

Η Εικονική Πραγματικότητα ως Εργαλείο Δημιουργίας Νοητικών Αναπαραστάσεων: ένα Παράδειγμα από τον Τομέα των Φυσικών Επιστημών

Χρήστος Μπάκας

Υπ. Διδάκτορας, καθηγητής ΠΕ19, Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
me00242@cc.uoi.gr

Απόστολος Κατσίκης

Αναπληρωτής Καθηγητής, Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
akatsiki@cc.uoi.gr

Τάσος Μικρόπουλος

Αναπληρωτής Καθηγητής, Π.Τ.Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
amikrop@cc.uoi.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έχει παρατηρηθεί ότι οι μαθητές κατασκευάζουν ποικίλα και διαφορετικά μεταξύ τους νοητικά μοντέλα σχετικά με τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο ηλιακό μας σύστημα και αφορούν την καθημερινή μας ζωή (μέρα – νύχτα, εποχές). Η συμβατική διδασκαλία συνήθως δε βοηθάει επαρκώς στο ξεπέρασμα των παρανοήσεων και τη δημιουργία σωστών νοητικών αναπαραστάσεων. Σκοπός της έρευνάς μας ήταν να διαπιστώσουμε τη συμβολή της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στην διατήρηση, αλλαγή και κατασκευή νοητικών μοντέλων που σχετίζονται με τα εν' λόγω φαινόμενα. Το τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον που κατασκευάσαμε παρείχε στους μαθητές νέες εμπειρίες και προσωπική επαφή με τα αντικείμενα και τα φαινόμενα του ηλιακού μας συστήματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μαθητές ενθουσιάστηκαν από την επαφή με τον εικονικό χώρο και απέβαλλαν τις περισσότερες από τις παρανοήσεις που είχαν για τις κινήσεις των ουράνιων σωμάτων και τα φαινόμενα που δημιουργούνται λόγω των κινήσεων αυτών.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Εικονικά Περιβάλλοντα, Νοητικά Μοντέλα, Αστρονομία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την επαφή και την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον ο άνθρωπος δημιουργεί νοητικές αναπαραστάσεις (νοητικές εικόνες, νοητικά μοντέλα) για πρόσωπα και πράγματα, καθώς και για φαινόμενα που συμβαίνουν μέσα σ' αυτό. Ο όρος νοητικό μοντέλο χρησιμοποιείται για να περιγράψει το ιδιαίτερο εκείνο είδος νοητικών αναπαραστάσεων που έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: α) η δομή τους είναι ανάλογη με τις καταστάσεις του κόσμου που αντιπροσωπεύουν, β) μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο «νοητικού χειρισμού» για την παραγωγή προβλέψεων σχετικά με τις αιτιακές καταστάσεις του φυσικού κόσμου και γ) προσφέρουν εξηγήσεις των φυσικών φαινομένων (Vosniadou και Brewer, 1994). Πρόκειται για υψηλού επιπέδου νοητικά κατασκευάσματα που σκοπό έχουν να αναπαραστήσουν τη δομή

αντικειμένων, πεποιθήσεων ή θεωριών που ίσως δεν έχουν γίνει ποτέ ορατά, όπως το νοητικό μοντέλο του ηλιακού συστήματος (Βοσνιάδου, 1998)

Τα παιδιά έρχονται στο σχολικό χώρο με πληθώρα διαφορετικών ερμηνειών αναφορικά με τα πλανητικά φαινόμενα. Παρότι, όμως, βρίσκονται στην ίδια ηλικία και έχουν παρόμοιες εμπειρίες οι εξηγήσεις που δίνουν σ' αυτά παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιομορφία.

Όταν αναφερόμαστε στις γνώσεις των παιδιών σχετικά με το ηλιακό μας σύστημα και τα πλανητικά φαινόμενα που συμβαίνουν εννοούμε την κατανόηση του συστήματος Ήλιος – Γη, τις κινήσεις των σωμάτων του συστήματος αυτού, καθώς επίσης και τα φαινόμενα που οφείλονται σ' αυτά. Οι κινήσεις των σωμάτων προκαλούν προβλήματα όσον αφορά στην κατανόησή τους καθώς όροι όπως περιστροφή-περιφορά και ελλειπτική-κυκλική τροχιά εναλλάσσονται πολύ συχνά δημιουργώντας σύγχυση. Επίσης, παρότι για τα φαινόμενα εναλλαγής μέρας και νύχτας και αλλαγής εποχών του έτους δίνονται στους μαθητές πληροφορίες και εξηγήσεις στις σχετικές ενότητες των βιβλίων, δεν τους παρέχονται τα απαραίτητα μέσα για την επαρκή εξήγηση αυτών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία και διατήρηση διαφόρων παρανοήσεων (Jones and Lynch 1987, Baxter 1989, Brewer and Vosniadou 1992, 1994)

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να καταγραφούν τα νοητικά μοντέλα μαθητών αναφορικά με τα παραπάνω δύο φαινόμενα και να ελεγχθεί η συμβολή της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας στη διατήρηση, την αλλαγή τους ή τη δημιουργία νέων.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα διεξήχθη σε δύο φάσεις. Σκοπός της πρώτης φάσης ήταν η διαπίστωση και καταγραφή μοντέλων σκέψης των μαθητών σχετικά με τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο σύστημα Ήλιος – Γη έπειτα από τη διδασκαλία της σχετικής ενότητας στο σχολείο. Κατά τη δεύτερη φάση οι μαθητές αλληλεπίδρασαν με εικονικούς κόσμους που σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν γι' αυτό το σκοπό. Στόχος μας ήταν να διαπιστώσουμε κατά πόσο η Εικονική Πραγματικότητα μπορεί να συμβάλει ποιοτικά στη διδασκαλία, με τη δημιουργία νέων νοητικών μοντέλων σκέψης, την αλλαγή των υπαρχόντων (που παρατηρήθηκαν στους μαθητές κατά την προηγούμενη συνέντευξη) και, ταυτόχρονα, τη διατήρηση των σωστών μοντέλων.

