

Η χρήση των προσομοιώσεων στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών. Μια ιδιαίτερη μνεία στο μάθημα της Αστρονομίας με παράθεση προγραμμάτων προσομοίωσης

The use of simulation in Science teaching. A special reference to simulation programs in Astronomy subject

Γεράσιμος-Χρήστος Ασωνίτης, Μεταπτυχιακός Φοιτητής του Πανεπιστημίου Λευκωσίας,
gerasimos.chr@outlook.com

Gerasimos-Christos Asonitis, Postgraduate Student in University of Nicosia, gerasimos.chr@outlook.com

Abstract: The different technology means can be used for the improvement and the better comprehension during the educational process. In this paper, we tried to compare the effectiveness between the traditional methods of teaching and the ones using simulation programs, in Science. Through the study of different bibliography it was observed that simulation based teaching could bring positive effects to the students learning, although there are studies that estimate traditional methods may be more effective in Science teaching. Therefore, it is recommended simulating programs to be used as helpful tools in class alongside with the traditional teaching. Furthermore, this paper presents three examples of programs (Celestia, Google Earth and Stellarium) that use simulations to explain the astronomical phenomena which could be utilized in the Astronomy class, as they have the ability to provide a full representation of our galaxy and may increase student's interest to take a few steps deeper into the Astronomy course.

Keywords: Simulations, Science, Astronomy

Περίληψη: Τα μέσα που παρέχονται από την τεχνολογία δύνανται να χρησιμοποιηθούν με σκοπό την επίτευξη μιας ορθότερης εκπαιδευτικής διαδικασίας. Σε αυτήν την εργασία επιχειρείται η σύγκριση της αποτελεσματικότητας μεταξύ των παραδοσιακών μεθόδων μάθησης και των μεθόδων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία και ειδικότερα τις προσομοιώσεις κατά την εκπαιδευτική διαδικασία στις Φυσικές Επιστήμες (Φ.Ε.). Μέσα από την έρευνα επιλεγμένης βιβλιογραφίας, παρατηρήθηκε ότι η χρήση των προσομοιώσεων στη διδασκαλία των Φ.Ε., παρά τα όποια θετικά αποτελέσματα στην επίδοση των μαθητών, θεωρείται από αρκετούς ερευνητές λιγότερο αποδοτική σε σύγκριση με τις παραδοσιακές

μεθόδους διδασκαλίας και για αυτό το λόγο θα ήταν συνετό να χρησιμοποιείται συμπληρωματικά αυτών. Επιπλέον, στην εργασία παρουσιάζονται τρία προγράμματα προσομοίωσης (Celestia, Google Earth και Stellarium), τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά στη διδασκαλία της Αστρονομίας, αφού παρέχουν μια ολοκληρωμένη απεικόνιση του γαλαξία μας και είναι ικανά να τραβήξουν το ενδιαφέρον του μαθητή και να τον ωθήσουν στην περαιτέρω εμβάθυνση.

Λέξεις κλειδιά: Προσομοιώσεις, Φυσικές Επιστήμες, Αστρονομία

Εισαγωγή

Είναι ευρέως γνωστή, τις τελευταίες δεκαετίες, η αξιοποίηση των μέσων που παρέχονται από την τεχνολογία με σκοπό τη βελτιστοποίηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Όπως είναι φυσικό, αυτή η συνεχώς αυξανόμενη τάση στην εκπαίδευση υποστηρίζεται τόσο από την ανάπτυξη των τεχνολογικών επιτευγμάτων όσο και από την ενασχόληση μεγάλου αριθμού μαθητών με τα ηλεκτρονικά μέσα. Μολονότι οι εφαρμογές της είναι πολλές στα περισσότερα από τα πεδία της εκπαίδευσης, η παρούσα εργασία στοχεύει στην παρουσίαση επιλεγμένων ερευνών οι οποίες αφορούν την εφαρμογή των προσομοιώσεων στις Φυσικές Επιστήμες (Φ.Ε), εξειδικεύοντας, στη συνέχεια, στον κλάδο της Αστρονομίας. Ειδικότερα, οι στόχοι της εργασίας αυτής είναι οι εξής: (α) να δοθεί ο ορισμός της προσομοίωσης και να διευκρινιστεί ο τρόπος, με τον οποίο αυτή επιτυγχάνεται, (β) να εξεταστεί κατά πόσο η εκμάθηση των Φ.Ε, μέσω των προσομοιώσεων, μπορεί να συγκριθεί με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας και (γ) να δοθούν επιλεγμένα παραδείγματα προγραμμάτων που έχουν ως βάση τις προσομοιώσεις και τα οποία μπορούν να ενταχθούν συμπληρωματικά κατά τη διδακτική διαδικασία στο μάθημα της Αστρονομίας.

1. Προσομοίωση και τρόπος επίτευξης αυτής

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην ανάδειξη της χρησιμότητας της εφαρμογής των προσομοιώσεων στη διδακτική των Φ.Ε. Για αυτόν το λόγο, κρίνεται αναγκαία η αναφορά του ορισμού της προσομοίωσης, αλλά και του τρόπου, με τον οποίο αυτή μπορεί να επιτευχθεί. Σύμφωνα με τον Ρουμελιώτη (2001), η προσομοίωση είναι μία μέθοδος η οποία μελετά και προσπαθεί να εξοικειώσει τους χρήστες/μαθητές με τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος μέσω της χρήσης ενός άλλου συστήματος που, τις περισσότερες φορές, είναι ένας υπολογιστής. Επιπλέον, τονίζει ότι η επίτευξη της προσομοίωσης ενός συστήματος αποτελείται από τρεις φάσεις οι οποίες επιγραμματικά είναι:

1. η κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης,
2. η εκτέλεση του μοντέλου και
3. η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Η πρώτη φάση της κατασκευής του μοντέλου αποτελεί και το πιο σημαντικό βήμα της προσομοίωσης, αφού η ποιότητα και η αξιοπιστία του καθορίζουν και την αξιοπιστία της ίδιας της προσομοίωσης.

