονη χρήση ποντικιού και γαντιού δεδομένων. Ως προς τα θέματα που σχετίζονται άμεσα με την εκπαιδευτική διαδικασία, στην εφαρμογή ενσωματώθηκε αριθμητική προσομοίωση για τον υπολογισμό, παρουσίαση και μελέτη της ισχύος εξόδου του laser παραμετροποιημένη ως προς τα λειτουργικά στοιχεία που επηρεάζουν τη λειτουργία του συστήματος.

Διαμορφωτική αξιολόγηση

Το εικονικό laser II βρίσκεται στο στάδιο της διαμορφωτικής αξιολόγησης. Για το σκοπό αυτό έγινε εμπειρική μελέτη με δείγμα επτά (7) εξειδικευμένους χρήστες. Η εξειδίκευσή τους αφορούσε στην εμπειρία τους σε ανάπτυξη και χρήση εικονικών περιβαλλόντων. Ως προς την εμπειρία τους σε θέματα φυσικής laser, μόνο τρεις είχαν σχετική γνώση. Αυτό δεν επηρέασε τα αποτελέσματα της μελέτης, αφού βασικός της άξονας ήταν η μελέτη των δυνατοτήτων πλοήγησης και χειρισμού εικονικών αντικειμένων στον τρισδιάστατο χώρο του εικονικού εργαστηρίου, στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου εκπαιδευτικού ανοικτού περιβάλλοντος με βάση ένα καθορισμένο εκπαιδευτικό σενάριο. Κάθε χρήστης εργάστηκε επί μισή ώρα με την εφαρμογή μέχρι να περατώσει το στόχο του, την κατασκευή, λειτουργία και αλλαγών συνθηκών λειτουργίας του laser. Ο χρήστης είχε τη δυνατότητα για τις παρακάτω διεργασίες. Ελεύθερη πλοήγηση, εντοπισμός και μελέτη κάθε εικονικού εξαρτήματος με περιστροφή και μετακίνησή του. Τοποθέτηση στη σωστή θέση κάθε αντικειμένου ώστε να ολοκληρωθεί το laser, έναρξη λειτουργίας του, μελέτη με την αλλαγή παραμέτρων (ισχύς εισόδου, αλλαγή κάτοπτρου εξόδου, εισαγωγή κρυστάλλου διπλασιασμού συχνότητας). Κάθε μια από τις

παραπάνω διεργασίες υλοποιήθηκε από κάθε χρήστη με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους χρησιμοποιώντας διαδοχικά και με τυχαία σειρά το γάντι δεδομένων, το πληκτρολόγιο, το ποντίκι, και την μπάρα πλοήγησης.

Με το γάντι δεδομένων στο δεξί του χέρι, ο χρήστης περιηγείται στο εικονικό εργαστήριο. Η θέση του χεριού και η κλίση των δακτύλων υπολογίζονται μέσω οπτικών ινών που στέλνουν ηλεκτρικά σήματα στον υπολογιστή και αναπαριστούν τις ενέργειες του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης πλοηγείται, πιάνει, περιστρέφει και μεταφέρει αντικείμενα με φυσιολογικούς χειρισμούς σα να χειρίζεται πραγματικά αντικείμενα. Με το πληκτρολόγιο, η πλοήγηση και η μετακίνηση των αντικειμένων γίνεται με τα 'βέλη'. Η περιστροφή των αντικειμένων γίνεται από τα πλήκτρα A, S, W, Z και το σήκωμα του εξαρτήματος με τα πλήκτρα Y, H. Στη περίπτωση αυτή, ο χρήστης πρέπει να δηλώσει με το ποντίκι πιο αντικείμενο θα μετακινήσει (ενεργό αντικείμενο). Με το ποντίκι κάνοντας αριστερό κλικ σε κάποιο αντικείμενο και με διαδικασίες τύπου 'σύρε και άφησε' (drag and drop) μπορεί να το μετακινήσει και να το τοποθετήσει στη σωστή θέση. Η περιστροφή των αντικειμένων γίνεται με δεξί κλικ, ενώ οι μοίρες περιστροφής καθορίζονται από το πληκτρολόγιο. Τέλος, όλοι οι χειρισμοί των εξαρτημάτων γίνονται και από την μπάρα πλοήγησης που παρέχει το λογισμικό (VRT). Ο χρήστης κάνοντας κλικ με το ποντίκι στο αντικείμενο που θέλει να επεξεργαστεί (ενεργό αντικείμενο) το φέρνει μπροστά του και με την μπάρα έχει τη δυνατότητα καθώς κινείται ο ίδιος, να μετακινεί μαζί του και το αντικείμενο. Έχει επίσης τη δυνατότητα να το στρέψει πάλι με την μπάρα ώστε να μπορέσει να το τοποθετήσει στο laser με τον κατάλληλο προσανατολισμό.