Ολόκληρο το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την πρώτη συνέντευξη αποτελούνταν από 57 μαθητές της Α' Γυμνασίου (25 αγόρια και 32 κορίτσια), ηλικίας 12 και 13 ετών. Από αυτούς οι 27 (9 αγόρια και 18 κορίτσια) αποτέλεσαν την πειραματική ομάδα, η οποία πήρε μέρος στη δεύτερη έρευνα που πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Εικονικής Πραγματικότητας. Οι 57 μαθητές του δείγματος επιλέχθηκαν με τη μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας κατά στρώματα (Παρασκευόπουλος 1993). Στον τρόπο επιλογής των μαθητών δεν έπαιξαν ρόλο η βαθμολογία των μαθητών στο μάθημα της Γεωγραφίας, η επαφή και γνώση ηλεκτρονικών υπολογιστών, η γενικότερη επίδοσή τους στο σχολείο και το μορφωτικό επίπεδο των γονιών τους.

Η 1η ΕΡΕΥΝΑ

Η ΠΡΩΤΗ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗ

Η διάρκειά της πρώτης συνέντευξης ήταν 20 λεπτά. Οι μαθητές είχαν στη διάθεσή τους λευκή κόλλα και στυλό για τη περίπτωση που θα χρειαζόταν να σχεδιάσουν κάτι καθώς επίσης και μια υδρόγειο σφαίρα γραφείου.

Οι μαθητές των τεσσάρων τμημάτων της Α' τάξης είχαν παρακολουθήσει, τρεις με τέσσερις εβδομάδες πριν τη συνέντευξη, συμβατική διδασκαλία στα πλαίσια του μαθήματος της Γεωγραφίας. Αντικείμενο της ενότητας που διδάχθηκε αποτελούσαν τα εξής: α) Άστρα - Ήλιος, β) Πλανήτες, γ) Γη - Κινήσεις Γης, δ) Θερμικές ζώνες και στ) Μεσημβρινοί – Παράλληλοι.

Σκοπός της πρώτης συνέντευξης ήταν η καταγραφή μοντέλων σκέψης των μαθητών σχετικά με τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο σύστημα Ήλιος – Γη έπειτα από τη διδασκαλία της παραπάνω ενότητας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗΣ

Οι ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν στη συνέντευξη προέκυψαν έπειτα από πιλοτική έρευνα με ερωτηματολόγιο που προηγήθηκε σε 102 μαθητές του ίδιου σχολείου (Μπάκας κ.α., 1999).

Οι βασικές κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται, και οι οποίες θα αποτελέσουν τους άξονες δημιουργίας των μοντέλων σκέψης των μαθητών, είναι οι εξής:

A. Κινήσεις Γης

1. Ποιες κινήσεις κάνει η Γη στο διάστημα;
2. Υπάρχει αλλαγή στην απόσταση ανάμεσα στον Ήλιο και τη Γη κατά της κίνησης της Γης γύρω από τον Ήλιο;

B. Φαινόμενο εναλλαγής μέρας και νύχτας

1. Πώς γίνεται η αλλαγή από τη μέρα στη νύχτα;
2. Όταν στην Ελλάδα είναι πρωί και βλέπουμε τον Ήλιο ψηλά στον ουρανό πες μου σε ποιες περιοχές έχει σκοτάδι; Γιατί;
3. Όταν στην Ελλάδα είναι μεσάνυχτα τι συμβαίνει σχετικά με τον Ήλιο στην Αυστραλία; Στη Νέα Υόρκη; Γιατί;

Το πρώτο ερώτημα της κατηγορίας είναι το βασικότερο, καθώς είναι εκείνο που ζητάει από τα παιδιά να εξηγήσουν τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η μετάβαση από τη μέρα στη νύχτα. Κατόπιν, επιχειρούμε να διερευνήσουμε κατά πόσο οι γνώσεις που κατέχουν οι μαθητές για το φαινόμενο αυτό τους δίνει τη δυνατότητα να βγάζουν συμπεράσματα ή αν απλά οι γνώσεις αυτές παραμένουν αδρανείς και αποτελούν προϊόν απομνημόνευσης. Τα επόμενα δύο ερωτήματα, λοιπόν, είναι εκείνα που θα δείξουν ουσιαστικά την κατανόηση του φαινομένου και παράλληλα τη χρηστικότητα της γνώσης του στην καθημερινή μας ζωή. Θέτοντας, λοιπόν, το δεύτερο ερώτημα εντοπίζουμε το αποτέλεσμα του φαινομένου σε μια περιοχή (Ελλάδα - μέρα) και αναζητούμε περιοχές με διαφορετικές συνέπειές αυτού (νύχτα). Στη συνέχεια, με το τρίτο ερώτημα επιχειρούμε το αντίθετο, καθώς εντοπίζουμε, πάλι, το αποτέλεσμα του φαινομένου σε μια περιοχή (Ελλάδα - μεσάνυχτα) και αναζητούμε τις συνέπειες του φαινομένου σε συγκεκριμένες περιοχές (Αυστραλία, Ν. Υόρκη).