Επιπροσθέτως, ο Μικρόπουλος (2002) παραθέτει τα τέσσερα βασικά στάδια που απαιτούνται για τη δημιουργία των προσομοιώσεων τα οποία πρέπει να αξιοποιούνται κατά την εκπαιδευτική διαδικασία. Το πρώτο στάδιο έγκειται στη συλλογή των δεδομένων, διαδικασία η οποία δύναται να επιτευχθεί είτε μέσω αισθητήρων που απαντώνται σε εργαστήρια τα οποία είναι συνδεδεμένα με υπολογιστή, είτε από την άμεση παρατήρηση των φαινομένων ή ακόμα και από την αριθμητική προσομοίωση των φαινομένων αυτών. Το δεύτερο στάδιο είναι αυτό του μετασχηματισμού των δεδομένων, στο οποίο όσα από τα δεδομένα συλλέχθηκαν μέσω αισθητήρων υπόκεινται σε δειγματοληψία και ψηφιοποίηση, όσα προήλθαν από την άμεση παρατήρηση εισάγονται στον υπολογιστή, ενώ όσα συλλέχθηκαν από αριθμητική προσομοίωση είναι έτοιμα για το επόμενο στάδιο. Έτσι λοιπόν, μεταβαίνουμε στο επόμενο στάδιο το οποίο αναφέρεται ουσιαστικά στους τρόπους, με τους οποίους μπορεί να αποδοθεί η προσομοίωση. Πιο συγκεκριμένα, μερικοί εξ αυτών είναι οι κινούμενες εικόνες, οι γραφικές παραστάσεις, οι οπτικοποιήσεις, καθώς και τα εικονικά περιβάλλοντα, ενώ σε μερικές περιπτώσεις, οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται και για την απόδοση των αριθμητικών δεδομένων. Το τελευταίο στάδιο αφορά στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, τη μελέτη των προσομοιώσεων, αλλά και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Εκτός των άλλων, μια σημαντική πληροφορία που δίδεται από τον Μικρόπουλο (2002) είναι ότι η προσομοίωση πρέπει να είναι δυναμική, δηλαδή να παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη/μαθητή να μεταβάλλει αλλά και να επιλέγει τις μεταβλητές που εκείνος θεωρεί σημαντικές για το σκοπό που τη χρησιμοποιεί κάθε φορά. Επιπλέον, για να μπορεί η προσομοίωση να επιφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα στη διδασκαλία, θα πρέπει να παρέχει κίνητρα στους μαθητές για να τη δοκιμάσουν.

Σε αυτό το σημείο κρίνεται αναγκαία η παράθεση ενός παραδείγματος που αφορά την κατασκευή προσομοιώσεων και δίδεται από τον Μπίσμπα (2005), ο οποίος παρομοιάζει τον τρόπο κατασκευής τους με την ανάλυση μιας ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής. Σύμφωνα με τον προαναφερθέντα, μια ψηφιακή εικόνα αποτελείται από pixel τα οποία επηρεάζουν και την ανάλυση της αφού, ως γνωστόν, μια εικόνα με περισσότερα pixel έχει μεγαλύτερη ανάλυση από μια άλλη με λιγότερα. Έτσι, λοιπόν, είναι εύλογο ότι αν αποφασίσουμε να χαμηλώσουμε την ανάλυση μιας φωτογραφίας, το αποτέλεσμα που θα προκύψει δεν θα είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό. Ομοίως συμβαίνει και στις προσομοιώσεις, αν, για παράδειγμα, αποφασίσουμε να δημιουργήσουμε έναν γαλαξία και τον θεωρήσουμε ως ένα στερεό σώμα, δεν θα έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα αφού δεν θα σχετίζεται με την πραγματικότητα. Τεμαχίζοντάς τον, όμως, σε χιλιάδες ομόκεντρους δακτυλίους, το αποτέλεσμα που θα προκύψει θα προσεγγίζει ολοένα και περισσότερο έναν πραγματικό γαλαξία. Αν μάλιστα προβούμε σε διάσπαση όλου του γαλαξιακού δίσκου και τον μετατρέψουμε σε σκόνη, τότε ο γαλαξίας που θα προκύψει θα είναι έτοιμος για προσομοίωση. Φυσικά για να επιτευχθεί μια τέτοιου είδους προσομοίωση θα έπρεπε να έχουμε περίπου διακόσια δισεκατομμύρια, κατά

μέσο όρο, κομμάτια, όσοι δηλαδή είναι και οι αστέρες για να προσεγγίσουμε το πραγματικό φαινόμενο.

Στη συνέχεια της διαδικασίας, στα κομμάτια που δημιουργήσαμε εισάγουμε τις εξισώσεις που χρειαζόμαστε οι οποίες ονομάζονται εξισώσεις Poisson και αποτελούν εξισώσεις που διέπουν όλες τις κινήσεις των πλανητών γύρω από τον Ήλιο, τις κινήσεις ενός αστρικού σμήνους, αλλά και μιας ομάδας γαλαξιών. Όταν ολοκληρωθεί και αυτό το βήμα, δίνουμε εντολή στον υπολογιστή ο οποίος αυτόματα τις λύνει διακόσια δισεκατομμύρια φορές για το πρώτο δευτερόλεπτο της κίνησης του γαλαξία. Με αυτόν τον τρόπο, ο γαλαξίας έχει προσομοιωθεί ικανοποιητικά. Παρέχεται λοιπόν, μέσα από αυτό το παράδειγμα, η δυνατότητα σε εμάς να κατανοήσουμε ότι η κατασκευή μίας προσομοίωσης ενός φαινομένου δεν είναι εύκολη υπόθεση εφόσον απαιτεί χρόνο, γνώσεις, αλλά και τον κατάλληλο εξοπλισμό. Βεβαίως, εάν υπάρχει μεθοδευμένη εργασία, είναι βέβαιο ότι η προσομοίωση που θα προκύψει θα προσεγγίσει αρκετά το πραγματικό φαινόμενο και θα δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

2. Η χρήση των προσομοιώσεων στην εκπαίδευση συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας

Σύμφωνα με τους Csermely et al. (2007), υπάρχει έλλειψη ενδιαφέροντος, από πλευράς μαθητών, σχετικά με την εκμάθηση των Φ.Ε, γεγονός που ενισχύει την πεποίθηση ότι πρέπει να αναπτυχθούν διδακτικές δραστηριότητες που θα προσελκύσουν το ενδιαφέρον τους. Επειδή, όπως έχει παρατηρηθεί, οι άνθρωποι αφομοιώνουν ευκολότερα τις πληροφορίες που τους δίνονται μέσα από εικόνες και περιβάλλοντα βασισμένα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή (Μιχαήλ κ.ά., 2012), κρίνεται αναγκαίο να ενταχθούν στην εκπαίδευση των Φ.Ε διάφορες εφαρμογές που υποστηρίζονται από αυτόν, με στόχο την καλύτερη κατανόηση τους.

