



Προσομοίωση / 3D Οπτικοποίηση i) των Περιστρεφόμενων Διανυσμάτων για την παραγωγή ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενων μεγεθών, και ii) της Καταστατικής Εξίσωσης του Ιδανικού Αερίου με Εκπαιδευτικά Λογισμικά – Μια πρώτη Εκδοχή και Εφαρμογή / Αξιολόγηση

Παναγιώτης Τσάκωνας, Μιχαήλ Μ. Σαρρής, Ουρανία Γκικοπούλου, Γεωργ. Θεοφ. Καλκάνης

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,

Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.gr>

ptsakon@gmail.com, msarris@sch.gr, gikopoulou@gmail.com, kalkanis@primedu.uoa.gr

Περίληψη

Παρουσιάζονται οι πρώτες εκδοχές εκπαιδευτικών λογισμικών τα οποία προσομοιώνουν και οπτικοποιούν τη διαδικασία παραγωγής ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενων μεγεθών με περιστρεφόμενα διανύσματα και την Καταστατική Εξίσωση του Ιδανικού Αερίου, στο πλαίσιο μιας ευρύτερης προσπάθειας ενσωμάτωσης του Η/Υ στη διδασκαλία επιλεγμένων θεμάτων των Φυσικών Επιστημών, όπου οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις έχουν πρωτεύοντα ρόλο. Μια πρώτη εκπαιδευτική εφαρμογή και αξιολόγηση αυτού του λογισμικού, αποδεικνύει ότι μαθητές της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης και φοιτητές / μελλοντικοί εκπαιδευτικοί υποβοηθούνται στην κατανόηση και την άντληση πρόσθετων πληροφοριών από τα γραφήματα αυτά, είτε στην τρισδιάστατη εκδοχή τους, ή στις δισδιάστατες προβολές τους. Η ερευνητική διαδικασία αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από το συνδυασμό του λογισμικού με παραδοσιακότερες διδακτικές προσεγγίσεις, καθώς και τις δυνατότητες και, κυρίως, τη διάθεση αυτοδιδασκαλίας των εκπαιδευόμενων.

Abstract

Initial versions of educational software, visualizing the way a rotating vector leads to the graph of a sinusoidally varying physical quantity and the Graph of the Equation of State for Ideal Gases are presented, as part of a general approach of incorporating computers in teaching selected Science topics, where the need to present graphs in 3D is of primary importance. An initial educational application and evaluation of the software shows that secondary education students as well as university students / perspective teachers are able to better understand such graphs and derive a larger amount of information either from the 3D versions or 2D projections. The research highlights the advantages stemming from the combination of such software with a more traditional educational approach, as well as the willingness of students to use such software in a process of self-teaching.

Το Πλαίσιο – Τα Ερωτήματα – Οι Στόχοι

Οι εκπαιδευτικές ψηφιακές τεχνολογίες –στις οποίες περιλαμβάνουμε τις τεχνολογίες πληροφόρησης και επικοινωνίας, προσομοίωσης και οπτικοποίησης, πειραματισμού και αυτοματισμού, επεξεργασίας και αναπαραστάσης της πληροφορίας και οργάνωσης και παρουσίασης της πληροφορίας (Καλκάνης 2007β)– σίγουρα δεν αποτελούν «πανάκεια» όπως μερικοί αρέσκονται να τις εμφανίζουν, ούτε ευτυχώς «πρόβλημα» όπως τις θεωρούν άλλοι, οι οποίοι απλώς έχουν πρόβλημα με τη χρήση τους, είναι όμως ένα πολύτιμο επικουρικό «εργαλείο» για τους περισσότερους, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με παραδοσιακότερα εποπτικά μέσα. Ειδικότερα οι ψηφιακές τεχνολογίες προσομοίωσης / οπτικοποίησης κατά τη γνώμη μας αποτέλεσαν –και θα αποτελούν– ένα καθοριστικό στοιχείο στην εξέλιξη όχι μόνο της επιστημονικής έρευνας αλλά και της εκπαίδευσης στις φυσικές επιστήμες (Καλκάνης 2010) με όλα τα πλεονεκτήματα τα οποία έχει η αξιοποίησή τους και η προστιθέμενη αξία από τη χρήση τους τόσο για την έρευνα όσο και για την εκπαίδευση.

Όσον αφορά στις θεματικές, αυτές καλύπτουν όλα σχεδόν τα γνωσιακά αντικείμενα, όμως οι φυσικές επιστήμες έχουν επωφεληθεί –και έχουν να επωφεληθούν και στο μέλλον– σε μεγαλύτερο ίσως βαθμό σε σχέση με τα άλλα γνωσιακά αντικείμενα από την αξιοποίηση –όλων–

των σύγχρονων ψηφιακών εκπαιδευτικών τεχνολογιών. Αυτές, βέβαια, οι εκπαιδευτικές τεχνολογίες οι οποίες ειδικότερα συνεισφέρουν στην εκπαίδευση των φυσικών επιστημών είναι οι Τεχνολογίες Πειραματισμού (με χρήση αισθητήρων και απτήρων, διασυνδεδεμένων με ηλεκτρονικό υπολογιστή) και οι Τεχνολογίες Προσομοίωσης / Οπτικοποίησης (Καλκάνης 2007β). Οι τελευταίες –με χρήση των μεθόδων / τεχνικών Monte Carlo και τυχαίων αριθμών– όχι μόνο συνεισφέρουν αλλά είναι απαραίτητες στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες και –επιπλέον– ίσως είναι οι μόνες οι οποίες «δικαιολογούν» και «νομιμοποιούν» απόλυτα τη χρήση τους στην εκπαίδευση στις φυσικές επιστήμες (Kalkanis 1996, 1997, 1999, 2001).