Γ. Φαινόμενο αλλαγής εποχών του έτους

1. Τώρα ντύνεσαι ζεστά ενώ το καλοκαίρι φοράς κοντομάνικα. Γιατί αλλάζει η θερμοκρασία σε μια περιοχή της Γης (π.χ. Ελλάδα) κατά τη διάρκεια του έτους και πότε έχουμε ζέστη και πότε κρύο;
2. Ποιες περιοχές παρουσιάζουν πάντα τις υψηλότερες θερμοκρασίες;
3. Όταν στην Ελλάδα έχει πολλή ζέστη σε ποιες περιοχές έχει κρύο; Γιατί;
4. Τι θερμοκρασία έχει ο Καναδάς τον Ιανουάριο; Η Αυστραλία; Γιατί;

Και πάλι εδώ η πρώτη είναι η βασική ερώτηση με την οποία ζητούμε από τα παιδιά να ερμηνεύσουν το φαινόμενο. Η δεύτερη ερώτηση έχει ιδιαίτερη σκοπιμότητα καθώς χρησιμοποιήθηκε για να διαπιστώσουμε αν τα παιδιά θα μπορούσαν να αιτιολογήσουν την απάντησή τους με βάση τα όσα ισχυρίστηκαν στην προηγούμενη ερώτηση ή αν θα δώσουν απάντηση που θα είναι αποτέλεσμα απομνημόνευσης (Ισημερινός) ή συνηθισμένης σύγχυσης (έρημοι). Με την τρίτη και την τέταρτη ερώτηση ελέγχουμε το κατά πόσο μπορούν να προβούν σε συμπεράσματα και να εντοπίσουν πρώτα τις περιοχές εκείνες που έχουν διαφορετική θερμοκρασία από εμάς εδώ στην Ελλάδα και, ακολούθως, να υπολογίσουν τι συμβαίνει σχετικά με τη θερμοκρασία σε μακρινά, από εμάς, μέρη κάποια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

ΜΟΝΤΕΛΑ 1ΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι παραπάνω κατηγορίες ερωτημάτων αποτέλεσαν τη βάση για τη δημιουργία μοντέλων σκέψης των μαθητών. Οι απαντήσεις που δόθηκαν στα ερωτήματα αυτά μας οδήγησαν στην

κατασκευή διαγραμμάτων ατομικών χαρακτηριστικών και εν συνεχεία στο σχηματισμό ατομικών μοντέλων μαθητών.

A. ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Βασιζόμενοι στις απαντήσεις που δόθηκαν στα δύο ερωτήματα που αφορούν τις κινήσεις της Γης καταγράψαμε τα παρακάτω μοντέλα:

Μοντέλο A.1: η Γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τον Ήλιο σε σταθερή απόσταση από αυτόν (19 μαθητές).

Μοντέλο A.2: η Γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της, γύρω από τον Ήλιο, σε σταθερή απόσταση, και μαζί με τον Ήλιο κινείται στο διάστημα (9 μαθητές).

Μοντέλο A.3: η Γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τον Ήλιο και η απόσταση από αυτόν μεταβάλλεται (16 μαθητές).

Μοντέλο A.4: η Γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της, γύρω από τον Ήλιο, σε σταθερή απόσταση, και μαζί με τον Ήλιο κινείται στο διάστημα (6 μαθητές).

Διάφορα μεμονωμένα μοντέλα: μοντέλα που υποστηρίχθηκαν από ένα μαθητή το καθένα, όπως: «η Γη γυρίζει γύρω από τον Ήλιο σε απόσταση που αλλάζει και συγχρόνως πηγαίνει πάνω – κάτω», «η Γη γυρίζει μόνο γύρω από τον Ήλιο σε σταθερή απόσταση από αυτόν», «η Γη γυρίζει γύρω από τον Ήλιο σε σταθερή απόσταση, γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τη σελήνη», «η Γη γυρίζει γύρω από τον Ήλιο σε σταθερή απόσταση και γύρω από τους πλανήτες».

B. ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΝΥΧΤΑΣ

Τα μοντέλα που παρατηρήθηκαν αναφορικά με το φαινόμενο εναλλαγής μέρας και νύχτας ήταν τα εξής:

Μοντέλο B.1: Καθώς η Γη περιστρέφεται, οι περιοχές που βλέπουν τον Ήλιο έχουν μέρα ενώ οι πίσω περιοχές έχουν νύχτα (45 μαθητές).

Οι περισσότεροι από τους μαθητές του μοντέλου αυτού (36 μαθητές) διατύπωσαν την επιστημονικά αποδεκτή εξήγηση του φαινομένου. Επιπλέον έδειξαν ότι μπορούν και να εντοπίσουν τις περιοχές που έχουν σκοτάδι όταν στην Ελλάδα έχουμε μέρα, καθώς επίσης και να υπολογίσουν τις συνέπειες του φαινομένου σε άλλες περιοχές της Γης όταν στην Ελλάδα είναι μεσάνυχτα. Μια δεύτερη ομάδα μαθητών (8 μαθητές) που έδωσε την ίδια εξήγηση του φαινομένου δεν μπόρεσε να απαντήσει σωστά σε ένα και τα δύο επόμενα ερωτήματα που ζητούσαν την εξαγωγή συμπερασμάτων με βάση την εξήγηση που διατυπώθηκε για το εν λόγω φαινόμενο. Τέλος, υπήρξε ένας μόνο μαθητής που, αν και γνώριζε την αιτία του εν λόγω φαινομένου, ουσιαστικά δεν μπορούσε να χρησιμοποιήσει τη γνώση αυτή παραγωγικά.

Μοντέλο B.2: Καθώς ο Ήλιος γυρίζει φωτίζει μερικές μόνο περιοχές και αυτές έχουν μέρα (5 μαθητές).

Οι πέντε μαθητές που ανέπτυξαν αυτό το μοντέλο, με εξαίρεση έναν μαθητή, δεν μπορούσαν ούτε να εντοπίσουν τις περιοχές που έχουν σκοτάδι όταν στην Ελλάδα έχουμε μέρα, ούτε να υπολογίσουν το τι συνέβαινε αναφορικά με τον Ήλιο στην Αυστραλία και στη Ν. Υόρκη όταν στην Ελλάδα έχουμε μεσάνυχτα.

Διάφορα μεμονωμένα μοντέλα: Διάφορα μοντέλα που υποστηρίχθηκαν από έναν μαθητή το καθένα και που θεωρούν πως «ο Ήλιος μία φωτίζει το βόρειο μέρος και έχει μέρα και μία το νότιο», «όταν η Γη πλησιάζει τον Ήλιο το μέρος της που βλέπει τον Ήλιο έχει μέρα και μετά καθώς γυρνάει γίνεται από την άλλη μεριά μέρα», «Η Γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της και κάποιες ώρες οι ακτίνες δεν φτάνουν στη Γη».