Η εφαρμογή των προσομοιώσεων στον τομέα των Φ.Ε παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού, σύμφωνα με τον Πατσαδάκη (2014), υπάρχουν διάφορα φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν να παρασταθούν και να μελετηθούν πλήρως σε ένα συμβατικό εργαστήριο, πόσο μάλλον να εξασφαλιστεί, με αυτό, η ικανοποιητική διδασκαλία τους. Όμως, μέσω της χρήσης των προσομοιώσεων, τόσο ο εκπαιδευτικός, όσο και ο μαθητής έχουν τη δυνατότητα να εκτελέσουν διάφορα πειράματα ή να κάνουν υποθέσεις που θα τους οδηγήσουν στην ανακάλυψη κανόνων που αφορούν το περιβάλλον το οποίο μελετούν. Επιπροσθέτως, όταν αυτοί έχουν στη διάθεση τους και εικονικές εργαστηριακές συσκευές, τότε πλέον αναφερόμαστε στο εικονικό πείραμα, στο οποίο το φαινόμενο προσομοιώνεται με τέτοιο τρόπο που δεν είναι επικίνδυνο για τους συμμετέχοντες και αποτελεί μία εύκολη και οικονομική λύση για τα εκπαιδευτικά περιβάλλοντα (Καρούμπαλης, 2013).

Έτσι, οι εμπειρίες που αποκομίζουν οι μαθητές από τη διδασκαλία μέσω της χρήσης των προσομοιώσεων συντελούν στην υπέρβαση των ορίων της παραδοσιακής διδασκαλίας, αλλά και στην υιοθέτηση στάσεων απέναντι στην έρευνα (Moss, 2001). Μάλιστα, σχετικές έρευνες των τελευταίων ετών έχουν δείξει ότι η διδασκαλία με τη βοήθεια των προσομοιώσεων

επιφέρει θετικά αποτελέσματα στην επίδοση των μαθητών στα μαθήματα των Φ.Ε (Akran, 2002; Adams et al., 2008; Cheng et al., 2011; Rutten et al., 2012). Βεβαίως, υπάρχουν και άλλες έρευνες που υποστηρίζουν ότι οι προσομοιώσεις χρησιμεύουν στην εκμάθηση των κατώτερων κατηγοριών της ταξινόμιας του γνωσιολογικού τομέα του Bloom (γνώση και κατανόηση) (Chang, 2000) και επιφέρουν θετικά αποτελέσματα σε άτομα μεγαλύτερης ηλικίας (Μιχαηλίδης, 2007).

Μια πρόσφατη έρευνα που αναδεικνύει τα θετικά αποτελέσματα των προσομοιώσεων στη διδασκαλία των Φ.Ε είναι αυτή του Μπάκα (2014), ο οποίος επιδίωξε να εντάξει στη διδασκαλία του τις προσομοιώσεις, μέσω των εικονικών πειραμάτων. Για την ακρίβεια, χρησιμοποίησε το πακέτο εικονικών πειραμάτων PhET, το οποίο παρέχει έτοιμα περιβάλλοντα προσομοίωσης. Μέσω αυτού, στόχευσε στο να κατανοήσουν οι μαθητές του την έννοια της γραμμικής ταλάντωσης, του ορισμού της περιόδου της, καθώς επίσης και τις σχέσεις που διέπουν τα ανάλογα και αντιστρόφως ανάλογα ποσά στα φυσικά μεγέθη. Το δείγμα που χρησιμοποίησε αφορούσε μαθητές της Α' Λυκείου του 1ου και 5ου Γενικού Λυκείου Κέρκυρας, οι οποίοι δεν είχαν διδαχθεί τη συγκεκριμένη ύλη με τους παραδοσιακούς τρόπους διδασκαλίας, ενώ η έρευνα που διεξήγαγε πραγματοποιήθηκε σε δύο διαδοχικά σχολικά έτη. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν αρκετά ενθαρρυντικά, αφού, όπως ο ίδιος εξηγεί, οι μαθητές ανταποκρίθηκαν με επιτυχία, υψηλότερη των προσδοκιών του, στη διαδικασία διότι κατανόησαν και εργάστηκαν με άνεση στο περιβάλλον προσομοίωσης που τους δόθηκε, καθώς επίσης κατάφεραν να αναγνωρίσουν άμεσα τις παραμέτρους που χρειαζόταν να τροποποιήσουν για να επηρεασθεί η περίοδος της ταλάντωσης.