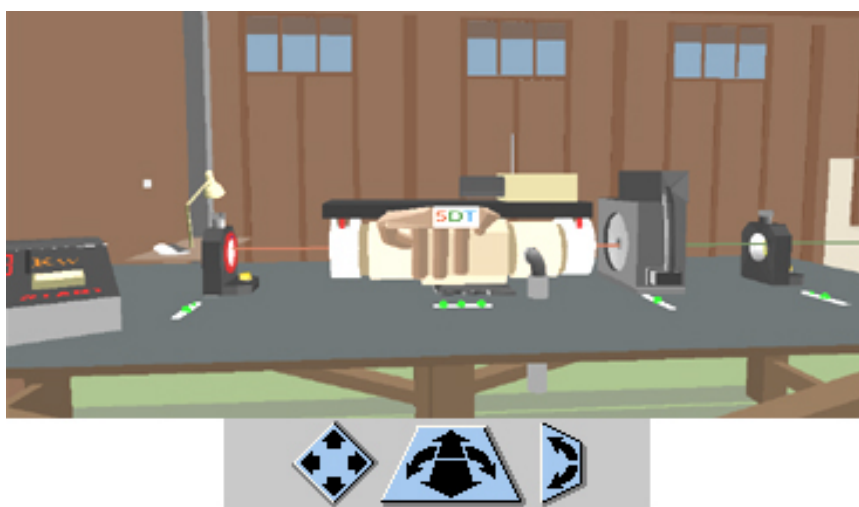
Ο πίνακας 1 παρουσιάζει συγκριτικά αποτελέσματα που αφορούν στη χρήση των τεσσάρων διαφορετικών συσκευών για το χειρισμό των εικονικών αντικειμένων. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι μεγαλύτερες δυσκολίες παρουσιάστηκαν κατά τη χρήση του γαντιού δεδομένων, παρά τη μεγάλη εμπειρία των χρηστών σε τέτοιου είδους συσκευές και τη μεγάλη διακριτική ικανότητα του γαντιού. Από τη συζήτηση με τους εξειδικευμένους χρήστες προέκυψε ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίστηκε στην ακριβή και όχι πάντα πετυχημένη θέση που έπρεπε να έχουν τα δάκτυλά τους ώστε να υλοποιηθούν συγκεκριμένες ενέργειες από το εικονικό τους χέρι. Κατάληξη της συζήτησης ήταν η χρήση εξωσκελετικών συστημάτων (exoskeletons) για τον απρόσκοπτο χειρισμό εικονικών αντικειμένων, συστημάτων που βρίσκονται ακόμη σε ανάπτυξη [10]. Το ποντίκι θεωρήθηκε από όλους ως η πλέον κατάλληλη συσκευή για την πλοήγηση στο τρισδιάστατο συνθετικό περιβάλλον, παρότι δεν είναι σχεδιασμένο για τέτοιου είδους περιβάλλοντα. Στην ερώτηση σχετικά με την αίσθηση χρήσης εξαρτημάτων και πλήκτρων πραγματικής συσκευής, οι τέσσερις από τους επτά χρήστες ανέφεραν ότι το ποντίκι, με δεύτερη επιλογή από όλους το γάντι δεδομένων, τους έδωσαν την αίσθηση χειρισμού πραγματικής συσκευής. Σχετικά με τη διαδικασία μετακίνησης των εικονικών αντικειμένων, οι χρήστες προτίμησαν όλες τις συσκευές εκτός από το πληκτρολόγιο, θεωρώντας ότι πλησιάζουν την αντίστοιχη διαδικασία στον πραγματικό κόσμο. Φαίνεται ότι η αίσθηση δράσης σε ένα εικονικό περιβάλλον δεν προκύπτει από τα χαρακτηριστικά 'φυσιολογικής χρήσης' των περιφερειακών συσκευών, αλλά από την εμπειρία και εξοικείωση των χρηστών.

ΣΥΣΚΕΥΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	Γάντι	Πληκτρολόγιο	Ποντίκι	Μπάρα
Ευκολία χρήσης	3	5	5	5
Κουραστική χρήση	5	0	0	0
Δυσανασχέτηση	3	2	1	2
Φυσιολογική κίνηση	4	3	6	4

Πίνακας 1. Χαρακτηρισμός χρήσης των συσκευών χειρισμού αντικειμένων.