Γ. ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΕΠΟΧΩΝ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ

Τα μοντέλα που παρατηρήθηκαν αναφορικά με το φαινόμενο της αλλαγής των εποχών του έτους ήταν τα εξής:

Μοντέλο Γ.1: Οι περιοχές της Γης στις οποίες οι ακτίνες του Ήλιου πέφτουν σχεδόν κάθετα έχουν ζέστη, ενώ εκείνες στις οποίες οι ακτίνες πέφτουν πλάγια έχουν κρύο (16 μαθητές).

Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό ο βασικός λόγος για τη δημιουργία των εποχών είναι ο διαφορετικός τρόπος με τον οποίο πέφτουν οι ακτίνες του Ήλιου πάνω στη Γη ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται αυτή κάθε φορά. Έτσι, όταν μια περιοχή δέχεται κάθετα τις ακτίνες του Ήλιου τότε η περιοχή αυτή θερμαίνεται, ενώ όταν οι ακτίνες κτυπούν πλάγια την επιφάνειά της τότε στην περιοχή αυτή επικρατεί κρύο. Παρότι το επιστημονικά αποδεκτό αυτό μοντέλο υποστηρίχτηκε από 16 μαθητές, μόνο οι 7 από αυτούς μπόρεσαν να υποδείξουν τις περιοχές εκείνες του πλανήτη με θερμοκρασία εντελώς διαφορετική από αυτή της χώρας μας και από αυτούς μόνο οι 4 απάντησαν σωστά και στην τέταρτη ερώτηση που αφορούσε στη θερμοκρασία διαφόρων περιοχών μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Μοντέλο Γ.2: Η Γη μετακινείται και πλησιάζει στον Ήλιο το καλοκαίρι, ενώ απομακρύνεται από αυτόν το χειμώνα (24 μαθητές).

Οι περισσότεροι μαθητές της έρευνας σχημάτισαν νοητικό μοντέλο του συστήματος σύμφωνα με το οποίο η απόσταση μεταξύ Γης και Ήλιου δεν είναι σταθερή αλλά αλλάζει. Η Γη λοιπόν, πλησιάζει και απομακρύνεται από τον Ήλιο με αποτέλεσμα όταν είναι κοντά σε αυτόν να έχουμε ζέστη (και καλοκαίρι) και όταν είμαστε μακριά από αυτόν έχουμε κρύο (και χειμώνα). Το μοντέλο όμως αυτό που διαμόρφωσαν τους δυσκόλεψε όταν ρωτήθηκαν να συμπεράνουν και να εντοπίσουν τις περιοχές με διαφορετική από εμάς θερμοκρασία (κρύο), με αποτέλεσμα να περισσότεροι από αυτούς (15 μαθητές) να δώσουν την εύκολη απάντηση ονομαζόντας τις περιοχές εκείνες που έχουν πάντα σχεδόν σταθερές θερμοκρασίες (Β. Και Ν. Πόλος).

Μοντέλο Γ.3: Ο Ήλιος χτυπάει μια περιοχή πότε κάθετα, πότε οριζόντια, πότε ίσια (4 μαθητές).

Μοντέλο που υποστηρίχτηκε, παραδόξως, από 4 μαθητές και δείχνει μία σύγχυση σχετικά με έναν Ήλιο ο οποίος για κάποιο λόγο ρίχνει πλάγιες, κάθετες και οριζόντιες ακτίνες. Οι απαντήσεις αυτές των συγκεκριμένων μαθητών μάλλον δείχνουν συγκράτηση αλλά όχι επεξεργασία κάποιων πληροφοριών του σχολικού βιβλίου.

Μοντέλο Γ.4: Οι περιοχές που βλέπει ο Ήλιος έχουν καλοκαίρι και οι περιοχές που δεν βλέπει έχουν χειμώνα. (3 μαθητές).

Οι τρεις αυτοί μαθητές συγχέουν το φαινόμενο αυτό με εκείνο της μέρας και νύχτας και θεωρούν πως όταν ο Ήλιος φωτίζει μια περιοχή τότε αυτή έχει ζέστη.

Μοντέλο Γ.5: Κάνει κρύο όταν έχουμε χειμώνα και ζέστη όταν έχουμε καλοκαίρι (2 μαθητές).

Δύο μαθητές εξήγησαν το φαινόμενο βασιζόμενοι στο αποτέλεσμά του. Έτσι θεώρησαν πως ο ερχομός του χειμώνα φέρνει το κρύο και όχι πως ο χειμώνας είναι ο ίδιος το αποτέλεσμα του συγκεκριμένου φαινομένου.

Βλέπουμε πως οι γνώσεις των μαθητών ιδιαίτερα αναφορικά με το φαινόμενο εναλλαγής μέρας και νύχτας ήταν πολύ ικανοποιητικές. Οι περισσότεροι από αυτούς, μάλιστα, δεν δυσκολεύτηκαν να υπολογίσουν και τη διαφορά της ώρας ανάμεσα σε διαφορετικές περιοχές της Γης. Αρκετοί, πάντως, μαθητές βρέθηκε να παρουσιάζουν προβλήματα και παρανοήσεις σχετικά με: α) την απόσταση μεταξύ Ήλιου και Γης, την οποία δεν θεωρούσαν σταθερή, β) τη συσχέτιση μεταξύ της απόστασης των δύο σωμάτων και της θερμοκρασίας σε μία περιοχή (κοντά στον Ήλιο έχει ζέστη, μακριά από αυτόν κρύο), γ) τη σταθερή θερμοκρασία που χαρακτηρίζει έναν τόπο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Αυστραλία και Βραζιλία = ζέστη, Καναδάς και Γερμανία = κρύο). Τέλος, συχνά οι απαντήσεις τους ήταν βιαστικές, τυχαίες και χωρίς αιτιολόγηση ή στηρίζονταν σε εμπειρίες και απόψεις άλλων (π.χ. η θεία μου στον Καναδά μου είπε...).