Ωστόσο, υπάρχουν και ερευνητές που υποστηρίζουν ότι η διδασκαλία, με τη βοήθεια των προσομοιώσεων, φέρει παρόμοια αποτελέσματα με αυτά της παραδοσιακής διδασκαλίας (Kurt, 2001; Klahr et al., 2007; Jaakkola & Nurmi, 2008), ενώ άλλοι θεωρούν ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι διδασκαλίας προσφέρουν ικανοποιητικότερα αποτελέσματα από εκείνες που χρησιμοποιούν τις προσομοιώσεις (Steinberg 2003; Marshall & Young, 2006). Σε μία προσπάθεια διαπίστωσης του καταλληλότερου τρόπου διδασκαλίας, οι Ευαγγέλου και Κώτσης (2009) προέβησαν σε σχετική βιβλιογραφική έρευνα που αφορούσε την ανάλυση και τη μελέτη είκοσι έξι ερευνών, προερχόμενες από έντυπες και ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες, οι οποίες αναφέρονταν στη διδασκαλία μέσω πραγματικών αλλά και εικονικών πειραμάτων Φυσικής, τα οποία επιτυγχάνονταν με τη βοήθεια των προσομοιώσεων. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δύο μεθόδων ήταν τα εξής: η μάθηση μέσω εικονικών πειραμάτων υπερεπερίσσευε στο 46% των ερευνών, ενώ σημειώνεται και ένα ποσοστό ερευνών (8%), στις οποίες διαπιστώνεται ακριβώς το αντίθετο. Παρόλα αυτά, δεν θα μπορούσαμε να εξαγάγουμε ένα βέβαιο συμπέρασμα, αφού το 31% των ερευνών αναδεικνύουν ότι τα μαθησιακά αποτελέσματα μέσω εικονικών πειραμάτων ήταν παρόμοια με αυτά των πραγματικών πειραμάτων, ενώ στο 15% δεν δίνονταν επαρκείς απαντήσεις για το ποιο είδος υπερεπερίσσευε. Τονίζουμε στο σημείο αυτό, ότι τα αποτελέσματα αυτά προέκυψαν από επιλεγμένη βιβλιογραφία, γεγονός που σημαίνει ότι ενδεχομένως θα υπήρχε διαφοροποίηση εάν είχαν

μελετηθεί περισσότερες έρευνες. Οι εν λόγω ερευνητές κατέληξαν τελικά στο συμπέρασμα ότι δεν μπορούμε με βεβαιότητα να αποδεχτούμε την αποτελεσματικότητα της μάθησης μέσω των εικονικών πειραμάτων, δεδομένου ότι ναι μεν ένα μεγάλο ποσοστό ερευνών (46%) υποστηρίζει ότι η μάθηση μέσω αυτών επιτυγχάνεται καλύτερα, όμως το υπόλοιπο 54% δεν δίνει σαφή αποτελέσματα. Επίσης, οι ίδιοι σημειώνουν ότι το μεγαλύτερο μέρος των συμμετεχόντων στις έρευνες ήταν φοιτητές Πανεπιστημίου (60%), ενώ μόλις το 20% ήταν μαθητές Δημοτικού, παράγοντας που ενδεχομένως να επηρέαζε τα αποτελέσματα των ερευνών.

Ενδεχομένως, μέσα από τις έρευνες που παραθέσαμε παραπάνω, να μην καταλήξαμε σε βέβαια αποτελέσματα σχετικά με το ποιος τρόπος είναι προτιμότερος και οδηγεί σε θετικότερα αποτελέσματα στη διδασκαλία των Φ.Ε. Όμως από την άλλη πλευρά, ενστερνιζόμενοι την άποψη του Μικρόπουλου (2006), θα μπορούσαμε να προτείνουμε, ότι η μάθηση μέσω της χρήσης προσομοιώσεων, είτε για την πραγματοποίηση εικονικών πειραμάτων είτε για την εκπαίδευση γενικότερα, θα πρέπει να θεωρείται ως ένα βοηθητικό μέσο που συμβάλλει στην κατανόηση των δεδομένων. Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί ότι η χρήση τους ως συμπλήρωμα των παραδοσιακών μεθόδων διδασκαλίας, δύναται να καταστήσει τη διδασκαλία πιο δημιουργική και επικοινωνιακή, ειδικότερα στις περιπτώσεις που είναι αδύνατο αυτή να πραγματοποιηθεί με φυσικές μεθόδους.

Στο σημείο αυτό, θα ήταν χρήσιμο να γίνει αναφορά σε ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης των προσομοιώσεων στη διδασκαλία των Φ.Ε. Σύμφωνα με τον Μιχαηλίδη (2007), τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των προσομοιώσεων στη διδακτική πράξη είναι τα εξής:

1. Λόγω της παραστατικότητας τους, ο μαθητής μπορεί να συγκρατήσει στη μνήμη του τα όσα διδάχθηκε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
2. Μέσω της ρύθμισης των παραμέτρων, υπάρχει η δυνατότητα πληρέστερης κατανόησης του φαινομένου που διατίθεται προς μελέτη, ενώ ο μαθητής δύναται να αντιληφθεί ευκολότερα τις παραμέτρους που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του.
3. Οι προσομοιώσεις παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες να μελετούν ένα φαινόμενο και για τα επόμενα χρονικά διαστήματα.
4. Είναι το μέσο, το οποίο προσεγγίζει περισσότερο το πραγματικό φαινόμενο, αλλά και σε περιπτώσεις όπου είναι αδύνατη η άμεση παρατήρηση του, καθίσταται η μοναδική επιλογή.

Από την άλλη, τα μειονεκτήματα που παρατίθενται είναι τα εξής:

1. Μέσω της προσομοίωσης, το φαινόμενο που μελετάται απεικονίζεται άλλοτε λιγότερο άλλοτε περισσότερο ικανοποιητικά, αλλά ποτέ όπως πραγματικά συμβαίνει.
2. Στην προσομοίωση ο μαθητής μελετάει το φαινόμενο με όσους περιορισμούς έχει θέσει ο προγραμματιστής της, με αποτέλεσμα να μην έχει τη δυνατότητα να αντλεί περαιτέρω στοιχεία που πολλές φορές είναι αναγκαία για τη μελέτη του φαινομένου αυτού.

Συμπληρωματικά, ο Πατσαδάκης (2014) αναφέρει μερικά μειονεκτήματα των προσομοιώσεων:

3. Η προσομοίωση ενός φαινομένου δεν μπορεί να υπολογίσει και να αντεπεξέλθει πολλές φορές στους αστάθμητους παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξή του.

4. Υπάρχει το ενδεχόμενο εσφαλμένης αντίληψης του πραγματικού φαινομένου, από πλευράς των μαθητών, όταν η χρήση των προσομοιώσεων είναι αποκλειστική και δεν υπάρχει η δυνατότητα άμεσης επαφής με αυτό.

