



Η τρίτη Διάσταση σε 3D Προσομοιώσεις / Οπτικοποιήσεις Πραγματικού Χρόνου για την (διαδικτυακή και επιτόπια) Εκπαίδευση – Προτάσεις και Εφαρμογές

Παναγιώτης Τσάκωνας, Γεωργ. Θεοφ. Καλκάνης

Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος,
Παιδαγωγικό Τμήμα Δ.Ε., Πανεπιστήμιο Αθηνών, <http://micro-kosmos.uoa.gr>
ptsakon@gmail.com, kalkanis@primedu.uoa.gr

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, έχουν ωριμάσει οι τεχνολογίες δημιουργίας γραφικών πραγματικού χρόνου σε τρεις διαστάσεις, επιτρέποντας τη δημιουργία εκπαιδευτικού λογισμικού κατάλληλου για την προσομοίωση / οπτικοποίηση φαινομένων των Φυσικών Επιστημών, η μελέτη των οποίων διευκολύνεται σε μέγιστο βαθμό από την επί πλέον διάσταση. Ανάλογη εξέλιξη (και διάδοση) παρουσιάζει και το υλικό (hardware), με έμφαση στις κάρτες γραφικών, το κόστος κτήσης του οποίου έχει πάψει πλέον να είναι απαγορευτικό για το σχολείο, τον εκπαιδευτικό, το μαθητή. Η εργασία αυτή επιχειρεί να συνοψίσει τις διαθέσιμες δυνατότητες των γλωσσών προγραμματισμού που εμπλουτίζονται από βιβλιοθήκες ρουτινών γραφικών όπως η OpenGL και η DirectX, για τη δημιουργία λογισμικού εκτελέσιμου τόσο σε τοπικό όσο και σε διαδικτυακό επίπεδο. Παρουσιάζονται βασικές εκδόσεις λειτουργικά ολοκληρωμένων προτάσεων και προτείνονται πρόσθετες τεχνικές εκμετάλλευσης και προτάσεις διδακτικών προσεγγίσεων.

Abstract

In recent years, the technology used to generate 3D images in real time has reached a stage of evolution appropriate for the purposes of creating educational software suitable for simulating / visualizing physical phenomena, the study of which is largely facilitated by the extra dimension. Respectively, the hardware needed to run such software, mainly graphics cards, has become affordable for schools, teachers and students. In this paper, the capabilities of programming languages (enriched by graphics libraries such as OpenGL and DirectX) available for software executed either locally or over the internet are summarized. Minimal versions of existing fully-operational software titles are presented and additional techniques as well as teaching approaches are proposed.

Το Ιστορικό

Το 1992 η εταιρεία Silicon Graphics παρουσίασε στην αγορά το πακέτο OpenGL (Open Graphics Library) που συνιστά μια Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογών (Application Programming Interface – API) για την παραγωγή γραφικών σε δύο και τρεις διαστάσεις. Αν και το αντίστοιχο θεωρητικό υπόβαθρο προϋπήρχε (κυρίως με τη μορφή μαθηματικών μοντέλων βασισμένων στην Άλγεβρα Πινάκων), η καινοτομία του προϊόντος ήταν οι βελτιστοποιημένοι αλγόριθμοι, τόσο σε υπολογιστικό επίπεδο (πολλαπλασιασμός πινάκων), όσο και στην απεικόνιση με χαρακτηριστικά αυξημένης ποιότητας (χρήση τεχνικής double buffering, επιτάχυνση γραφικών σε επίπεδο hardware κ.λπ.).

Δύο χρόνια αργότερα, η Microsoft παρουσίασε το δικό της προϊόν, με τη μορφή του API που ονομάστηκε DirectX και ενσωμάτωνε δυνατότητες παραγωγής multimedia περιεχομένου για τη νέα γενιά λειτουργικών συστημάτων που ξεκίνησε με τα Windows 95. Το DirectX συνιστούσε την μετεξέλιξη του WinG (που λειτουργούσε σε περιβάλλον Windows 3.x) και αποτέλεσε ικανό κίνητρο για τους κατασκευαστές παιχνιδιών να εγκαταλείψουν το MS-DOS ως βάση ανάπτυξης του λογισμικού τους και να στραφούν στα Windows, αφού τους έδινε την ίδια ελευθερία (και ταχύτητα!) διαχείρισης του hardware.