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Μετά την πρώτη φάση της έρευνας και την καταγραφή των νοητικών μοντέλων των μαθητών πραγματοποιήθηκε επαφή των μαθητών με τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον προσομοίωσης αρχικά του ηλιακού μας συστήματος και στη συνέχεια του συστήματος Γη – Ήλιος.

Πολύ περιορισμένος είναι ο αριθμός των εκπαιδευτικών εικονικών περιβαλλόντων που έχουν σχεδιαστεί για τη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών (Dede 1994, Mikropoulos 1997, Youngblut 1998, Johnson et al 1998). Ακόμη λιγότερα αφορούν την Αστρονομία και το ηλιακό σύστημά μας και αναπτύχθηκαν τόσο για τα μικρά παιδιά όσο και για σπουδαστές. Ο Johnson και οι συνεργάτες του (Johnson et al, 1999) στο Πανεπιστήμιο του Ιλλινόις δημιούργησαν το Round Earth Project για τη μελέτη της τεχνολογίας της Εικονικής Πραγματικότητας και πως αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στη διδασκαλία εννοιών που είναι αντίθετες με τα νοητικά μοντέλα που έχουν αναπτύξει τα παιδιά. Σε πανεπιστημιακό επίπεδο, ο Barab και οι συνεργάτες του (Barab et al, 2000) πρότειναν τρισδιάστατα εργαλεία μοντελοποίησης για την κατασκευή μοντέλων εικονικής πραγματικότητας του ηλιακού συστήματος από τους προπτυχιακούς σπουδαστές. Ο Yair και οι συνεργάτες του (Yair, 2001) πρότειναν εικονικά ταξίδια για τη μελέτη των ουράνιων σωμάτων χωρίς να έχουν δώσει όμως κάποια στοιχεία τα οποία να έχουν προκύψει από εμπειρικές μελέτες.

Η βασική διαφοροποίηση της δικής μας εφαρμογής από τις παραπάνω είναι ότι δεν αποτελεί εφαρμογή εμπύθισης, με όλα τα θετικά αλλά κυρίως τα αρνητικά που σημαίνει αυτό (Gay, 1994) και δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό παρά μόνο προσωπικούς υπολογιστές όμοιους με αυτούς που υπάρχουν σε όλα τα σχολικά εργαστήρια. Επίσης, εκτός από την ελεύθερη πλοήγηση που επιτρέπει, εστιάζει την προσοχή του χρήστη σε εκείνα τα σημεία για τα οποία και κατασκευάστηκε (κινήσεις σωμάτων, φαινόμενα). Σκοπός μας, λοιπόν, είναι να δημιουργηθεί το κατάλληλο περιβάλλον μέσα στο οποίο ο μαθητής θα μπορεί να έρθει σε άμεση επαφή με τα ουράνια σώματα και τα φαινόμενα που συμβαίνουν στο ηλιακό μας σύστημα, και ειδικότερα στο σύστημα Γη - Ήλιος, να γνωρίσει από κοντά και να εποπτεύσει ό,τι στην πραγματικότητα βρίσκεται πολύ μακριά του, να έρθει σε σύγκρουση και να απορρίψει πιθανές παρανοήσεις και παρερμηνείες που έχει σχηματίσει γι' αυτά και να εξοικειωθεί με τους εικονικούς κόσμους, οι οποίοι του παρέχουν άμεσα πληροφορίες που αφορούν την καθημερινή του ζωή.

Η εφαρμογή ξεκινά με κατευθυνόμενη πλοήγηση στο ηλιακό μας σύστημά, με κατεύθυνση προς το σύστημα Γη - Ήλιος. Ο χρήστης οδηγεί ένα εικονικό διαστημόπλοιο και είναι σε θέση να κινείται στο διάστημα, να αλλάζει οπτική γωνία και να ελέγχει τις ιδιότητες του εικονικού κόσμου, ακόμα και χωρίς φυσικό ανάλογο (άξονας Γης, ταχύτητα περιστροφής και περιφοράς, εμφάνιση του τρέχοντος μηνός), χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα όργανα στην κονσόλα του διαστημικού σκάφους. Με την εισαγωγική εικονική πτήση στο διάστημα οι μαθητές εξοικειώνονται με το εικονικό περιβάλλον και επισημαίνουν τη θέση της Γης στο ηλιακό σύστημα (εικόνα 1).



Εικόνα 1: Το εσωτερικό του διαστημοπλοίου με θέα το σύστημα Γη - Ήλιος

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρατηρεί τις κινήσεις της Γης α) από θέση κοντά στο επίπεδο της γήινης τροχιάς γύρω από τον Ήλιο και β) κατά τη διάρκεια μιας κατευθυνόμενης

πλοήγησης, από θέση κάθετη στο επίπεδο της γήινης περιφοράς. Η δεύτερη οπτική γωνία παρακολούθησης είχε σκοπό να μπορέσουν οι μαθητές να συνειδητοποιήσουν τον τρόπο με τον οποίο η Γη κινείται γύρω από τον Ήλιο, κάτι το οποίο θα τους ήταν χρήσιμο προκειμένου να εξηγήσουν τα πλανητικά φαινόμενα.

Ο χρήστης αλληλεπιδρώντας με το λογισμικό πλησιάζει τη Γη και εξετάζει την εναλλαγή ημέρας και νύχτας από α) σημείο λίγο επάνω από την επιφάνεια της Γης και από β) σημείο που βρίσκεται κάπου στο διάστημα, το οποίο επιτρέπει την ταυτόχρονη παρατήρηση Γης και Ήλιου. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να οδηγήσει το διαστημόπλοιο γύρω από τη Γη σε μια ορισμένη απόσταση και να παρατηρήσει ταυτόχρονα τις συνέπειες της εναλλαγής της ημέρας και της νύχτας σε οποιοδήποτε σημείο της Γης.