Στη συνέχεια παρατίθενται μερικά παραδείγματα προγραμμάτων που έχουν ως βάση τις προσομοιώσεις σε έναν από τους κλάδους των Φ.Ε, αυτόν της Αστρονομίας. Η χρήση αυτών των προγραμμάτων καθίσταται αναγκαία, εφόσον η παρατήρηση των φαινομένων, που αυτή η επιστήμη εξετάζει, είναι αδύνατον να αποτυπωθεί με φυσικές μεθόδους. Ενώ με τη βοήθεια των προσομοιώσεων, μπορεί εύκολα ο χρήστης/μαθητής να ανακαλύψει αλλά και να αποκωδικοποιήσει τα «μυστικά» που διέπουν το σύμπαν, στο οποίο κατοικούμε.

3. Μερικά παραδείγματα προγραμμάτων προσομοίωσης στην Αστρονομία συμπληρωματικά στη διδακτική διαδικασία

Η Αστρονομία, ως γνωστόν, είναι η επιστήμη που μελετάει το σύμπαν και τους νόμους τους οποίους αυτό ακολουθεί. Τα μέσα που χρησιμοποιούν όσοι ασχολούνται με τον κλάδο αυτό είναι συνήθως τα ίδια μέσα με αυτά που χρησιμοποιούν οι φυσικοί και για αυτόν το λόγο θα μπορούσε κάποιος να την κατατάξει στις εφαρμοσμένες επιστήμες, όπως τη Μετεωρολογία και τη Φυσικοχημεία, γεγονός που θα καθιστούσε την Αστρονομία μία κατώτερη επιστήμη συγκριτικά με τις βασικές, όπως η Φυσική και η Χημεία. Παρόλα αυτά, με την «κατάκτηση» του διαστήματος, τα τελευταία χρόνια, νέες προοπτικές ήρθαν στο φως, όπως η χρήση των κοσμικών εργαστηρίων για διάφορες μελέτες και η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, γεγονός που ανέδειξε την Αστρονομία και την κατέταξε σε μια ξεχωριστή θέση ανάμεσα στις υπόλοιπες Φ.Ε (Μπάνος, 2003). Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να δοθούν μερικά χρήσιμα παραδείγματα προγραμμάτων που λειτουργούν έχοντας ως βάση τις προσομοιώσεις σε αυτήν την, τόσο ενδιαφέρουσα και γεμάτη μυστικά, επιστήμη. Επιπρόσθετα, επιδιώκεται να επεξηγηθούν οι τρόποι, με τους οποίους θα ήταν δυνατόν ο μαθητής να τη διδαχθεί και να ανακαλύψει νέους ορίζοντες.

Ορισμένα αξιοπρόσεκτα παραδείγματα προγραμμάτων προσομοίωσης σχετικά με την Αστρονομία, δίνει ο McCool (2009). Παρακάτω αναφέρονται μερικά εξ αυτών που πρόκειται να ελκύσουν το ενδιαφέρον του αναγνώστη:

3.1. Celestia

Το Celestia είναι ένα από τα σπουδαιότερα δωρεάν προγράμματα Αστρονομίας. Ο λόγος που το καθιστά τόσο ξεχωριστό είναι η δυνατότητα που παρέχεται στο χρήστη να ξηναγείται στο

διάστημα ξεφεύγοντας από τα όρια της Γης, μπορώντας έτσι να παρατηρήσει από κοντά πλανήτες, γαλαξίες, νεφελώματα και αστέρες (βλ. Εικόνα 1). Επίσης, διαθέτει δυνατό εργαλείο μεγέθυνσης (zoom), με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η καλύτερη παρατήρηση οποιουδήποτε φαινομένου, αλλά ακόμα και ο ίδιος ο χρήστης δύναται να επιλέξει ένα συγκεκριμένο προορισμό και να κατευθυνθεί προς αυτόν. Το εν λόγω πρόγραμμα διατίθεται στην ιστοσελίδα (<http://www.shatters.net/celestia/index.html>) και είναι συμβατό με τα εξής λειτουργικά συστήματα: Windows, Mac OS X και Linux (x86) Version 1.4.1.



Εικόνα 1: Στιγμιότυπο από το πρόγραμμα Αστρονομίας, Celestia (McCool, 2009)

Η Γεωργίου (2006) θεωρεί, επίσης, ότι το λογισμικό Celestia σχετίζεται άμεσα με τη διδασκαλία των Φ.Ε, αφού προσομοιώνει αστρονομικά φαινόμενα, προσεγγίζοντας έτσι έννοιες της Αστροφυσικής. Επισημαίνει ακόμα ότι το εν λόγω λογισμικό προωθεί τη συνεργατική μάθηση και τη μαθητοκεντρική μέθοδο διδασκαλίας, αφού ο ίδιος ο μαθητής καλείται να αλληλεπιδράσει με το περιβάλλον που του προσφέρει το λογισμικό και να αποκομίσει μόνος του τις νέες γνώσεις που θα προκύψουν από τη μελέτη του εκάστοτε φαινομένου. Συμπερασματικά, μέσω του Celestia, θα μπορούσε ο μαθητής να κατανοήσει φαινόμενα που θα ήταν αδιανόητο να μελετήσει και να παρατηρήσει μέσα από τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας ή από ένα πραγματικό εργαστήριο.

3.2. Google Earth

Το Google Earth είναι, επίσης, ένα αξιόλογο πρόγραμμα προσομοίωσης, το οποίο μπορεί να συνεισφέρει στην κατανόηση ορισμένων φαινομένων που αφορούν τον τομέα της Αστρονομίας. Συγκεκριμένα, αποτελεί ένα πρόγραμμα γραφικής απεικόνισης αστρονομικών φαινομένων, το οποίο σχεδιάστηκε από τη διάσημη μηχανή αναζήτησης Google. Το πρόγραμμα αυτό αρχικά είχε σχεδιασθεί για να παρέχει εικόνες του πλανήτη μας, οι οποίες είχαν συντεθεί από φωτογραφίες που προέρχονταν από δορυφόρους ή από αεροφωτογραφίες. Στην πορεία όμως οι δυνατότητές του επεκτάθηκαν και έξω από τα όρια της Γης, χάρις στην προσφορά ορισμένων προγραμματιστών της Google, με αποτέλεσμα οι χρήστες να μπορούν πλέον να περιηγηθούν σε διάφορους πλανήτες, γαλαξίες κ.ά.