Διάφορες εναλλακτικές προτάσεις εμφανίστηκαν στην αγορά, με τη μορφή των SDL, Allegro, OpenMAX, OpenML, OpenAL, OpenCL, FMOD, αλλά η κυριαρχία των OpenGL και DirectX δεν αμφισβητήθηκε.

Παράλληλα με τα παιχνίδια, εμφανίστηκαν προτάσεις λογισμικού για PC, που επέτρεπαν στο χρήστη να δημιουργήσει εικόνες τριών διαστάσεων, είτε στατικές είτε κινούμενες. Σε μια εποχή (αρχές δεκαετίας '90) όπου οι όροι PC και multimedia δεν ταίριαζαν στην ίδια πρόταση, πακέτα όπως το AutoCAD και το 3DStudio, άρχισαν να γεφυρώνουν το χάσμα. Το 3D Studio, εφοδιασμένο με Πρόσθετα (plug-ins) που επέτρεπαν τον "προγραμματισμό" της κίνησης (διέθετε 4 διαφορετικά plug-ins για την εφαρμογή Αντίστροφης Κινηματικής – Inverse Kinematics) και μια "γλώσσα προγραμματισμού" (με τη μορφή της scripting language MAXScript), σύντομα έγινε το πρότυπο για τη δημιουργία animation σε δύο και τρεις διαστάσεις.

Παρόμοια εξέλιξη σημειώθηκε και στις γλώσσες προγραμματισμού (C++, Delphi, Visual BASIC, Java), οι οποίες, σε περιβάλλον Windows πλέον, απέκτησαν επαρκώς ανοικτή αρχιτεκτονική ώστε στο βασικό ρεπερτόριο των εντολών τους να επιτρέπουν την ενσωμάτωση των API's τρίτων κατασκευαστών, είτε με τη μορφή στοιχείων ActiveX είτε με αναφορά σε αρχεία DLL.

Το επόμενο βήμα ήταν, προφανώς, η προσθήκη αντίστοιχων δυνατοτήτων σε ιστοσελίδες, είτε σε applets γραμμένων σε Java, είτε μέσω της επέκτασης HTML 5.0. Η εμπορική διαμάχη μεταξύ των φυλλομετρητών, επεκτάθηκε και στον τομέα αυτό με την εισαγωγή επεκτάσεων στην JavaScript μέσω πακέτων όπως τα VRML, WebGL, JOGL κ.λπ.

Κατά τα φαινόμενα, η δημιουργία παιχνιδιών θα συνεχίσει να αποτελεί το βασικό κίνητρο για την εξέλιξη της τρισδιάστατης απεικόνισης. Έτσι, διάφορες πλατφόρμες / περιβάλλοντα ανάπτυξης όπως το **Unity3D**, το **Adobe Shockwave** και άλλα, τα οποία απευθύνονται σε δημιουργούς παιχνιδιών, κυκλοφορούν και εξελίσσονται.

Στο περιβάλλον του Διαδικτύου, η πληθώρα και η ποικιλία των διαθέσιμων τεχνολογιών, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν γίνονται όλες αποδεκτές από όλους τους κατασκευαστές και δεν υποστηρίζονται στην ολότητά τους, συσκοτίζει αρκετά το τοπίο και καθιστά αρκετά δύσκολη την επιλογή μιας πλατφόρμας εργασίας που αφ' ενός να συγκεντρώνει όλα τα επιθυμητά τεχνικά χαρακτηριστικά και αφ' ετέρου να μπορεί να εκτελεστεί απρόσκοπτα σε οποιοδήποτε υπολογιστή. Κατά τα φαινόμενα, μια τέτοια επιλογή συνεπάγεται τον περιορισμό στη χρήση συγκεκριμένου υποσυνόλου φυλλομετρητών με χαρακτηριστικό παράδειγμα φυλλομετρητή μη υποστηρίζοντος την τεχνολογία αυτή τον Internet Explorer!