Ο χρήστης μπορεί επίσης να πλησιάζει τη Γη σε συγκεκριμένα σημεία της τροχιάς της (π.χ. Ιούνιος και Δεκέμβριος) και να παρατηρήσει από μια ορισμένη απόσταση επάνω από τη γήινη επιφάνεια, έτσι ώστε να γίνει σαφές γιατί η θερμοκρασία αλλάζει σε μια θέση κατά τη διάρκεια της περιφοράς γύρω από τον Ήλιο (εικόνα 2).



Εικόνα 2: Προσέγγιση της Γης τον Ιούνιο

Η 2η ΕΡΕΥΝΑ

Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΥΝΕΝΤΕΥΞΗ

Το δεύτερο μέρος της έρευνας διεξήχθη στον ίδιο χώρο με το πρώτο, μετά από δύο περίπου μήνες. Οι 27 μαθητές ήρθαν, ο καθένας με τη σειρά του, σε επαφή με το εικονικό περιβάλλον και τις δυνατότητες που αυτό τους παρέχει. Αφού περιπλανήθηκαν για λίγη ώρα σε αυτό μέσω της κατευθυνόμενης πλοήγησης, ενημερώθηκαν για τη χρήση των εργαλείων της κονσόλας του εικονικού διαστημοπλοίου και τις δυνατότητες της εφαρμογής. Με τη καθοδήγηση του ερευνητή ο κάθε μαθητής εξερευνούσε το χώρο και παρατηρούσε τα φαινόμενα που συμβαίνουν σε αυτόν. Στη συνέχεια καλούνταν να απαντήσει στις τρεις κατηγορίες ερωτημάτων που ασχολείται η εφαρμογή (κινήσεις Γης και Ήλιου και φαινόμενα μέρας/νύχτας και εποχών του έτους). Καθ' όλη τη διάρκεια της επαφής του μαθητή με το εικονικό περιβάλλον ο ερευνητής δεν παρείχε καμιά άλλη βοήθεια στο μαθητή καθώς ούτε σχολίαζε τα όσα έβλεπε, ούτε εξηγούσε τίποτα σ' αυτόν. Η διάρκεια της εξερεύνησης - συνέντευξης ήταν περίπου 40 λεπτά για κάθε μαθητή.

Η επαφή των μαθητών με τον εικονικό χώρο δεν αποτελεί ενισχυτική περαιτέρω διδασκαλία καθώς ο δάσκαλος – ερευνητής δεν δίδασκε και δεν ενημέρωσε για κάτι καινούργιο το μαθητή. Ο ρόλος του ήταν να τον καθοδηγήσει στην εξαγωγή των δικών του συμπερασμάτων. Σκοπός, λοιπόν, της δεύτερης συνέντευξης ήταν να διαπιστωθεί κατά πόσο η Εικονική Πραγματικότητα μπορεί να συμβάλει ποιοτικά στη μάθηση, με τη δημιουργία νέων νοητικών μοντέλων σκέψης και την αλλαγή των υπαρχόντων.

Τα ερωτήματα που τέθηκαν στους μαθητές ήταν τα ίδια με εκείνα της πρώτης έρευνας.

ΜΟΝΤΕΛΑ 2ΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Κατά παρόμοιο, με την προηγούμενη έρευνα, τρόπο καταγράφηκαν τα παρακάτω μοντέλα.

A. ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΓΗΣ

Ο ρεαλιστικός τρόπος παρουσίασης της πληροφορίας που μας παρέχει το τρισδιάστατο εικονικό περιβάλλον της εφαρμογής ήταν αρκετό για να κάνει τους μαθητές να εντοπίσουν και να ξεχωρίσουν εύκολα τις δύο βασικές κινήσεις της Γης. Έτσι, και οι 27 μαθητές ανέφεραν τις δύο κινήσεις που κάνει η Γη, της περιστροφική γύρω από τον άξονά της και την κυκλική γύρω από τον Ήλιο. Η διαφοροποίηση επισημάνθηκε μόνο αναφορικά με τη διατήρηση ή αλλαγή της απόστασης μεταξύ των δύο σωμάτων.

Με βάση τις δύο ερωτήσεις αυτής της κατηγορίας δημιουργήθηκαν τα παρακάτω μοντέλα:

Μοντέλο A.1: η Γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τον Ήλιο σε σταθερή απόσταση από αυτόν (13 μαθητές).

Από τους μαθητές αυτούς οι 8 επέλεξαν την επιστημονικά ορθή απάντηση χωρίς να κάνουν χρήση της κατευθυνόμενης πλοήγησης που μεταφέρει το χρήστη σε σημείο κάθετο στην τροχιά της περιφοράς της Γης, κάτι που διευκολύνει τα συμπεράσματά του. Οι υπόλοιποι 5 έκαναν χρήση της παραπάνω βοήθειας.

Μοντέλο A.2: η Γη γυρίζει γύρω από τον εαυτό της και γύρω από τον Ήλιο και η απόσταση από αυτόν μεταβάλλεται (14 μαθητές).

Οι μαθητές θεωρούν πως η Γη πλησιάζει τον Ήλιο και βρίσκεται πιο κοντά σ' αυτόν είτε τη στιγμή που, στον εικονικό χώρο, αυτή βρίσκεται ακριβώς μπροστά μας (καθώς εμείς την βλέπουμε μέσα από το διαστημόπλοιό μας), είτε όταν αυτή κρύβεται πίσω από τον Ήλιο και βρίσκεται παράλληλα στο πιο μακρινό σημείο από εμάς.

B. ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΝΥΧΤΑΣ

Εντυπωσιακά ήταν επίσης και τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν έπειτα από τις δύο πρώτες ερωτήσεις που απαντήθηκαν σχετικά με την εξήγηση του φαινομένου και τον εντοπισμό των περιοχών του πλανήτη που έχουν σκοτάδι, τη στιγμή που κάποιες άλλες φωτίζονται. Ο ρεαλιστικός φωτισμός των εικονικών αντικειμένων διευκόλυνε τους μαθητές στα συμπεράσματά τους τόσο για την εξήγηση της εναλλαγής μέρας και νύχτας όσο και για την κατανόηση της σχέσης των ακτίνων του Ήλιου με την ηλιοφάνεια της κάθε περιοχής της Γης.