Πιο συγκεκριμένα, αρκεί ο ενδιαφερόμενος να επιλέξει το χαρακτηριστικό «Sky in Google Earth» για να μπορέσει να παρατηρήσει το νυχτερινό ουρανό από οποιαδήποτε πλευρά της Γης. Βεβαίως, ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου προγράμματος είναι η εισαγωγή εικόνων από το τηλεσκόπιο Hubble (βλ. Εικόνα 2). Για παράδειγμα, μπορούμε να περιηγηθούμε στον Γαλαξία της Ανδρομέδας, εφόσον έχουμε στη διάθεσή μας πανοραμικές φωτογραφίες και ψηφιακές απεικονίσεις από το τηλεσκόπιο. Επιπροσθέτως, άξιο αναφοράς είναι ότι παρέχονται πληροφορίες για τη φωτογραφία που μας εμφανίζεται, καθώς επίσης και προτεινόμενες πηγές για επιπλέον πληροφορίες από το διαδίκτυο. Ο ενδιαφερόμενος μέσω της ιστοσελίδας (<https://www.google.com/intl/el/earth/explore/products/>) μπορεί να κατεβάσει το πρόγραμμα δωρεάν, με την προϋπόθεση ότι ο υπολογιστής του διαθέτει ένα εκ των παρακάτω λειτουργικών συστημάτων: Windows XP ή πιο πρόσφατη έκδοση, Mac OS X 10.5.0 ή πιο πρόσφατη έκδοση και Linux-LSB 4.0. Επιπλέον, είναι σημαντικό ότι το Google Earth μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από κινητό ή tablet, αφού είναι διαθέσιμο και για συσκευές με λειτουργικό σύστημα Android ή iOS, ενώ μπορεί να εγκατασταθεί και ως προσθήκη στο πρόγραμμα περιήγησης Google Chrome.



Εικόνα 2: Μεταβλητός κηφέας V838 Μονόκερφος. Δικαιώματα: NASA και Ομάδα Hubble Heritage (AURA/STScI)

Μάλιστα, οι Κακανά κ.ά. (2013) πραγματοποίησαν σχετική μελέτη που αφορούσε ένα πρόγραμμα διδακτικής παρέμβασης αξιοποιώντας τις Νέες Τεχνολογίες. Λαμβάνοντας λοιπόν ως δείγμα 15 μαθητές νηπιακής ηλικίας από το 8^ο Δημόσιο Κλασικό Νηπιαγωγείο Νέας Ιωνίας στον Βόλο, αξιοποίησαν το Google Earth και άλλα προγράμματα στο στάδιο της διδακτικής παρέμβασης, ούτως ώστε να παρέχεται η δυνατότητα στους μαθητές να αντιληφθούν το πώς θα μπορούσε να φαίνεται το σχολείο τους από τρεις διαφορετικές γωνίες λήψης, στη δραστηριότητα «Το σχολείο μου από διαφορετική θέση παρατήρησης». Επιπλέον, οι ίδιοι επιδίωξαν να κάνουν μια αρχική εκτίμηση των σχημάτων της Γης, του Ηλίου και της Σελήνης στα πλαίσια της δραστηριότητας «Το σχήμα ήλιου, γης, σελήνης», ενώ βοήθησαν τους μαθητές να κατανοήσουν το φαινόμενο της εναλλαγής ημέρας-νύχτας (δραστηριότητα: «Ημέρα – νύχτα»). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα ήταν θετικά, αφού παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών βαθμολόγησης των

απαντήσεων των νηπίων πριν και μετά τη διδακτική παρέμβαση, με τις απαντήσεις που δόθηκαν μετά να υπερτερούν αριθμητικά αυτών που δόθηκαν πριν.

3.3. Stellarium

Το Stellarium είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης αστρονομικών φαινομένων, το οποίο αξίζει κανείς να προσθέσει στη συλλογή του. Αρκεί να επισκεφθεί κανείς την ιστοσελίδα (<http://www.stellarium.org/>) και να το κατεβάσει δωρεάν, με την προϋπόθεση ότι διαθέτει λειτουργικό σύστημα Linux/Unix, Windows 7 ή πιο πρόσφατη έκδοση και Mac OS X 10.7.4 ή άλλη πιο πρόσφατη έκδοση. Το πρόγραμμα αυτό παρέχει κατάλογο με 60.000 άστρα, ενώ υπάρχουν επιπρόσθετα και άλλα 210.000.000 άστρα. Επίσης, διαθέτει απεικονίσεις αστερισμών ή μια σειρά από αστερισμούς που μοιάζουν να είναι κοντά ο ένας με τον άλλο, ενώ στην πραγματικότητα απέχουν πολύ περισσότερο μεταξύ τους. Επιπλέον, παρέχει στους χρήστες αρκετές επιλογές, μερικές εκ των οποίων είναι η μεγέθυνση (zoom), η διάδραση μεταξύ των χρηστών και του προγράμματος με τη βοήθεια του πληκτρολογίου, καθώς επίσης και η δυνατότητα διαχείρισης του χρόνου που επιτρέπει στους χρήστες να ταξιδέψουν σε αυτόν ή ακόμα και να ορίσουν οι ίδιοι συγκεκριμένες ημερομηνίες και να παρατηρήσουν τα γεγονότα που εκτυλίχθηκαν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Το εν λόγω πρόγραμμα προτείνεται από τον Τιάκα (2010) ως ένα συμπληρωματικό εργαλείο παρουσίασης του μαθήματος επιλογής «Στοιχεία Αστρονομίας και Διαστημικής» της Β' τάξης του Λυκείου, αφού μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα μεγάλο τμήμα της ύλης του. Ο ίδιος σημειώνει ότι, με τη χρήση του εν λόγω προγράμματος, οι μαθητές μπορούν να παρατηρήσουν την ετήσια κίνηση του Ηλίου καθώς και τους αστερισμούς, με τις καλλιτεχνικές τους απεικονίσεις, από τους οποίους αυτός διέρχεται (βλ. Εικόνα 3). Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα στους μαθητές να εξερευνήσουν το σύστημα του Κρόνου, παρατηρώντας επιπρόσθετα ότι κάθε 15 έτη η Γη βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τους δακτυλίους του και αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυτοί να μην είναι διακριτοί. Επιπλέον, το πρόγραμμα Stellarium προσομοιώνει την κίνηση του πλανήτη Άρη, αλλά και κάθε άλλου πλανήτη κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής του, καθώς και τις εκλείψεις του Ηλίου και της Σελήνης στους πραγματικούς χρόνους που αυτές συντελούνται.