Σχετικά με την πλοήγηση στο εικονικό περιβάλλον μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάστηκε κατά τη χρήση του γαντιού, το οποίο βέβαια δεν ενδείκνυται για τέτοιου είδους εργασία παρότι παρέχει τη δυνατότητα. Οι συσκευές που διευκόλυναν τους χρήστες κατά σειρά προτίμησης είναι το πληκτρολόγιο, η μπάρα πλοήγησης, και το ποντίκι. Σχετικά με την αίσθηση ότι βρίσκονται σε πραγματικό χώρο, πέντε χρήστες ανέφεραν τη χρήση της μπάρας, τέσσερις το γάντι και το ποντίκι, και μόνο ένας το πληκτρολόγιο. Από τη συζήτηση που ακολούθησε, προέκυψε ότι η μπάρα δίνει περισσότερο την αίσθηση του πραγματικού, εξαιτίας της ύπαρξης ξεχωριστών εικονικών πλήκτρων για κίνηση με έξι βαθμούς ελευθερίας (εικόνα 2).

Εικόνα 2. Το εικονικό laser σε λειτουργία. Φαίνονται η μπάρα πλοήγησης, και το εικονικό χέρι. Η δέσμη αναπαρίσταται με κόκκινο μέχρι τον κρύσταλλο διπλασιασμού. Από την έξοδο του, η δέσμη γίνεται πράσινη (διπλάσια συχνότητα).



Σχετικά με την αληθοφάνεια των εικονικών αντικειμένων, οι έξι από τους επτά εξειδικευμένους χρήστες τη θεώρησαν ικανοποιητική. Ο έβδομος χρήστης δεν ικανοποιήθηκε, όντας εξοικειωμένος με λογισμικά εικονικής τοπιογραφίας και γραφικά με πολύ υψηλή ανάλυση. Όπως φαίνεται και σε αυτήν την περίπτωση, η προηγούμενη εμπειρία παίζει σημαντικό ρόλο για την αίσθηση και την κρίση εικονικών περιβαλλόντων.

Η αξιολόγηση του εικονικού laser II συνεχίζεται με δείγμα μεταπτυχιακού φοιτητές Τμήματος Φυσικής και βασικό άξονα τη μελέτη μαθησιακών αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την αξιοποίησή του στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Αναφορές

Youngblut C., Educational Uses of Virtual Reality Technology, Institute for Defense Analyses, IDA Document D-2128, January 1998, available at <http://www.hitl.washington.edu/sci/vv/youngblut-edvr/D2128.pdf>

Νικολού Ε., Τσάκαλης Π., Γιούνης Α., Μπέλλου Ι., Μικρόπουλος Τ. "Εικονική πραγματικότητα στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών. Κριτική θεώρηση" Βιβλίο περιλήψεων του 4ου Πανελληνίου συνεδρίου Διδακτικής των Μαθηματικών και Πληροφορικής στην Εκπαίδευση, σ. 35-36, Ρέθυμνο, Οκτώβριος (1999)

Dede C., Salzman M., Calhoun C., Loftin R. B., Hoblit J., Regian J. W., The Design of Artificial Realities to Improve Learning Newtonian Mechanics, Proceedings of the 1994 East-West International

- Conference on Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality Moscow, September 14-16, 1994 (also available at <http://www.vetl.uh.edu/ScienceSpace/newton.html>)
- DEVRL, The distributed Extensible Virtual Reality Laboratory, <http://www.comp.lancs.ac.uk/computing/research/cseg/projects/devrl/index.html>
- Dede C., Salzman M. C., Loftin R. B., ScienceSpace: Virtual Realities for Learning Complex and Abstract Scientific Concepts, available at <http://www.vetl.uh.edu/ScienceSpace/absvir.html>
- Moher, T., Johnson, A., Ohlsson, S., Gillingham, M., Bridging Strategies for VR-Based Learning, In the proceedings of CHI 99, Pittsburgh, Pennsylvania, May 15-20, 1999, pp.536-543. (also available at <http://www.evl.uic.edu/aej/papers/chihtml/chi99paper.htm>)
- Brown D. J., Mikropoulos T. A., Kerr S. J., A virtual laser physics laboratory, VR in the Schools, December 1996, Vol. 2, no. 3, pp.3-8
- Μικρόπουλος Τ., Δήμου Γ. Ηλ., Γκουζίνης Χ., Ενίσχυση εμπειριών μέσω εικονικής πραγματικότητας: Ένα παράδειγμα από το χώρο των φυσικών επιστημών, 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο με διεθνή συμμετοχή «Διδακτική των Μαθηματικών και Πληροφορική στην Εκπαίδευση», Πάτρα, 9-11 Μαΐου 1997
- T. A. Mikropoulos. Virtual Environments in Science Education. *International Conference Virtual Reality in Education & Training* 43 – 48, Loughborough, UK, June (1997)
- Burdea G & Coiffet P. "Virtual Reality Technology", Wiley NY (1994)