Έτσι, παρατηρήθηκε μόνο ένα μοντέλο, με κάποιες διαφοροποιήσεις που αφορούσαν τις απαντήσεις που δόθηκαν στο τρίτο ερώτημα.

Μοντέλο B: Καθώς η Γη περιστρέφεται, οι περιοχές που βλέπουν τον Ήλιο έχουν μέρα ενώ οι πίσω περιοχές έχουν νύχτα (27 μαθητές).

Οι 27 αυτοί μαθητές έδειξαν ότι είχαν δημιουργήσει επιστημονικά σωστό νοητικό μοντέλο αναφορικά με την εναλλαγή μέρας και νύχτας. Επιπλέον ήταν σε θέση να εντοπίσουν τα σημεία εκείνα της Γης με διαφορετική ώρα από την Ελλάδα, ενώ οι περισσότεροι από αυτούς μπορούσαν και να υπολογίσουν την ώρα σε συγκεκριμένες περιοχές της Γης μακριά από την Ελλάδα (24 άτομα την Αυστραλία, 17 άτομα την Ν. Υόρκη).

Γ. ΝΟΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΛΑΓΗ ΤΩΝ ΕΠΟΧΩΝ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ

Και πάλι τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά καθώς οι δυνατότητες που παρέχει η εφαρμογή για κοντινή εποπτεία από συγκεκριμένο σημείο, περιήγηση του εικονικού διαστημοπλοίου γύρω από τη Γη και επιβράδυνση έως σταμάτημα των δύο κινήσεών της, βοήθησαν τους μαθητές στην εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τον τρόπο που πέφτουν οι ακτίνες του Ήλιου σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια της πορείας της Γης γύρω από τον Ήλιο.

Συνέπεια, λοιπόν, των παραπάνω ήταν τα δύο κυρίαρχα μοντέλα, τα οποία, με μια μικρή παραλλαγή όσον αφορά το δεύτερο, είχαν παρατηρηθεί και στην πρώτη έρευνα, να υποστηρίζουν από δυσανάλογο αριθμό μαθητών.

Μοντέλο Γ.1: Οι περιοχές της Γης στις οποίες οι ακτίνες του Ήλιου πέφτουν σχεδόν κάθετα έχουν ζέστη, ενώ εκείνες στις οποίες οι ακτίνες πέφτουν πλάγια έχουν κρύο (23 μαθητές).

Το ποσοστό των μαθητών που υποστήριξε αυτή τη φορά το μοντέλο υπέρ-τριπλασιάστηκε συγκριτικά με πριν. Σημαντική διαφορά υπήρξε επίσης και σχετικά με τη συνέπεια που έδειξαν οι μαθητές όταν χρειάστηκε να προβούν σε συμπεράσματα αναφορικά με τις περιοχές εκείνες του πλανήτη με θερμοκρασία αντίθετη από αυτή της χώρας μας και όταν τους ζητήθηκε να υπολογίσουν τη θερμοκρασία συγκεκριμένων περιοχών μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Μοντέλο Γ.2: Η Γη πλησιάζει και απομακρύνεται από τον Ήλιο και άλλοτε ο Ήλιος τη χτυπάει πάνω από τον Ισημερινό και έχουμε ζέστη και άλλοτε κάτω και έχουμε κρύο (2 μαθητές).

Η «αδυναμία» του εικονικού περιβάλλοντος να υποστηρίξει το λανθασμένο αυτό μοντέλο μείωσε εντυπωσιακά τον αριθμό των μαθητών που το υποστήριζαν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Εικονική Πραγματικότητα επιτρέπει την ενεργή συμμετοχή του μαθητή στην εκπαιδευτική διαδικασία και παρέχει τη δυνατότητα να εμπλουτίσει, να ενισχύσει, να επεξεργαστεί και να δομήσει τις εμπειρίες του. Η εφαρμογή μας παρόλο που επιτρέπει την ελεύθερη πλοήγηση παρέχει τη δυνατότητα για την εκτέλεση συγκεκριμένων κατευθυνόμενων δραστηριοτήτων, που σκοπό έχουν να οδηγήσουν το μαθητή, κάτω από προκατασκευασμένα μονοπάτια, στην πληροφορία που θέλουμε να δει, να κατανοήσει και να αποδεχτεί. Έτσι, εύκολα μπορεί να διακρίνει κανείς ότι τα νοητικά μοντέλα που παρατηρήθηκαν κατά τη δεύτερη έρευνα μειώθηκαν ανά κατηγορία συγκριτικά με εκείνα της πρώτης έρευνας, καθώς οι πληροφορίες που παρέχονταν τώρα στους μαθητές δεν ευνοούσαν και δεν επέτρεπαν καθόλου τη δημιουργία μερικών από εκείνα που είχαν διατυπωθεί από τους μαθητές προηγουμένως.

Αναφορικά με το φαινόμενο εναλλαγής μέρας και νύχτας, οι δυνατότητες της εφαρμογής που επέτρεπαν στο χρήστη να εξετάσει το φαινόμενο α) από σημείο της επιφάνειας της Γης, β) από σημείο στο διάστημα μακριά από αυτή και γ) οδηγώντας το διαστημόπλοίο του γύρω από τη Γη, οδήγησε τους μαθητές όχι μόνο στο επιστημονικά αποδεκτό μοντέλο (κάτι το οποίο οι περισσότεροι είχαν ήδη υιοθετήσει) αλλά και στην εύκολη εξαγωγή συμπερασμάτων, σχετικά με το εν λόγω φαινόμενο, σε ολόκληρο τον πλανήτη.

Αναφορικά με το φαινόμενο της αλλαγής των εποχών, η παρατήρηση του συστήματος Γη – Ήλιος από το διάστημα καθώς και η δυνατότητα της εφαρμογής για προσέγγιση του διαστημοπλοίου στη Γη σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (π.χ. Ιούνιος και Δεκέμβριος) οδήγησαν τους μαθητές στην αναθεώρηση των προηγούμενων νοητικών τους μοντέλων, τα οποία όπως είχαν διατυπωθεί από αυτούς στην προηγούμενη έρευνα παρουσιάζονταν ως ένα κράμα προσοπικών παρατηρήσεων και απομνημόνευσης των αντίστοιχων χωρίων του σχολικού βιβλίου.

Προβλήματα παρουσιάστηκαν σχετικά με την κατανόηση του σχήματος της περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο, καθώς οι μισοί περίπου μαθητές δεν μπόρεσαν να υιοθετήσουν το πραγματικό. Προβλήματα όμως έχουν εντοπιστεί και σε άλλες εφαρμογές στις οποίες, αν και η ενασχόληση του μαθητή με το εικονικό περιβάλλον δεν παρουσίαζε ιδιαίτερα προβλήματα και ο μαθητής είχε υψηλή την αίσθηση της παρουσίας σ' αυτό, εν' τούτοις τα μαθησιακά αποτελέσματα δεν ήταν τα επιθυμητά (Johnson et al 1999, Gay 1994).

Οι μαθητές δήλωσαν ενθουσιασμένοι από την εφαρμογή και ότι εξοικειώθηκαν με το εικονικό περιβάλλον γρήγορα, ακόμη και εκείνοι που δεν είχαν ασχοληθεί κατά το παρελθόν με υπολογιστές. Δεν παρουσίασαν ιδιαίτερες δυσκολίες σχετικά με τον προσδιορισμό των αντικειμένων του εικονικού κόσμου και μπόρεσαν εύκολα να διακρίνουν τα αντικείμενα που υπάρχουν πραγματικά (Ήλιος, πλανήτες) και εκείνα που δεν υφίστανται (άζοντας Γης, ισημερινός, τροχιά). Τέλος, επεσήμαναν τα ζωηρά χρώματα των αντικειμένων, τις ρεαλιστικές κινήσεις των ουράνιων σωμάτων και την αίσθηση της παρουσίας τους στον εικονικό κόσμο. Ιδιαίτερα προβλήματα προσανατολισμού δεν παρατηρήθηκαν.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Barab, S., Hay, K., Squire, K., Barnett, M., Schmidt, R., Karrigan, K., Yamagata-Lynch, L. and Johnson, C. (2000) Virtual Solar System Project: Learning through a technology – rich, inquiry – based, participatory learning environment. *Journal of Science Education and Technology*, 9 (1), 7-25.
- Baxter, S. (1989) Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502-513.
- Brewer, W., Vosniadou, S. (1992) Mental models of the Earth. A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Brewer, W., Vosniadou, S. (1994) Mental models of the Daylight Cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Dede, C., Salzman, M., Calhoun, C., Loftin, R. B., Hoblit, J., Regian, J. W. (1994) The Design of Artificial Realities to Improve Learning Newtonian Mechanics. Paper presented at the 1994 *East-West International Conference on Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality* (pp. 14-16). (Moscow), (also available at <http://www.vetl.uh.edu/ScienceSpace/newton.html>).
- Gay, E. (1994) Is Virtual Reality a good teaching tool? *Virtual Reality Special Report*, Winter, 51-59
- Johnson, A., Roussos, M., Leigh, J., Barnes, C., Vasilakis, C. and Moher, T. (1998) The NICE Project: Learning together in a Virtual World. In *Proceedings of IEEE Virtual Reality Annual International Symposium '98*, (pp. 176-183). Atlanta, Georgia.
- Johnson, A., Moher, T., Ohlsson, S., Gillingham, M. (1999) The Round Earth Project: Deep Learning in a Collaborative Virtual World. Available at <http://www.ev1.uic.edu/aej/vrais99/vrais99.html>
- Jones, B., Lynch, P. (1987) Children's conceptions of the Earth, Sun and Moon. *International Journal of Science Education*, 9 (1), 43-53.
- Lightman, A., Sadler, P. (1993) Teacher predictions versus actual student gains. *The Physics teacher*, 31, 162-167.
- Mikropoulos, T. A. (1997) Virtual Environments in Science Education. In M. Bevan (ed.), *Proceedings of the International Conference on Virtual Reality in Education & Training*, (pp. 43 – 48). Loughborough.
- Mikropoulos, T. A., Chalkidis, A., Katsikis, A., Kossivaki, Ph. (1997) Virtual realities in environmental education: Project LAKE. *Education and Information Technologies* 2, 131-142.
- Nikolou, E., Mikropoulos, T. A., Katsikis, A. (1997) Virtual Realities in Biology Teaching. In M. Bevan (ed.), *Proceedings of the International Conference on Virtual Reality in Education & Training*, (pp. 59-63). Loughborough.
- Yair, Y., Schur, Y., and Mintz, R. (2001) A 'Thinking Journey' to the Solar System using Scientific Visualization Technologies. In D. Psillos et al. (eds.), *Proceedings of the 3d International Conference on Science Education Research in the Knowledge Based Society*, (pp. 692-695). Thessaloniki, Greece.
- Youngblut, C. (1998) Educational Uses of Virtual Reality Technology (Institute for Defense Analyses, IDA D-2128, available at <http://www.hitl.washington.edu/scivw/youngblut-edvr/D2128.pdf>).
- Βοσνιάδου, Σ. (1998) “Γνωστική Ψυχολογία”, Αθήνα: Εκδόσεις Gutenberg
- Μπάκας Χ., Μικρόπουλος Τ., Δήμου Γ., Κατσίκης Α., “Σχεδίαση εικονικών περιβαλλόντων για την υποστήριξη της κατανόησης πλανητικών φαινομένων με βάση αντιλήψεις μαθητών”, 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο με διεθνή συμμετοχή: Διδακτική των Μαθηματικών και Πληροφορική στην Εκπαίδευση, Ρέθυμνο, Οκτώβριος 1999.
- Παρασκευόπουλου, Ι. (1993) «Μεθοδολογία επιστημονικής έρευνας», Τόμος 2, εκδ. Ελληνικά Γράμματα.