Εικόνα 3: Ζωδιακός Κύκλος και Εκλειπτική με το πρόγραμμα Stellarium (Τιάκας, 2010)

Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, θα λέγαμε ότι σκοπός αυτής της έρευνας ήταν αρχικά να διασαφηνιστεί ο όρος προσομοίωση και να μελετηθεί ο τρόπος, με τον οποίο μπορεί να επιτευχθεί ο σχεδιασμός της. Επιπλέον, επιδιώχθηκε να εξεταστεί κατά πόσο η χρήση των προσομοιώσεων στην εκπαίδευση μπορεί να επιφέρει θετικά αποτελέσματα στις επιδόσεις των μαθητών.

Έγινε, επίσης, προσπάθεια σύγκρισης της με τις παραδοσιακές μεθόδους διδασκαλίας. Αυτό λοιπόν που παρατηρήθηκε, μέσα από τις έρευνες που μελετήθηκαν, είναι ότι, προς το παρόν, δεν δίδεται ξεκάθαρη απάντηση στο ερώτημα «ποια είναι η καταλληλότερη μέθοδος διδασκαλίας· η παραδοσιακή ή αυτή μέσω της χρήσης προσομοιώσεων;». Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να έγκειται στο γεγονός ότι έγινε μελέτη επιλεγμένης βιβλιογραφίας, γεγονός που θα μπορούσε να διαφοροποιήσει τα αποτελέσματα που θα προέκυπταν ύστερα από εκτενέστερη μελέτη βιβλιογραφικών πηγών. Θα ήταν ενδιαφέρον, στο μέλλον, να πραγματοποιηθούν περισσότερες έρευνες σχετικά με αυτό το σημαντικό θέμα, εφόσον είναι ευρέως γνωστό ότι η τεχνολογία συνεχώς αναπτύσσεται και νέα προγράμματα κατασκευάζονται με σκοπό την ένταξή τους στην εκπαιδευτική διαδικασία, πολλά εκ των οποίων χρησιμοποιούν ως «πρώτη ύλη» τις προσομοιώσεις.

Επιπροσθέτως, μέσα από την έρευνα των Ευαγγέλου και Κώτση (2009) συμπεραίνουμε ότι οι περισσότερες μελέτες που προσεγγίζουν το θέμα των προσομοιώσεων στην εκπαιδευτική διαδικασία χρησιμοποιούν ως δείγμα φοιτητές Πανεπιστημίου (60%), ενώ ελάχιστες είναι αυτές που ασχολήθηκαν με μαθητές Δημοτικού (20%). Συνεπώς, θα προτείναμε περισσότεροι ερευνητές να ασχοληθούν, στο μέλλον, με άτομα που φοιτούν σε σχολεία της Πρωτοβάθμιας αλλά και της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης, αφού, ως γνωστόν, τα παιδιά αυτής της ηλικίας είναι περισσότερο δεκτικά σε νέες μεθόδους μάθησης, ειδικά όταν αυτές περιλαμβάνουν οπτικοακουστικά μέσα.

Η εργασία αυτή ανέδειξε επίσης τρία προγράμματα που έχουν ως βάση τους τις προσομοιώσεις (Celestia, Google Earth και Stellarium), τα οποία ορισμένοι ερευνητές προτρέπουν να τα εντάξουν οι εκπαιδευτικοί στη διδασκαλία τους, στο μάθημα της Αστρονομίας (Γεωργίου, 2006; Τιάκας, 2010; Κακανά κ.ά., 2013). Με τη χρήση αυτών, θα επιτευχθεί η βελτίωση της διδακτικής διαδικασίας, αφού τα προγράμματα αυτά ουσιαστικά «μεταφέρουν» ολόκληρο το Διάστημα μέσα στην οθόνη του υπολογιστή. Εμείς θα προτείναμε να χρησιμοποιούνται παράλληλα και κατά τη διάρκεια της διδακτικής ώρας του μαθήματος, αφού έτσι θα εξασφαλιστεί ένα ενδιαφέρον και συνάμα ευχάριστο μάθημα.

Κλείνοντας, θα θέλαμε να τονίσουμε τη σπουδαιότητα της χρήσης προσομοιώσεων κατά την εκπαιδευτική διαδικασία. Παρόλο που δεν είναι ξεκάθαρο αν οι προσομοιώσεις είναι κατάλληλες για να ενταχθούν στην εκπαίδευση, είναι προφανές ότι, μέσα από τις δυνατότητες που παρέχουν στους χρήστες τους, δημιουργούν ένα ευχάριστο, ενδιαφέρον και ελκυστικό, για αυτούς, περιβάλλον, προωθώντας παράλληλα την ενεργό συμμετοχή τους στα φυσικά φαινόμενα που διαδραματίζονται στην οθόνη του υπολογιστή τους.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Adams, W.K., Dubson, M., LeMaster, R., McKagan, S.B., Perkins, K.K., Reid, S. & Wieman, C.E. (2008). A Study of Educational Simulations Part I - Engagement and Learning. *Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 397-419.
- Akpan, J. (2002). Which Comes First: Computer Simulation of Dissection or a Traditional Laboratory Practical Method of Dissection. *Electronic Journal of Science Education*, 6(4), 1-20.
- Chang, C.Y. (2000). Enhancing Tenth Graders' Earth-Science Learning Through Computer-Assisted Instruction. *Journal of Geoscience Education*, 48(5), 636-641.
- Cheng, Y.B., Huang, C.W. & Liu, C.C. (2011). The effect of simulation games on the learning of computational problem solving. *Computers & Education*, 57(3), 1907-1918.
- Csermely, P., Hemmo, V., Jorde, D., Lenzen, D., Rocard, M. & Walberg-Henriksson, H. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Belgium: Official Publications of the European Communities.
- Jaakkola, T. & Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(1), 271-283.
- Klahr, D., Triona, L. & Williams, C. (2007). Hands On What? The Relative Effectiveness of Physical vs. Virtual Materials in an Engineering Design Project by Middle School Children. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 183-203.
- Kurt, M. (2001). The Effect of a Computer Simulation Activity versus a Hands-on Activity on Product Creativity in Technology Education. *Journal of Technology Education*, 13(1), 31-43.
- Marshall, J. & Young, E.S. (2006). Pre-service teacher's theory development in physical and simulated environments. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(9), 907-937.
- McCool, M. (2009). Touring the Cosmos through Your Computer: A Guide to Free Desktop Planetarium Software. *CAPjournal*, 7, 21-23.
- Moss, C.M. (2001). *Quantum intelligent tutoring engines. Teacher's guide for the quantum tutors*. Retrieved August 23, 2015, from http://www.quantumsimulations.com/pdfs/QSI_teacher_guide.pdf
- Rutten, N., van der Veen, J. & van Joolingen, W. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.
- Steinberg, R.N. (2003). Effects of Computer-based Laboratory Instruction on Future Teachers' Understanding of the Nature of Science. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 22(3), 185-205.
- Γεωργίου, Κ. (2006). *Εξελληνισμός και προσαρμογή του λογισμικού "Celestia" στην Ελληνική Εκπαίδευση* (Αδημοσίευτη Μεταπτυχιακή Εργασία). Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Ευαγγέλου, Φ. & Κώτσης, Κ. (2009). Γνωρίσματα ερευνών της Διεθνούς Βιβλιογραφίας σχετικά με τα μαθησιακά αποτελέσματα από τη σύγκριση εικονικών και