Σε κάθε περίπτωση ο επίδοξος δημιουργός αναλαμβάνει το ρίσκο της επιλογής του και διατρέχει πάντα τον κίνδυνο οι δημιουργίες του να μην εκτελούνται οπουδήποτε, είτε τώρα είτε στο μέλλον. Επίσης πρέπει να λάβει υπόψη του ότι το περιβάλλον εκτέλεσης δεν (θα πρέπει να) περιορίζεται σε παραδοσιακά (επιτραπέζια ή φορητά) υπολογιστικά συστήματα. Μπορεί να επεκτείνεται ακόμη και σε κινητά τηλέφωνα τελευταίας τεχνολογίας, τα οποία φυσικά περιορίζουν τις δυνατότητες θέασης, αλλά αποτελούν ιδανικό μέσο διάδοσης του υλικού και χρήση από τους μαθητές και όχι μόνο.

Η Πρόταση

Από το 2008 στο Εργαστήριο Φυσικών Επιστημών, Τεχνολογίας και Περιβάλλοντος του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Αθηνών έχει καταβληθεί μια συστηματική προσπάθεια για την παραγωγή και (κυρίως) την προτυποποίηση των χαρακτηριστικών που (πιστεύουμε ότι) οφείλει να έχει τέτοιου τύπου λογισμικό:

Πλήρως λειτουργική διεπαφή για την "εξερεύνηση" της τρισδιάστατης απεικόνισης (περιστροφή, μεγέθυνση, σμίκρυνση, προσθαφαίρεση στοιχείων της οπτικοποίησης, μαζί με δυνατότητα αποθήκευσης / ανάκλησης των συνδυασμών τους για γρήγορη επαναφορά σε διδακτικά χρήσιμες προβολές). Επιπρόσθετα, δυνατότητα επιλεγμένων μεταβάσεων από δύο σε τρεις διαστάσεις και αντίστροφα.

Πλήρης χρωματική παραμετροποίηση, ώστε να επιτρέπεται η ξεκάθαρη θέαση τόσο στην οθόνη του υπολογιστή, όσο και σε προβολή για μεγάλο ακροατήριο, με ανάδειξη των λεπτομερειών μέσω των χρωματικών αντιθέσεων, και δυνατότητα αποθήκευσης / ανάκλησης χρωματικών συνδυασμών που αποδεικνύονται επιτυχείς μέσα από την εκπαιδευτική διαδικασία.



Ποικιλία μεθόδων οπτικοποίησης (σημεία, καμπύλες, επιφάνειες), ώστε να διευκολύνεται, εκ μέρους του εκπαιδευόμενου, η κλιμακωτή πρόσληψη της παρουσιαζόμενης πληροφορίας. Επιλογή της πυκνότητας σχεδίασης (πλήθος σημείων ανά άξονα).

Χρήση διαβάθμισης χρώματος κατά τρόπο που να αναδεικνύει ποιοτικά τις μεταβαλλόμενες τιμές του προσομοιούμενου φυσικού μεγέθους.

Εμφάνιση και έλεγχος των τιμών των φυσικών παραμέτρων (στις εφαρμογές όπου έχει έννοια μια τέτοια δυνατότητα) ώστε να επιτρέπεται η προσομοίωση του φυσικού φαινομένου.

Έλεγχος του ρυθμού εξέλιξης της προσομοίωσης με επιπρόσθετη τη δυνατότητα αντιστροφής του χρόνου.

Καταγραφή χρονικών "σημείων ενδιαφέροντος" και δυνατότητα αυτόματης ή χειροκίνητης αναπαραγωγής τους, προκειμένου να εστιάσει ο εκπαιδευόμενος σε επιλεγμένες λεπτομέρειες της προσομοίωσης / οπτικοποίησης.

Δυνατότητα επικόλλησης σε άλλες εφαρμογές ή/και αποθήκευσης των παραγόμενων εικόνων.

Δυνατότητα ανοίγματος πολλαπλών παραθύρων για τη συγκριτική προσομοίωση φυσικών φαινομένων.

Δυνατότητα πρόσβασης στο διαδίκτυο (για την έκδοση της εφαρμογής που εκτελείται τοπικά) μέσω ενσωματωμένου φυλλομετρητή και αποθήκευσης των Δεσμών που ο χρήστης κρίνει χρήσιμες για μελλοντική αναφορά.

Δυνατότητα επιλογής της χρησιμοποιούμενης γλώσσας στη διεπαφή της εφαρμογής, ώστε να είναι κατάλληλη για εκτέλεση οπουδήποτε. Στην τοπικά εκτελούμενη έκδοση της εφαρμογής, συνοδευτικό εργαλείο (utility) για τη μετάφραση της γλώσσας της διεπαφής χωρίς επέμβαση στον πηγαίο κώδικα.

Ενσωμάτωση διαδικασίας γραπτής εξέτασης του εκπαιδευόμενου με ερωτήσεις κλειστού τύπου όλων των παραλλαγών (συμπλήρωσης κενού, αντιστοίχισης, σωστού – λάθους, πολλαπλής επιλογής, κ.λπ.) επιλεγόμενων από ενσωματωμένη Βάση Δεδομένων, με προαιρετικά χαρακτηριστικά: χρονικό περιορισμό (ανά ερώτηση ή ανά δοκιμασία), διαβάθμιση δυσκολίας των ερωτήσεων, εμφάνιση βαθμολογίας, παροχή συμβουλών μελέτης μετά το πέρας της δοκιμασίας, παράθεση συγκριτικής επίδοσης (Σειρά Επιτυχίας - Percentile) ενός εκπαιδευόμενου είτε με προηγούμενες προσπάθειές του, είτε με άλλους εκπαιδευόμενους, βαθμολόγηση της Αξιοπιστίας (Validity) των ερωτήσεων που περιέχονται στη Βάση με σκοπό τη μελλοντική βελτίωσή τους, κ.λπ.

Δυνατότητα παραγωγής έντυπων ερωτηματολογίων στα οποία περιλαμβάνονται (και) ερωτήσεις ανοικτού τύπου.

Συνοδευτικό λογισμικό για τη δημιουργία Βάσης Ερωτήσεων με όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.

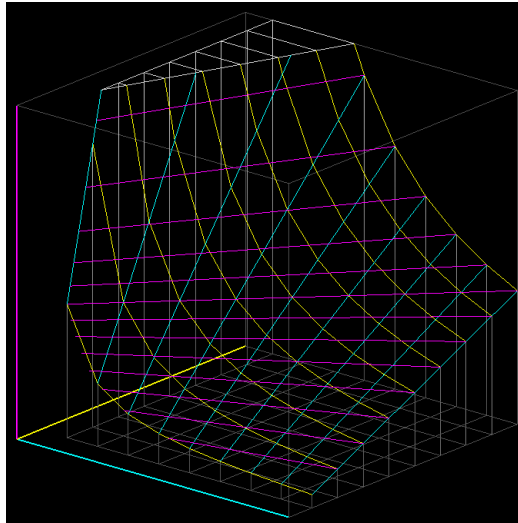
Προηγούμενες έρευνες σε τίτλους εκπαιδευτικού λογισμικού που έχουν δημιουργηθεί με οδηγό την προαναφερθείσα λίστα, αποδεικνύουν ότι τα χαρακτηριστικά αυτά δημιουργούν προστιθέμενη αξία, αφού καθιστούν το προϊόν αυτοτελές και ικανό να στηρίξει εξ ολοκλήρου μια εκπαιδευτική προσέγγιση είτε με τη μορφή επίδειξης, είτε σε επίπεδο αυτοδιδασκαλίας.

Η Εφαρμογή

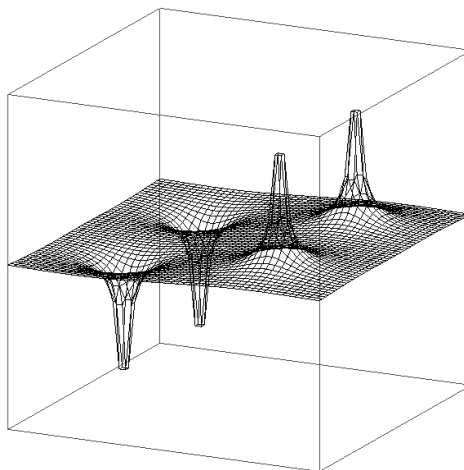
Επί του παρόντος έχουν δημιουργηθεί τίτλοι λογισμικού που αναφέρονται στην Ταλάντωση και τη Σύνθεσή τους, στα Κύματα και τη Συμβολή τους σε επίπεδο ελαστικό μέσο, στη λειτουργία Κυκλώματος Εναλλασσόμενου Ρεύματος που περιέχει συνδυασμούς στοιχείων R L και C, στο Περιστρεφόμενο Διάνυσμα και στο εξ αυτού παραγόμενο ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενο μέγεθος, στην Καταστατική Εξίσωση των Ιδανικών Αερίων, στις Αντιστρεπτές Μεταβολές που υφίσταται μια ποσότητα ιδανικού αερίου και τις προβολές τους σε άξονες P-V, V-T και P-T. Υπό ανάπτυξη βρίσκονται ένας τίτλος για ην αναπαράσταση του χωροχρόνου και την καμπύλωση που υφίσταται λόγω της παρουσίας μάζας, καθώς και ένας τίτλος για την αναπαράσταση των στοιχείων ενός ηλεκτροστατικού πεδίου που δημιουργείται από σημειακά φορτία, με αναπαράσταση, των διανυσμάτων της Έντασης, των Δυναμικών Γραμμών, των Ισοδυναμικών

Επιφανειών με έμφαση στο μηχανικό ανάλογο της Διαφοράς Δυναμικού με την Υψομετρική Διαφορά σε Βαρυτικό πεδίο κ.λπ.

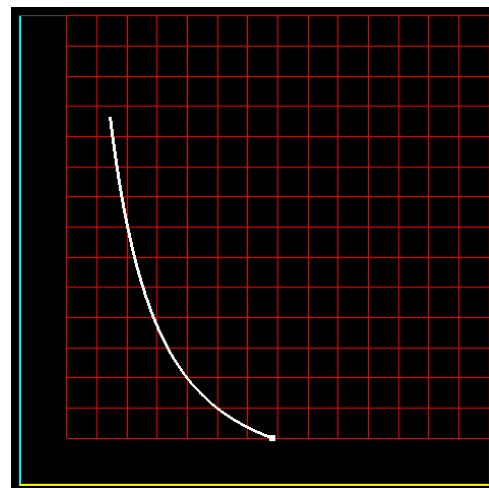
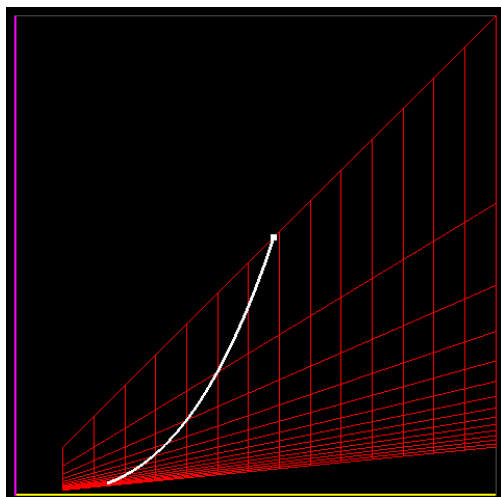
Μερικά στιγμιότυπα των τίτλων αυτών φαίνονται στη συνέχεια συνοδευόμενα από σύντομες επεξηγηματικές λεζάντες:



Σχεδίαση ισόχρων, ισόθερμων και ισοβαρών καμπυλών.



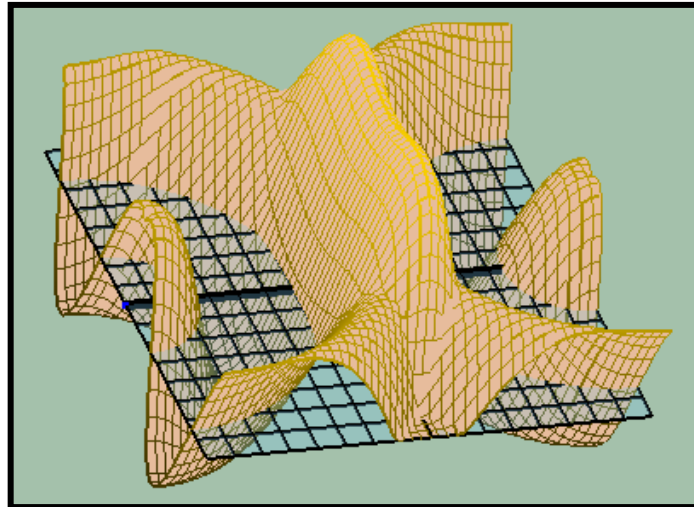
Κατανομή Δυναμικού στην περιοχή τεσσάρων σημειακών φορτίων (δύο θετικών και δύο αρνητικών).



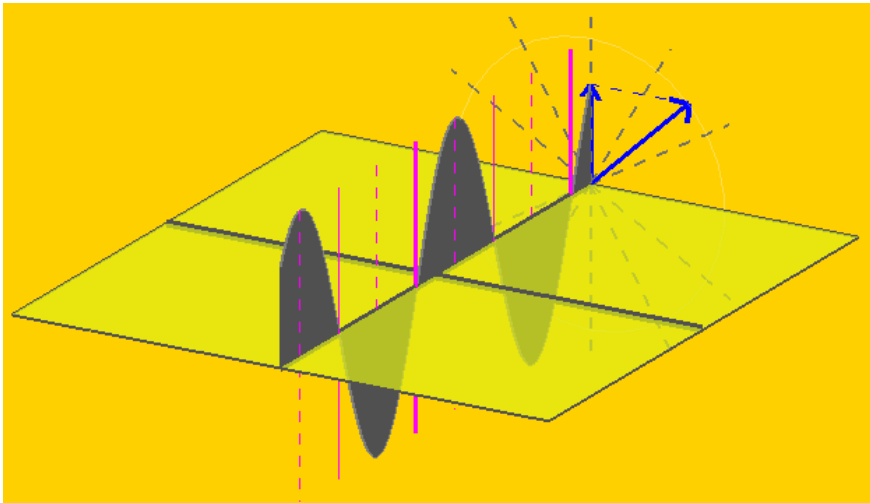
Η ίδια μεταβολή σε V-T.



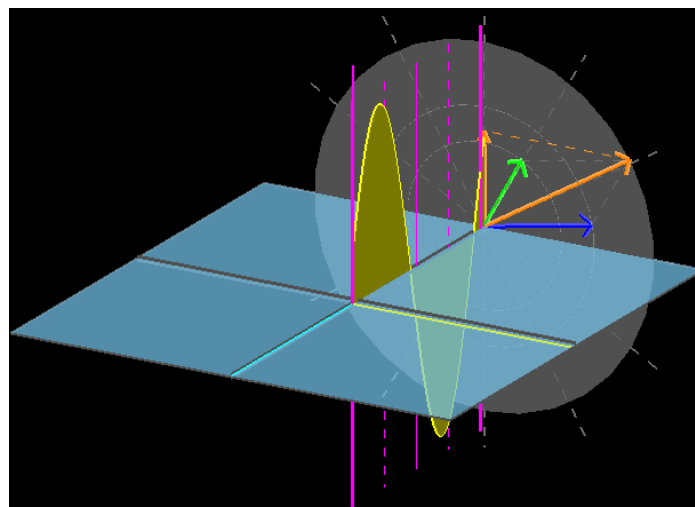
Αδιαβατική μεταβολή σε P-T.



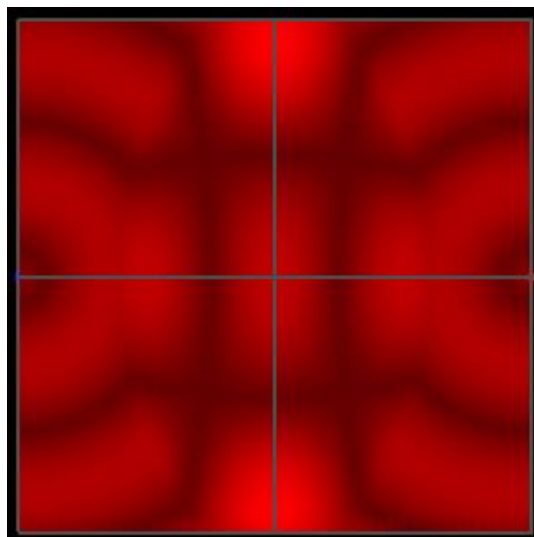
Έναρξη της Συμβολής Κυμάτων σε επίπεδο ελαστικό μέσο από δύο σύμφωνες πηγές.



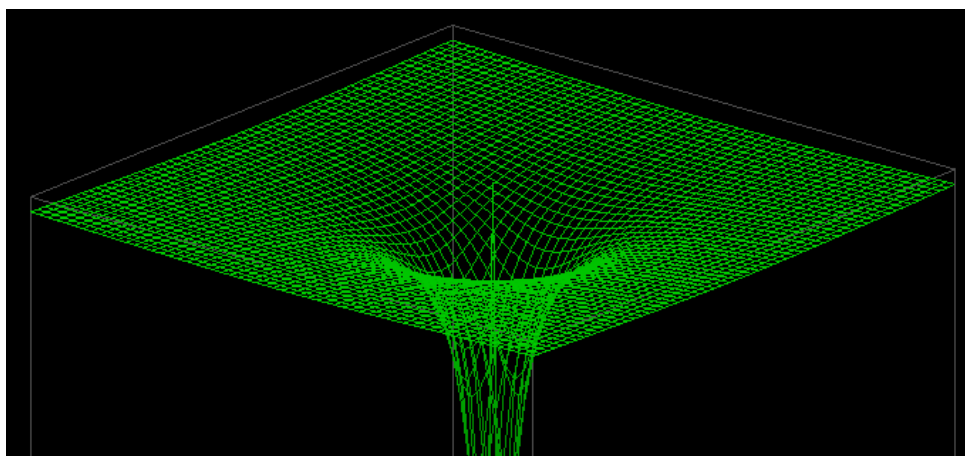
Περιστρεφόμενο διάνυσμα που παράγει μια ημιτονοειδή καμπύλη.



Σύνθεση ταλαντώσεων με διαφορά φάσης και ανόμοια πλάτη.



Κάτοψη Συμβολής κυμάτων: σταδιακή μετατροπή των μετώπων κύματος από ομόκεντρους κύκλους σε κροσσούς συμβολής.



Χωροχρονική παραμόρφωση λόγω της παρουσίας μάζας.

Μελέτη Παλμών / Κυμάτων - [Γραπτή Δοκιμασία]
Μελέτη Παλμών Μελέτη Κυμάτων Διαχείριση

Γραπτή Δοκιμασία: Φυσική > Κύματα

Χρησιμοποιήστε το ποντίκι σας για να σύρετε σε κάθε περιγραφή το κατάλληλο σχήμα

Στο σχήμα [...] φαίνεται ένα κύμα τη χρονική στιγμή $t=T/2$

Στο σχήμα [...] φαίνεται ένα κύμα τη χρονική στιγμή $t=T/4$

Στο σχήμα [...] φαίνεται ένα κύμα τη χρονική στιγμή $t=5T/4$

Γραπτή Δοκιμασία: Ερώτηση Πολλαπλής Επιλογής με προτεινόμενες απαντήσεις σε μορφή εικόνων που έχουν παραχθεί από το ίδιο το λογισμικό.



Τα Συμπεράσματα

Τα περισσότερα από τα προαναφερθέντα λογισμικά έχουν αποτελέσει αντικείμενο έρευνας μέσω ερωτηματολογίων που μοιράστηκαν σε μαθητές Λυκείου, φοιτητές του Παιδαγωγικού Τμήματος Δ.Ε. του Πανεπιστημίου Αθηνών / μελλοντικούς δασκάλους και εν ενεργεία εκπαιδευτικούς. Όπως προέκυψε, λογισμικό με τα χαρακτηριστικά αυτά συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση των θεματικών ενοτήτων που διαπραγματεύεται και μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εποπτικό μέσο διδασκαλίας που λειτουργεί συνδυαστικά με τα ήδη υπάρχοντα, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ανεξάρτητα ακόμη και σε επίπεδο αυτοδιδασκαλίας.

Συνεπώς, θεωρούμε χρήσιμη τη συνέχιση της συζήτησης επί των διαθέσιμων τεχνολογιών και της χρήσης τους από ένα σώμα εκπαιδευτικών / προγραμματιστών, των οποίων η διαρκώς αυξανόμενη εμπειρία θα τους καθιστά ικανούς να αξιοποιούν για εκπαιδευτικούς σκοπούς όχι μόνο τα ήδη υπάρχοντα χαρακτηριστικά και δυνατότητες της τρισδιάστατης φωτορεαλιστικής απεικόνισης, αλλά και όσα αναμένονται να προκύψουν μελλοντικά.

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., 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, Hsc2010, 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>

http://learningwebgl.com/blog/?page_id=1217

<http://www.html5rocks.com/en/>