Στις Φυσικές Επιστήμες υπάρχουν θεματικές ενότητες που φαινομενικά απέχουν αρκετά ως προς το νοηματικό τους περιεχόμενο, αλλά σχετίζονται στενά βάσει της συνήθους διδακτικής προσέγγισης και των εποπτικών μέσων που εμπλέκονται σε αυτή. Η παρούσα εργασία εστιάζει στη χρήση περιστρεφόμενων διανυσμάτων για την περιγραφή ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενων μεγεθών. Πρόκειται για ένα αντικείμενο που μπορεί κατεξοχήν να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες τρισδιάστατης απεικόνισης ενός υπολογιστικού συστήματος, δεδομένου ότι το παραγόμενο γράφημα κείται σε επίπεδο κάθετο προς εκείνο όπου περιστρέφεται το διάνυσμα. Η πλήρης κατανόηση της όλης διαδικασίας διευκολύνεται κατά μέγιστο βαθμό όταν η εικόνα που παρουσιάζεται μπορεί να περιστραφεί στο χώρο και η θέασή της να γίνει από διάφορες οπτικές γωνίες. Επιπρόσθετα, ασκήσεις που αναφέρονται σε ανισοτικές σχέσεις της φάσης (τις οποίες συχνά καλούνται να αντιμετωπίσουν οι εκπαιδευόμενοι κατά τρόπο αλγεβρικό) αποκτούν στην κυριολεξία "άλλη διάσταση" με χρήση τέτοιων απεικονίσεων και μας επαναφέρουν σε μια κλασικότερη (πιο γεωμετρική) άποψη των μαθηματικών, η οποία από το 17^ο αι παραμερίζεται ολοένα και περισσότερο, χωρίς όμως να έχει χάσει όχι μόνο την (εκ)παιδευτική της αξία, αλλά και αυτή την ερευνητική (με χαρακτηριστικό παράδειγμα τη διατύπωση της Θεωρίας της Σχετικότητας).

Ένα επιπλέον σημείο στο οποίο (πιστεύουμε ότι) η χρήση λογισμικού τρισδιάστατης δυναμικής προσομοίωσης / οπτικοποίησης μπορεί να συνεισφέρει πολλά, είναι η ανάγκη παραγωγής (και παρακολούθησης της χρονικής τους εξέλιξης) μιας ομάδας γραφικών παραστάσεων άμεσα σχετιζόμενων μεταξύ τους φυσικών μεγεθών, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στις περιπτώσεις της Μηχανικής Ταλάντωσης (Απομάκρυνση, Ταχύτητα, Επιτάχυνση), της Σύνθεσης Ταλαντώσεων (Συνιστώσες απομακρύνσεις και Συνισταμένη), Κύκλωμα RLC εναλλασσόμενου ρεύματος (Ρεύματα και Τάσεις), κ.λπ.

Εξ άλλου, αν εξετάσουμε τη θεματική της Θερμοδυναμικής και ειδικότερα θέματα που σχετίζονται με τη διδασκαλία της Καταστατικής Εξίσωσης διαπιστώνουμε ότι τα εκπαιδευτικά εγχειρίδια συνήθως απεικονίζουν δισδιάστατες προβολές του κατά τα άλλα τρισδιάστατου γραφήματος, συνήθως επειδή και ο εκπαιδευόμενος θα κληθεί να σχεδιάσει ανάλογες εικόνες. Δε γίνεται ιδιαίτερη μνεία στην τρισδιάστατη όψη του γραφήματος, ενώ οι συνήθεις ασκήσεις συχνά περιλαμβάνουν περιπτώσεις όπου από μία προβολή ο εκπαιδευόμενος καλείται να σχεδιάσει μια συμπληρωματική. Ιδιαίτερα, δεν εξηγείται επαρκώς ο τρόπος μετατροπής τμημάτων του γραφήματος από καμπύλη σε ευθεία (π.χ. Ισόθερμες) ανάλογα με την οπτική γωνία θέασης (π.χ. από προβολή P-V σε P-T). Ακόμη, επιμελέστατα (;), παραλείπεται κάθε αναφορά στο γεγονός ότι η καταστατική εξίσωση είναι στην καλύτερη περίπτωση συνάρτηση δύο (αν όχι τριών!) ανεξάρτητων μεταβλητών. Έτσι, ο μαθητής καλείται να γεφυρώσει το χάσμα αυτενεργώντας, γεγονός που, ειδικά στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση, συμβαίνει σπάνια. Το σύννηθες είναι οι μαθητές να διατηρούν αποσπασματικές όψεις στο μυαλό τους, με αποτέλεσμα να αποτυγχάνουν σε δοκιμασίες που απαιτούν μια (κυριολεκτικά) πληρέστερη οπτική. Εξ άλλου οι αναπαραστάσεις (applets) που διατίθενται στο διαδίκτυο, εντοπίζουν σε άλλα σημεία ενδιαφέροντος (π.χ. προσομοιώσεις της συμπεριφοράς των μορίων αερίου κατά τη διάρκεια μιας αντιστρεπτής μεταβολής, "μέτρηση" μακροσκοπικών παραμέτρων και συσχέτισή τους με τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη θερμοδυναμικού συστήματος και χάραξη δισδιάστατων γραφικών παραστάσεων. Έτσι ο χρήστης χάνει την ευκαιρία να "εκμεταλλευτεί" τις δυνατότητες



σχεδίασης τρισδιάστατων γραφημάτων που, απ' όλα τα συνήθη εποπτικά μέσα, μόνο ο Η/Υ μπορεί να πραγματοποιήσει.

Βασικά ερευνητικά ερωτήματα της παρούσας εργασίας ήταν: α) κατά πόσο τα προτεινόμενα λογισμικά (με τις δυνατότητες που περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω), σε συνδυασμό με παραδοσιακότερες διδακτικές προσεγγίσεις, μπορούν να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση των περιστρεφόμενων διανυσμάτων για την περιγραφή ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενων μεγεθών, καθώς και της καταστατικής εξίσωσης του ιδανικού αερίου και, β) αν οι διάφορες θεματικές του λογισμικού διαθέτουν την προσδοκώμενη λειτουργικότητα / αποτελεσματικότητα.

Αναλυτικότερα, οι στόχοι της εκπαιδευτικής διαδικασίας κατά την πειραματική εφαρμογή / αξιολόγησή του λογισμικού προσομοίωσης / οπτικοποίησης είναι:

- η κατανόηση της διαδικασίας παραγωγής της ημιτονοειδούς καμπύλης από το περιστρεφόμενο διάνυσμα
- η κατανόηση της επίδρασης της αρχικής φάσης του περιστρεφόμενου διανύσματος στη μορφή του προκύπτοντος γραφήματος καθώς και της διαμέρισης του οριζόντιου άξονα, που συνήθως αντιστοιχεί σε χρόνο
- η συγκριτική μελέτη των γραφημάτων που αντιστοιχούν στην Απομάκρυνση, την Ταχύτητα και την Επιτάχυνση κατά τη Μηχανική Ταλάντωση, είτε ως ενιαία οπτικοποίηση, είτε σε επιλεγόμενα από τα χρήστη υποσύνολα
- η απεικόνιση της διαδικασίας δημιουργίας μιας Σύνθετης Ταλάντωσης από συνιστώσες που έχουν ίδια ή διαφορετική Συχνότητα με επιλεγόμενη διαφορά φάσης και σχετικά πλάτη.
- η οπτικοποίηση των περιστρεφόμενων διανυσμάτων που αντιστοιχούν στα πλάτη των τάσεων που εμφανίζονται σε ένα κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος που (ενδέχεται να) περιέχει τα στοιχεία R, L και C, συνδεδεμένα σε σειρά.
- η αντιστοίχιση των τριών βασικών μακροσκοπικών μεγεθών με συγκεκριμένους άξονες
- η οπτικοποίηση της επιφάνειας που αποτελεί τη γραφική παράσταση της Καταστατικής (για ορισμένη ποσότητα αερίου)
- η χάραξη επί της επιφάνειας αυτής βασικών καμπυλών-τομών (Ισόθερμες, Ισόχωρες κ.λπ.)
- η απεικόνιση της κατάστασης ενός θερμοδυναμικού συστήματος επί της επιφάνειας αυτής και η δυναμική τροποποίησή της από το χρήστη
- η καταγραφή μιας ή περισσότερων διαδοχικών αντιστρεπτών μεταβολών και η προβολή της υπό διάφορες γωνίες θέασης, των κλασικών προβολών συμπεριλαμβανομένων.

Η Πρόταση – Η Μεθοδολογία

Κατά το παρελθόν, για διάστημα μεγαλύτερο των 15 ετών, στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Αθηνών έχει παραχθεί ένα πλήθος τίτλων εκπαιδευτικού λογισμικού με διάφορα θέματα και για διάφορα γνωσιακά αντικείμενα κυρίως όμως εκπαιδευτικά λογισμικά για τις φυσικές επιστήμες, ειδικότερα δε εκπαιδευτικά λογισμικά που υλοποιούν ψηφιακές προσομοιώσεις / οπτικοποιήσεις –κυρίως– με θέμα τις διαδικασίες του μικροκόσμου. Αυτές οι διαδικασίες είναι στοχαστικές / πιθανοκρατικές γι' αυτό οι προσομοιώσεις έχουν δημιουργηθεί με χρήση των μεθόδων / τεχνικών Monte Carlo και τυχαίων αριθμών από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η τεχνολογική ωρίμανση και διάδοση του hardware - που εστιάζεται κυρίως στην αύξηση της συχνότητας λειτουργίας του επεξεργαστή, τη διαθέσιμη μνήμη και τις δυνατότητες των καρτών γραφικών - σε συνδυασμό με τον εμπλουτισμό των γλωσσών προγραμματισμού - είτε σε τοπικό είτε σε διαδικτυακό επίπεδο - με βιβλιοθήκες εντολών κατάλληλων για την απεικόνιση σε τρεις διαστάσεις, επέτρεψε τη δημιουργία ανάλογου λογισμικού (ενδεικτικά Τσάκωνας 2011).

Ο βασικός κορμός του εκπαιδευτικού λογισμικού, του οποίου η εφαρμογή και αξιολόγηση παρουσιάζεται στην εργασία αυτή, δημιουργήθηκε από τον διδάκτορα / εκπαιδευτικό ΠΕ04.01 - ΠΕ19 Παν. Τσάκωνα, ενώ πολλά από τα πρόσθετα στοιχεία του προτάθηκαν / διαμορφώθηκαν από τον διδάκτορα / εκπαιδευτικό ΠΕ04.01 Μιχ. Σαρρή. Η υποψ. διδάκτορας/εκπαιδευτικός ΠΕ70

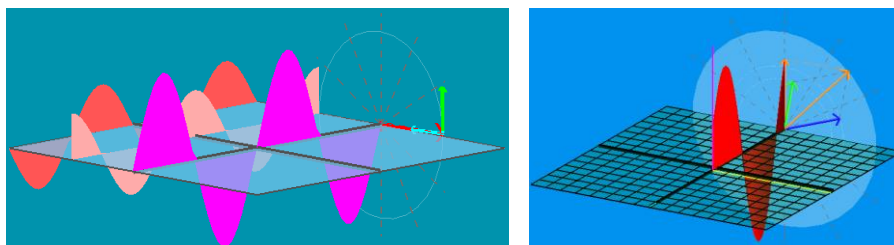
Ουρ. Γκικοπούλου, συνέβαλε στη σύνθεση / βαθμολόγηση των ερωτηματολογίων, καθώς και στην παρουσίαση / επίδειξη χρήσης των λογισμικών.

Τα Λογισμικά

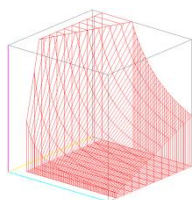
Τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του εκπαιδευτικού λογισμικού για το Περιστρεφόμενο Διάνυσμα, περιλαμβάνουν, πέρα από την τρισδιάστατη αναπαράσταση, την επιλογή οπτικής γωνίας, την ενεργοποίηση της διαδικασίας παραγωγής του ημιτονοειδούς γραφήματος, τη χρωματική κωδικοποίηση των αξόνων, την επιλογή (μεταξύ τεσσάρων προτεινόμενων μορφών) της μορφής του γραφήματος, την επιλογή της διαμέρισης του κύκλου επί του οποίου πραγματοποιείται η περιστροφή του διανύσματος, κτλ. Όσο για το λογισμικό της Καταστατικής Εξίσωσης, τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν, πέρα από την τρισδιάστατη αναπαράσταση, την επιλογή οπτικής γωνίας, τη σταδιακή ή την άμεση μετάβαση από τη Βασική Τρισδιάστατη Όψη σε επιλεγμένες Δισδιάστατες Προβολές (άξονες P-V, P-T, V-T), τη χρωματική κωδικοποίηση των αξόνων, την επιλογή της πυκνότητας του γραφήματος και της μεθόδου σχεδιάσής του, την υπέρθεση ισόθερμων, ισόχωρων και ισοβαρών καμπυλών, την επιλογή αντιστρεπτής μεταβολής, την αποτύπωσή της βάσει τροποποίησης των παραμέτρων P, V και T, την καταγραφή διαδοχικών μεταβολών και την απεικόνισή τους με υπέρθεση στο βασικό γράφημα, κτλ.

Και οι δύο τίτλοι λογισμικού έχουν πρόσθετες λειτουργίες που, ενδεικτικά, είναι: η παραμετροποίηση, η δυνατότητα λήψης / αποθήκευσης στιγμιότυπων, η επιλογή κλίμακας κ.λπ. Προηγούμενες προτάσεις εκπαιδευτικών λογισμικών αποδεικνύουν ότι αυτά (και άλλα) δευτερεύοντα χαρακτηριστικά δημιουργούν προστιθέμενη αξία, αφού καθιστούν το λογισμικό αυτοτελές και ικανό να στηρίξει εξ ολοκλήρου μια εκπαιδευτική προσέγγιση είτε με τη μορφή επίδειξης, είτε ως αυτοδιδασκαλία.

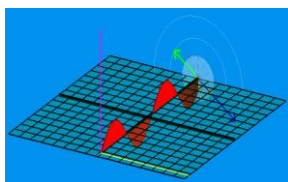
Μερικά από τα τεχνικά / εκπαιδευτικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται από τα ακόλουθα ενδεικτικά στατικά στιγμιότυπα τα οποία έχουν ληφθεί κατά τη διάρκεια της εκτέλεσής τους:



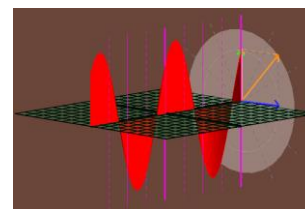
Εικόνες 1-2: Ενδεικτικά στατικά στιγμιότυπα Περιστρεφόμενων Διανυσμάτων.



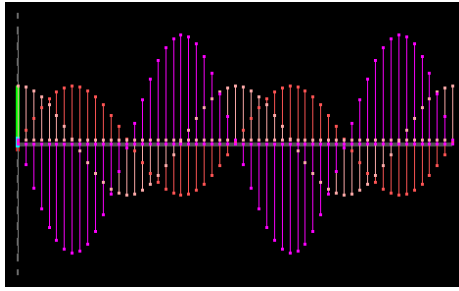
Εικόνα 3: Καταστατική Εξίσωση.



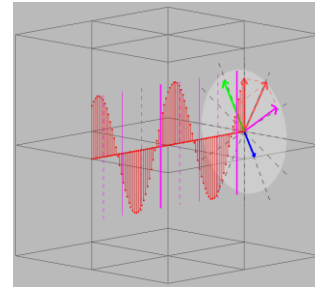
Εικόνα 4: Σύνθεση ταλαντώσεων.



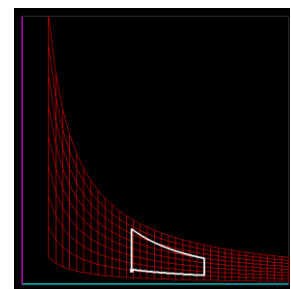
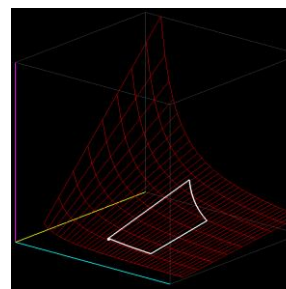
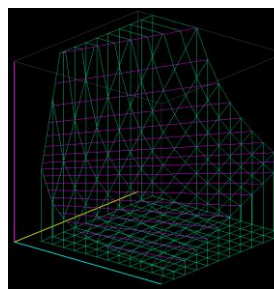
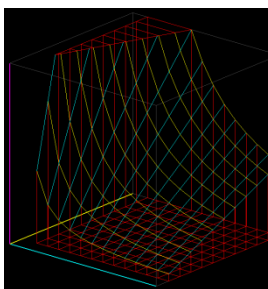
Εικόνα 5: Σύνθεση ταλαντώσεων ίδιας συχνότητας με $\Delta\phi=90^\circ$ και λόγο Πλατών 1/1.



Εικόνα 6: Μηχανική Ταλάντωση. Απεικονίζονται οι γραφικές παραστάσεις των ψ , u και a σε διςδιάστατη προβολή, προκειμένου να αναδειχθούν οι σχετικές φάσεις.



Εικόνα 7: Γραφική παράσταση της τάσης που εφαρμόζεται στ άκρα κυκλώματος εναλλασσόμενου ρεύματος με Ωμική Αντίσταση, Ιδανικό Πηνίο και Πυκνωτή.



Εικόνα 8: Σχεδίαση ισόχωρων και ισόθερμων καμπυλών.

Εικόνα 9: Σχεδίαση ισόχωρων και ισοβαρών καμπυλών.

Εικόνα 10: Σχεδίαση κυκλικής μεταβολής από μία Ισόθερμη, μία Αδιαβατική και δύο Ισόχωρες.

Εικόνα 11: Η ίδια κυκλική μεταβολή σε διςδιάστατη προβολή PV. Φαίνεται καθαρά η μεγαλύτερη κλίση της Αδιαβατικής έναντι της Ισόθερμης.

Και οι δύο τίτλοι λογισμικού εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν κατά την ερευνητική διαδικασία, ενταγμένη στα βήματα της επιστημονικής / εκπαιδευτικής μεθοδολογίας με διερεύνηση (Καλκάνης 2007α) τα οποία συνοπτικά περιγράφονται ως εξής: έναυσμα ενδιαφέροντος, διατύπωση υποθέσεων, πειραματισμός, διατύπωση συμπερασμάτων / σύνθεση προτύπου και γενίκευση, συστημική συσχέτιση, ερμηνείες. Ως «πειραματισμό» στην πρώτη περίπτωση θεωρούμε την επιλογή εκ μέρους των εκπαιδευόμενων κατάλληλων παραμέτρων σε κάθε ένα από τα "Παράθυρα Πειράματος" που περιλαμβάνει το λογισμικό, καθώς και την επιλογή της βέλτιστης γωνίας θέασης για την ανάδειξη των λεπτομερειών που ανά περίπτωση ενδιαφέρει να αναδειχθούν, ενώ στη δεύτερη περίπτωση θεωρούμε την καταγραφή / σχεδίαση αντιστρεπτών μεταβολών βάσει προτύπων εικόνων που περιλαμβάνονται σε διδακτικά εγχειρίδια, ή προτείνονται από τον εκπαιδευτικό ή/και τους εκπαιδευόμενους. Σε αυτή την επιστημονική / εκπαιδευτική μεθοδολογία με διερεύνηση προτείνεται να εντάσσεται το λογισμικό και η όποια εκπαιδευτική διαδικασία στην οποία χρησιμοποιείται. Η ερευνητική μεθοδολογία περιγράφεται στη συνέχεια.

Η Έρευνα – Η Εφαρμογή – Η Αξιολόγηση

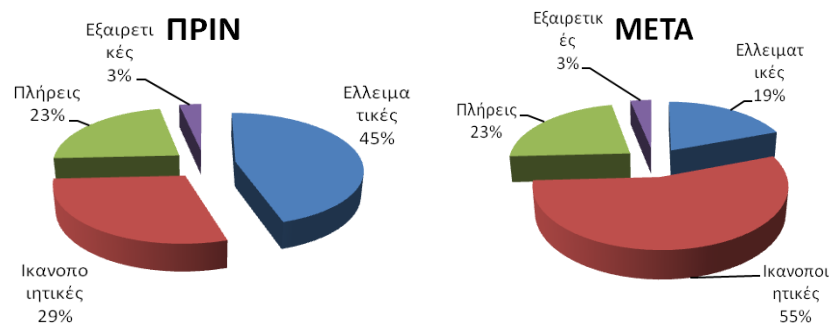
Η ερευνητική διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε 74 μαθητές της Β΄ Λυκείου (35 μαθητές της Θετικής Κατεύθυνσης και 39 της Τεχνολογικής), και σε 18 φοιτητές / μελλοντικούς εκπαιδευτικούς της Α/βάθμιας και Β/βάθμιας εκπαίδευσης.

Επειδή όλοι οι συμμετέχοντες μαθητές / φοιτητές / μελλοντικοί εκπαιδευτικοί είχαν διδαχθεί την προαναφερθείσα θεματική με τον παραδοσιακό τρόπο και με συμβατικά μέσα –σε κάθε περίπτωση όμως όχι με το προτεινόμενο λογισμικό– δεν χωρίστηκαν σε ομάδες αναφοράς και

πειραματισμού αλλά όλοι αφού συμπλήρωσαν ένα ερωτηματολόγιο (pre test) στην αρχή της ερευνητικής διαδικασίας, μετείχαν σε μια εκπαιδευτική διαδικασία αρχικά με επίδειξη και κατόπιν με ίδια χρήση του προτεινόμενου λογισμικού ακολουθώντας τα βήματα της επιστημονικής / εκπαιδευτικής μεθοδολογίας με βάση ένα φύλλο εργασίας. Στο τέλος της εκπαιδευτικής διαδικασίας συμπλήρωσαν ένα ακόμη ερωτηματολόγιο (post test). Οι ερωτήσεις των ερωτηματολογίων αφορούσαν στη διάκριση των βασικών μεταβολών και τη σύγκριση των χαρακτηριστικών τους μεγεθών (π.χ. σύγκριση θερμοκρασιών σε δύο ισόθερμες καμπύλες), επιλογή μεγεθών (μεταξύ των P,V και T) σε άξονες δοσμένων γραφημάτων, σχεδίαση κυκλικών μεταβολών σε δισδιάστατες προβολές, κ.λπ. Στα φύλλα εργασίας της β' φάσης υπήρχαν πρόσθετες ερωτήσεις σχετικά με την αξιολόγηση του λογισμικού, όπου προβλεπόταν και η καταγραφή παρατηρήσεων και σχολίων από τους συμμετέχοντες.

Η αξιολόγηση του εκπαιδευτικού λογισμικού έγινε με βάση τις απαντήσεις των συμμετεχόντων στα ερωτηματολόγια πριν και μετά την εκπαιδευτική / ερευνητική διαδικασία καθώς και με βάση τις παρατηρήσεις / σχόλιά τους για τη λειτουργικότητα / αποτελεσματικότητα των διαφόρων θεματικών του λογισμικού, αλλά και τον «πειραματισμό» τους με το λογισμικό. Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων και στα δύο ερωτηματολόγια (πριν και μετά) ταξινομήθηκαν στις εξής κατηγορίες: «ελλειμματικές» (όταν απαντούσαν επαρκώς σε λιγότερα από τα μισά ερωτήματα), «ικανοποιητικές» (όταν απαντούσαν επαρκώς σε περισσότερα από τα μισά ερωτήματα), «πλήρεις» (όταν απαντούσαν επαρκώς σε όλα τα ερωτήματα) και «εξαιρετικές» (όταν απαντούσαν πλήρως σε όλα τα ερωτήματα).

Μια πρώτη αποτίμηση των απαντήσεων στα ερωτηματολόγια και των παρατηρήσεων / σχολίων στα φύλλα εργασίας έδειξε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο κατηγοριών του δείγματος της έρευνας, γι' αυτό και τα αποτελέσματά της εμφανίζονται ενοποιημένα:

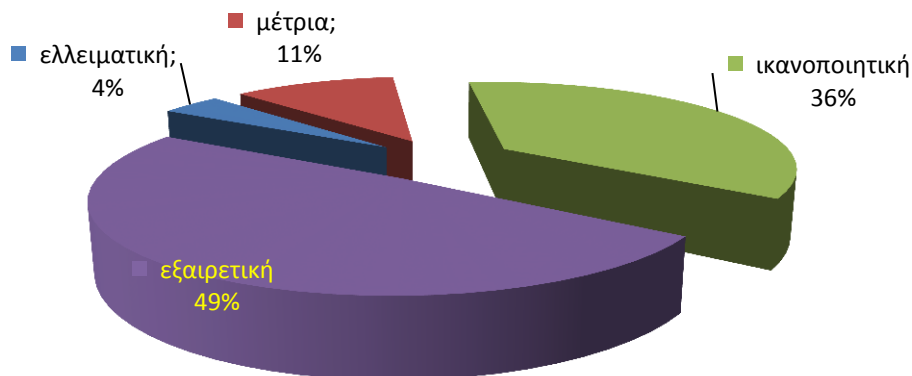


Διάγραμμα 1 και 2: Ποσοστά (%) απαντήσεων συμμετεχόντων στα ερωτηματολόγια πριν και μετά

Οι απαντήσεις των συμμετεχόντων (στο pre test και στο post test) βαθμολογήθηκαν με (1) όταν ήταν ελλειμματικές, με (2) όταν ήταν ικανοποιητικές, με (3) όταν ήταν πλήρεις και με (4) όταν ήταν εξαιρετικές. Η σύγκριση των επιδόσεών τους στα δύο τεστ με το στατιστικό κριτήριο t-test για εξαρτημένα δείγματα έδειξε στατιστικά σημαντική διαφορά υπέρ του post test: $t(91) = 5,348$, $p < 0,001$ (pre test μ.ο.=1,87, τ.α.=0,892 και post test μ.ο.=2,11, τ.α.=0,748).

Σημαντικό επίσης κρίνεται το γεγονός ότι η τυπική απόκλιση της βαθμολογίας μειώθηκε μετά τη χρήση του λογισμικού. Έτσι, ενώ ο μέσος όρος βαθμολογίας δεν αυξήθηκε εντυπωσιακά, είναι σημαντικό ότι το δείγμα ομογενοποιήθηκε περισσότερο.

Όσον αφορά στη λειτουργικότητα / αποτελεσματικότητα των διαφόρων θεματικών του λογισμικού οι παρατηρήσεις και τα σχόλια των συμμετεχόντων ταξινομήθηκαν, επίσης, στις κατηγορίες: «ελλειμματική», «μέτρια», «ικανοποιητική», «εξαιρετική».



Διάγραμμα 3: Ποσοστά (%) λειτουργικότητας λογισμικού

Παρατηρούμε ότι η πλειοψηφία των συμμετεχόντων απαντά θετικά για της λειτουργικότητα και την αποτελεσματικότητα του λογισμικού με το 49% από αυτούς να τη θεωρούν εξαιρετική. Οι ίδιοι δήλωσαν ότι δεν αντιμετώπισαν ιδιαίτερες δυσκολίες στη διαχείριση του λογισμικού κι αυτό οφείλεται στην αρχική επίδειξή του, στις κατατοπιστικές οδηγίες και την απλή δομή των μενού.

Τα Συμπεράσματα – Οι Προτάσεις

Από τις απαντήσεις στα ερωτηματολόγια και τα φύλλα εργασίας των μαθητών / φοιτητών / μελλοντικών εκπαιδευτικών προκύπτει ότι τα συγκεκριμένα εκπαιδευτικά λογισμικά είναι δυνατό να υποστηρίξουν αποτελεσματικά την εκπαιδευτική διαδικασία –στη δευτεροβάθμια / λυκειακή και την τριτοβάθμια εκπαίδευση– των εννοιών και των πληροφοριών που προκύπτουν από τη μελέτη των Περιστρεφόμενων Διανυσμάτων και του γραφήματος της Καταστατικής Εξίσωσης.

Ο πρώτος τίτλος ειδικότερα, βοηθά τους εκπαιδευόμενους να συσχετίσουν το Περιστρεφόμενο Διάνυσμα με την προκύπτουσα ημιτονοειδή καμπύλη και διευκολύνει τη νοητική μετάβαση από την "κυκλική κίνηση" στην "ταλάντωση". Ακόμη επιτρέπει τη γενίκευση της τεχνικής του Περιστρεφόμενου Διανύσματος στις αναφερόμενες θεματικές ενότητες, αλλά και σε άλλες, που δεν αναφέρονται στο λογισμικό (π.χ. κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος με τα στοιχεία R, L, C συνδεδεμένα παράλληλα).

Όσο για τον δεύτερο τίτλο, διαπιστώθηκε ότι επιτυγχάνει εκπαιδευτικά τη συσχέτιση από τους εκπαιδευόμενους των δισδιάστατων προβολών με την πλήρη (τρισδιάστατη) αναπαράσταση και διευκολύνει τη νοητική μετάβαση από τη μία τυποποιημένη προβολή στην άλλη (π.χ. από P-V σε V-T).

Και στις δύο περιπτώσεις διαπιστώθηκε επιπρόσθετα η λειτουργικότητα του λογισμικού και η προστιθέμενη αξία των τεχνικών και αισθητικών χαρακτηριστικών του, καθώς και η δυνατότητα επαναληπτικού «πειραματισμού» με αυτό.

Συνεπώς θεωρούμε ότι είναι δυνατή η γενίκευση της χρήσης / αξιοποίησης του λογισμικού στην τυπική –τουλάχιστον– εκπαίδευση, αφού το δείγμα της ερευνητικής διαδικασίας ήταν αρκετά ευρύ, προτείνουμε δε τη χρήση / αξιοποίησή του.

Η Βιβλιογραφία, οι Αναφορές

Τσάκωνας Π., Γκικοπούλου Ο., Καλκάνης Γ.Θ. (2011). "Προσομοιώσεις / Συσχετίσεις Μικροσκοπικών Ταλαντώσεων και Μακροσκοπικών Κυμάτων με ένα Εκπαιδευτικό Λογισμικό. Μια πρώτη Εκδοχή και Εφαρμογή / Αξιολόγηση". 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο "Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση", Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Αλεξανδρούπολη, 15-18 Απριλίου



Ιμβριώτη Δ., Γκικοπούλου Ο. (2009). "Το εκπαιδευτικό πρότυπο του μικροκόσμου και οι Προσομοιώσεις / Οπτικοποιήσεις του ερμηνεύουν και ενοποιούν τα φαινόμενα του Μακροκόσμου στο μάθημα των Φυσικών της Πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης", 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση "Οι Πολλαπλές Προσεγγίσεις της Διδασκαλίας και της Μάθησης των Φυσικών Επιστημών", Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγική Σχολή, Φλώρινα, 7-10 Μαΐου

Καλκάνης Γ. Θ. κά., (2003). Λογισμικά «Ιπτάμενες Μηχανές» και «Επαναληπτικές Διαδικασίες», Εργαστήριο ΦΕΤΠ - Α.Ε.Ε.Ε., Πρόγραμμα "ΠΛΕΙΑΔΕΣ" / ΝΗΡΗΔΕΣ, ΕΑ.ΙΤΥ, ΥΠΕΠΘ, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Κοινωνία της Πληροφορίας» 2003-2007, Μέτρο 1.2, Γ' ΚΠΣ, Αθήνα

Καλκάνης Γ. Θ. (2007α). "Πρωτοβάθμια Εκπαίδευση στις με τις ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ" (I. οι Θεωρίες, II. τα Φαινόμενα), Αθήνα

Καλκάνης, Γ. Θ. (2007β). "Εκπαιδευτική ΦΥΣΙΚΗ και Εκπαιδευτικές ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ", Αθήνα

Καλκάνης Γ. Θ. κά. (2007γ). Σειρά Επεισοδίων Εκπαιδευτικής Τηλεόρασης: "με το μικρόκοσμο εξηγώ ... 1. τη Θερμότητα και τη Θερμοκρασία των Σωμάτων, 2. την Εξάτμιση, το Βρασμό και την Υγροποίηση των Σωμάτων, 3. την Τήξη και την Πήξη των Σωμάτων, 4. τις Δυνάμεις μεταξύ των Σωμάτων, 5. τις Ανανεώσιμες Αποθήκες Ενέργειας"» (βλ. <http://www.edutv.ypepth.gr>), Εργαστήριο ΦΕΤΠ Πανεπιστημίου Αθηνών, Ερευνητές Α.Ε., Εκπαιδευτική Ραδιοτηλεόραση / Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, Αθήνα

Dimopoulos, V., Kalkanis, G. (2003). "An introduction of microcosmos quantum model to students of limited mathematics and science background supported by computer simulations / visualizations", 4th ESERA Conference, "Research and the quality of science education", The Netherlands, Noordwijkerhout, August 19-23

Grigoriou V, Gikopoulou O., Papageorgiou K., Kalkanis G., (2010). "Prospective Physics Teachers Design and Develop a Normative Lesson utilizing Hands-on Applications of Digital Technologies - Preliminary Results", 7th International Conference on Hands-on Science: Bridging the Science and Society Gap, Hsci2010, University of Crete, Rethymno, Greece, July 25-31

Kalkanis, G. (1996). "The Monte Carlo Techniques as a tool in Physics Education - Applications to microcosmos processes" (invited workshop), 1996 GIREP-ICPE Conference: "New ways of teaching Physics", Ljubliana, Slovenia

Kalkanis, G. (1997). "Realistic Systems / MicroKosmos, Stochastic Processes, Probabilistic Modelling, Computer Simulation / Animation - (or) How to optimise understanding / teaching and learning real physical phenomena - an Appeal and Applications", 7th European Conference for Research on Learning and Instruction (E.A.R.L.I.), Athens, Greece

Kalkanis, G., Sarris, M., (1999). "An educational MONTE CARLO simulation / animation program for the cosmic rays muons and a prototype computer-driven hardware display", *Journal of computers in mathematics and science teaching* 18(1), 61-80

Kalkanis, G. (2001). "Which (and How) Science and Technology Education for Future Citizens?" (invited talk), 1st IOSTE Symposium in Southern Europe, Science and Technology Education: Preparing future citizens, Paralimni, Cyprus.

Kalkanis, G. (2010). "A Hands-on "View" of microKosmos – Simulations / Visualizations for Science and Education", Invited Talk, Hsci2010, 7th International Conference on Hands-on Science: Bridging the Science and Society Gap, University of Crete, Rethymno, Greece, July 25-31

Tsakonas, P., Kalkanis, G. (1998). "A Common Technological Applications Trigger for Teaching / Learning Physics by Computer Simulation Programs", 3rd Multimedia in Physics Teaching and Learning Workshop", University of Sciences and Technologies of Lille, Lille, France.

<http://micro-kosmos.uoa.gr>