πραγματικών πειραμάτων στη διδασκαλία και μάθηση της Φυσικής. Στο Π. Καριώτογλου, Α. Σπύρτου & Α. Ζουπίδης. (Επιμ.), *Οι πολλαπλές προσεγγίσεις της διδασκαλίας και της μάθησης των φυσικών επιστημών. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτικής των Φυσικών Επιστημών και Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 335-342). Φλώρινα: Εκδόσεις Γράφημα.

- Κακανά, Δ.Μ., Ξηραδάκη, Ε. & Χρηστίδου, Β. (2013). «Από το σπίτι μας, τη γη, στη γειτονιά του ήλιου». Ένα διαθεματικό πρόγραμμα αστρονομίας με πλήρη ένταξη των Νέων Τεχνολογιών σε παιδιά προσχολικής ηλικίας. Στο Α. Δημητρίου (Επιμ.), *Έννοιες για τη φύση και το περιβάλλον στην προσχολική εκπαίδευση: Ερευνητικά δεδομένα, μεθοδολογικές προσεγγίσεις και εκπαιδευτικές εφαρμογές* (σσ. 307-316). Θεσσαλονίκη: Επίκεντρο.
- Καρούμπαλης, Σ. (2013, Ιούνιος). *Η οργάνωση ενός σύγχρονου εργαστηρίου Φυσικών Επιστημών στο δημοτικό σχολείο με τη χρήση των ΤΠΕ*. Εργασία που παρουσιάστηκε στο 7ο Πανελλήνιο Συνέδριο των Εκπαιδευτικών για τις ΤΠΕ: Αξιοποίηση των τεχνολογιών της πληροφορίας και της επικοινωνίας στη διδακτική πράξη, Σύρος, Ελλάδα.
- Μικρόπουλος, Τ.Α. (2002). Προσομοιώσεις και Οπτικοποιήσεις στην Οικοδόμηση της Γνώσης στις Φυσικές Επιστήμες. Στο Α. Μαργετουσάκη & Π.Γ. Μιχαηλίδης (Επιμ.), *Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτική των Φυσικών Επιστημών & Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Εκπαίδευση* (σσ. 371-376). Αθήνα: ΙΩΝ.
- Μικρόπουλος, Τ.Α. (2006). *Ο Υπολογιστής ως γνωστικό εργαλείο*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.
- Μιχαήλ, Δ., Παπαγεωργίου, Γ. & Σπηλιωτοπούλου, Β. (2012). Οι επιστήμονες, τα τηλεσκόπια και το φεγγάρι: Ψηφιακές φωτο-ιστορίες για μαθητές Δημοτικού. *Θέματα Επιστημών και Τεχνολογίας στην Εκπαίδευση*, 5(1-2), 85-98.
- Μιχαηλίδης, Π.Γ. (2007). Νέες Τεχνολογίες και Διδακτική των Φυσικών Επιστημών. Στο Γ. Τσαπαρλής (Επιμ.), *Πρακτικά 5^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Διδακτική Φυσικών Επιστημών και Νέες Τεχνολογίες στην Εκπαίδευση* (σσ. 55-72). Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Μπάκας, Α. (2014). Τ.Π.Ε. και Εικονικά Πειράματα Φυσικής – Ένα διδακτικό σενάριο. *Πρακτικά 6th Conference on Informatics in Education – Η Πληροφορική στην Εκπαίδευση (6th CIE2014)* (σσ. 507-518). Αθήνα: Greek Computer Society (GCS).
- Μπάνος, Γ. (2003). *Γενική Αστρονομία*. (4^η έκδοση). Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Μπίσμπας, Θ. (2005). Το Σύμπαν σε έναν Υπολογιστή. *Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ερασιτεχνικής Αστρονομίας* (σσ. 92-98). Αθήνα.
- Πατσαδάκης, Μ. (2014). Πειραματική διδασκαλία-μάθηση των Φυσικών Επιστημών και Τεχνολογίες Πληροφορίας & Επικοινωνίας. *Εκπαιδευτική Επικαιρότητα*, 4(6), 26-35.
- Ρουμελιώτης, Μ. (2001). *Μοντελοποίηση και Προσομοίωση*. Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Τιάκας, Ε. (2010, Μάιος). *Προσομοίωση κινήσεων ουρανίων σωμάτων και φαινομένων στην Αστρονομία*. Το πειραματικό σχολείο: καινοτομία και έρευνα. Εργασία που

παρουσιάστηκε στη Δημερίδα για τα δέκα χρόνια λειτουργίας του Πειραματικού Σχολείου Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα.