

Δημιουργία νοημάτων μέσα από την αξιοποίηση και τροποποίηση λογισμικού προσομοίωσης σε φαινόμενα ατομικής Φυσικής

Γιώργος Φιλίππου, Ζαχαρούλα Σμυρναίου
g_filippou@yahoo.gr, zsmyrnaiou@ppp.uoa.gr
Τμήμα Φιλοσοφίας, Παιδαγωγικής, Ψυχολογίας, ΕΚΠΑ

Περίληψη

Η διδασκαλία της φυσικής μέσω της διερευνητικής μάθησης αποτελεί στόχο πολλών εθνικών αναλυτικών προγραμμάτων. Την ίδια στιγμή, η αξιοποίηση των ψηφιακών τεχνολογιών καταλαμβάνει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην διδακτική των φυσικών επιστημών καθώς αυτές διευκολύνουν την κατανόηση αφηρημένων ή δυσνόητων εννοιών μέσω της οπτικοποίησης ή της προσομοιωτικής αναπαράστασης που παρέχουν αλλά και της δυνατότητας πειραματισμού. Με αυτόν τον τρόπο οι μαθητές αναλαμβάνουν έναν πιο ενεργό ρόλο στην μαθησιακή διαδικασία. Η παρούσα εκπαιδευτική παρέμβαση αποτελεί μια μελέτη περίπτωσης και εξετάζει την δημιουργία επιστημονικών νοημάτων μέσα από τον μικρόκοσμο *micro-hydrogen* που δημιούργησε ο συγγραφέας. Η εκπαιδευτική παρέμβαση αξιοποίησης ενός μικρόκοσμου για τη διδασκαλία φαινομένων ατομικής φυσικής εφαρμόστηκε σε μαθητές λυκείου, και διαπιστώθηκε η συμβολή του εργαλείου στην ενεργή εμπλοκή των μαθητών αλλά και στην αποτελεσματική κατανόηση των υπό διαπραγμάτευση επιστημονικών εννοιών.

Λέξεις κλειδιά: Προσομοιώσεις, Διερευνητική μάθηση, Ατομική φυσική

Εισαγωγή

Η ραγδαία ανάπτυξη των επιστημονικών και τεχνολογικών επιτευγμάτων στη σύγχρονη εποχή αποτελεί ένα αδιαμφισβήτητο φαινόμενο. Σε πολλές χώρες γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την ένταξη των τεχνολογιών αυτών στα σχολεία υπό τον όρο «ΤΠΕ». Οι υποστηρικτές των ΤΠΕ στην εκπαίδευση, θεωρούν ότι εκτός από την καλλιέργεια του πληροφορικού γραμματισμού στο πλαίσιο των απαιτήσεων της «κοινωνίας της γνώσης», συμβάλλουν και σε παιδαγωγικά ζητήματα, καθώς τα ψηφιακά μέσα εμπλουτίζουν την εκπαιδευτική διαδικασία με ανεξάντλητες πηγές εκπαιδευτικού υλικού και εργαλεία επικοινωνίας, ενώ μπορούν και να βελτιώσουν την ποιότητα της διδακτικής και μαθησιακής διαδικασίας (Μουζάκης, 2011). Όσον αφορά την θέση της σύγχρονης φυσικής στο σημερινό σχολείο, η διδασκαλία των θεωριών της φυσικής του 20ου αιώνα στην ανώτερη δευτεροβάθμια εκπαίδευση δεν έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την εκπαιδευτική κοινότητα, καθώς παρά τους διάφορους λόγους που συνηγορούν υπέρ της εισαγωγής τους αντιμετωπίζονται με αμηχανία. Οι επιφυλάξεις που εκφράζονται αφορούν στο γεγονός ότι οι θεωρίες αυτές ξεφεύγουν από την κλασική σχολική παράδοση της αριστοτελικής και νευτώνειας σκέψης.

Στην παρούσα έρευνα εξετάζονται τα αποτελέσματα της χρήσης ενός ψηφιακού εργαλείου στην διδακτική των φυσικών επιστημών. Το ψηφιακό εργαλείο αποτελεί μια προσομοίωση στον τομέα της σύγχρονης φυσικής και συγκεκριμένα αφορά το άτομο του υδρογόνου. Πιο συγκεκριμένα εξετάζεται η συμπεριφορά διαφόρων μοντέλων του ατόμου του υδρογόνου κατά την σύγκρουσή τους με φωτόνια διαφορετικού μήκους κύματος με βάση το θεωρητικό πλαίσιο του *inquiry-based learning*. Στόχος είναι να διερευνηθεί ποιες παρανοήσεις έχουν οι

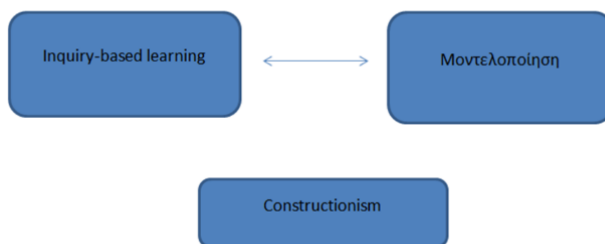
μαθητές σχετικά με την εκπομπή/απορρόφηση φωτονίων από το άτομο του υδρογόνου και την κατανομή των ηλεκτρονίων σε αυτό καθώς και ποιος ο ρόλος του λογισμικού στην κατανόηση των προαναφερθέντων φυσικών εννοιών.

Επισκόπηση πεδίου σχετικά με την διερευνητική μάθηση, την μοντελοποίηση και τον κονστραξιονισμό

Σήμερα η διερευνητική μάθηση ορίζεται ως μια προσέγγιση στη μάθηση που περιλαμβάνει μια διαδικασία εξερεύνησης του φυσικού ή υλικού κόσμου που οδηγεί στην διατύπωση ερωτήσεων, την πραγματοποίηση ανακαλύψεων και στην συνεχή εξέταση αυτών με σκοπό την βαθύτερη κατανόηση του κόσμου (National Science Foundation, όπως αναφέρεται de Jong, 2006). Από παιδαγωγική άποψη, η σύνθετη επιστημονική διαδικασία χωρίζεται σε μικρότερες, λογικά συνδεδεμένες μονάδες που καθοδηγούν τους μαθητές και στρέφουν την προσοχή τους σε σημαντικά χαρακτηριστικά της επιστημονικής σκέψης. Αυτές οι μεμονωμένες μονάδες ονομάζονται φάσεις της έρευνας, και το σύνολο των συνδέσεων τους σχηματίζει τον κύκλο της έρευνας (Pedaste, et al., 2015). Στην παρούσα παρέμβαση, στηριζόμενοι στην έρευνα των Pedaste, et al. (2015), ακολουθήθηκε ο ακόλουθος διερευνητικός κύκλος: Orientation/Προσανατολισμός, Hypothesis Generation/Διατύπωση υποθέσεων, Experimentation/Πειραματισμός, Data Interpretation/Ανάλυση δεδομένων, Hypothesis Generation/Διατύπωση Υποθέσεων, Experimentation/Πειραματισμός, Data Interpretation/Ανάλυση δεδομένων, Conclusion/Συμπέρασμα.

Στις φυσικές επιστήμες η διερευνητική μάθηση έχει δύο στόχους. Αρχικά είναι ένα μέσο για τη μάθηση του περιεχομένου των Φυσικών Επιστημών και στη συνέχεια αποτελεί μαθησιακό στόχο, ο οποίος περιλαμβάνει την άσκηση δεξιοτήτων της επιστημονικής διερεύνησης και τον αναστοχασμό για την κατανόηση της φύσης της (Waight & Abd-El-Khalick, 2007). Η διερευνητική μάθηση εμπεριέχει δραστηριότητες οι οποίες προκαλούν τους μαθητές να εμπλακούν ουσιαστικά σε υψηλού επιπέδου νοητικές διεργασίες μέσω μιας διαδικασίας διατύπωσης ερωτήσεων και αναζήτησης αποδείξεων σε ένα δομημένο πλαίσιο επιστημονικών δραστηριοτήτων με σκοπό τον χειρισμό των φυσικών νόμων που διέπουν το περιβάλλον στο οποίο ζουν (de Jong, όπως αναφέρεται στο Smyrnaiou et al., 2016). Για αυτό όπως φαίνεται και από το σχήμα 1 στην έρευνα αυτή έχει επιχειρηθεί να γίνει σύνδεση της διερευνητικής μάθησης με την μοντελοποίηση γιατί πιστεύουμε ότι και η μοντελοποίηση ακολουθεί αντίστοιχο κύκλο όπως αυτός της διερεύνησης, όταν μάλιστα η κατασκευή μοντέλου και ο πειραματισμός λαμβάνει χώρα σε ένα κονστραξιονιστικό ψηφιακό περιβάλλον.

Μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις για την επιτυχή εφαρμογή της διερευνητικής προσέγγισης είναι οι δεξιότητες και οι γνώσεις που οι εκπαιδευτικοί πρέπει να έχουν σε αυτή την εναλλακτική μορφή της διδασκαλίας και της μάθησης (Good & Brophy, 1986). Η έρευνα πάνω στην εφαρμογή της διερευνητικής μάθησης στην τάξη έχει αναδείξει κινδύνους και αρνητικές συνέπειες όταν οι μαθητές δεν έχουν προηγούμενη εμπειρία σε τέτοιες δραστηριότητες ή έχουν ανεπαρκή στήριξη από τους καθηγητές (Barron & Darling-Hammond, 2008).



Σχήμα 1. Η σύνδεση μοντελοποίησης και διερευνητικής μάθησης όταν η κατασκευή μοντέλου και ο πειραματισμός λαμβάνει χώρα σε ένα κονστραξιονιστικό ψηφιακό περιβάλλον

Οι σύγχρονες διδακτικές θεωρήσεις (κυρίως στο χώρο της διδακτικής των φυσικών επιστημών) υποστηρίζουν ότι οι μαθητές πρέπει να εμπλέκονται σε δραστηριότητες μοντελοποίησης αναγνωρίζοντας σε αυτές τα πλεονεκτήματα της διεπιστημονικής προσέγγισης και της χρήσης μεθόδων και πρακτικών που μοιάζουν με τις αυθεντικές επιστημονικές δραστηριότητες (Gilbert et al., 2000). Για τον de Jong και τον van Jooligen οι διαδικασίες μοντελοποίησης μπορούν να γίνουν ένα ισχυρό εργαλείο που μπορεί να βοηθήσει τους μαθητές στην ενίσχυση της συλλογιστικής τους πορείας και τη βελτίωση της κατανόησης των επιστημονικών εννοιών, ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται και με διερευνητικές δραστηριότητες. Αρκετές έρευνες στην επιστημονική εκπαίδευση δείχνουν την επίδραση που μπορεί να έχει η διερεύνηση και η μοντελοποίηση στην εννοιολογική κατανόηση της επιστήμης, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα τεχνολογικά εργαλεία εκπαίδευσης (Smyrναίου et al., 2012). Στις θετικές επιστήμες οι προσομοιώσεις, οι οποίες αποτελούν μια κατηγορία πολύπλευρων δυναμικών μοντέλων και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας γίνονται όλο και πιο ισχυρές, επιτρέπουν στους μαθητές και στους επιστήμονες να απεικονίσουν αντικείμενα και διαδικασίες πέρα από την αντίληψή τους ενώ όταν οι μαθητές παρεμβαίνουν σχεδιαστικά σε αυτές και κάνουν αλλαγές τότε εμπλέκονται και σε δραστηριότητες μοντελοποίησης. Επιπροσθέτως, πολλές προσομοιώσεις επιτρέπουν στους μαθητές να χειραγωγήσουν μεταβλητές που είναι πέρα από τον έλεγχό τους στο φυσικό κόσμο και με αυτόν τον τρόπο προωθούν την γνωστική ασυμφωνία και την εννοιολογική αλλαγή αποτελεσματικότερα σε σχέση με την άμεση εμπειρία (Trundle & Bell, 2010). Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι η αποτελεσματικότητα των προσομοιώσεων είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις παιδαγωγικές θεωρίες βάσει των οποίων αξιοποιούνται (Flick & Bell, 2000).

Η απλή παροχή πρόσβασης στον υπολογιστή ή στο λογισμικό χωρίς σωστή υποστήριξη και εκπαιδευτικά μοντέλα δεν είναι πιθανό να οδηγήσει σε επιθυμητά εκπαιδευτικά αποτελέσματα. (Trundle & Bell, 2010). Αν όμως δεν υπάρχει επαρκής υποστήριξη σε εκπαιδευτικές δραστηριότητες που υποστηρίζονται από προσομοιώσεις, οι μαθητές μπορεί να συναντήσουν αρκετά προβλήματα. Η ελαχιστοποίηση της καθοδήγησης οδηγεί ξεκάθαρα σε μείωση της αποδοτικότητας της εκπαιδευτικής παρέμβασης. Από την άλλη η παροχή λεπτομερούς υποστήριξης μειώνει σε σημαντικό βαθμό την ελευθερία που έχουν οι μαθητές για να εξερευνήσουν το περιβάλλον της προσομοίωσης και ως αποτέλεσμα μειώνει τα μαθησιακά αποτελέσματα.

Το τρίτο θεωρητικό πλαίσιο της παρούσας έρευνας είναι ο κονστραξιονισμός και πιο συγκεκριμένα γίνεται χρήση των όρων «λευκό κουτί» και «μαύρο κουτί» που αφορούν τον

τρόπο χρησιμοποίησης των τεχνολογιών γιατί όπως αναφέραμε η κατασκευή μοντέλου κ ο πειραματισμός γίνεται σε ένα κονστραξιονιστικό ψηφιακό περιβάλλον. Με τον όρο «μαύρο κουτί» εννοείται ένα προκατασκευασμένο τεχνούργημα, αδιαφανή στον χρήστη την λειτουργία του οποίου δεν κατανοεί. Με την ίδια λογική, χρησιμοποιείται η λέξη «λευκό» για να υπαινιχθεί η διαφάνεια και η δυνατότητα τροποποίησης του τεχνουργήματος (Κυπίγος, 2004). Τα όργανα που χρησιμοποιούνται στις σχολικές αίθουσες στις θετικές επιστήμες είναι πολύ αποτελεσματικά αλλά την ίδια στιγμή, οι χρήστες τους δεν κατανοούν τις εσωτερικές τους λειτουργίες και έτσι δεν μπορεί να δημιουργηθεί μια προσωπική σχέση με την επιστημονική δραστηριότητα (Resnick et al., 2000). Παρόλο που η χρησιμοποίηση οργάνων για την συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων είναι βασικό συστατικό της μάθησης που βασίζεται στη διερεύνηση, είναι πολύ σημαντικό για τους μαθητές να έχουν την ευκαιρία να επέμβουν και κάποιες φορές ακόμα και να σχεδιάσουν τα δικά τους εργαλεία (Resnick, 2002).

Έτσι μέσα από την τροποποίηση και σχεδίαση των υπαρχόντων ή δεδομένων επιστημονικών εργαλείων οι μαθητές μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τις μετρήσεις και τον τρόπο λειτουργίας τους καθώς και να αποκτήσουν μια πιο διαισθητική αντίληψη για την λειτουργία του εργαλείου. Οι μαθητές συχνά έχουν ιδιαίτερα ανεπτυγμένο το αίσθημα της προσωπικής εμπλοκής σε επιστημονικές διαδικασίες και έρευνες όταν οι ίδιοι έχουν σχεδιάσει τα όργανα και ιδιαίτερα όταν έχουν βάλει την δική τους καλλιτεχνική χροιά (Resnick et al., 2000). Επίσης, οι μικρόκοσμοι δίνουν τη δυνατότητα στους μαθητές του προγραμματισμού μέσω της γλώσσας Logo. Κατά την άποψη του Sherin (1996) οι γλώσσες προγραμματισμού μπορούν να αναχθούν σε αναπαραστασιακά συστήματα για την Φυσική, δηλαδή αντί οι μαθητές να αναπαριστούν τους νόμους της Φυσικής με εξισώσεις να τους αναπαριστούν με προγραμματιστικό κώδικα. Συγκεκριμένα καθώς πρέπει να αναπαριστήσουν φυσικά φαινόμενα μέσα από τα μοντέλα, οι μαθητές πρέπει να αποδομήσουν την κατανόησή τους για το συγκεκριμένο φυσικό μηχανισμό σε μικρά προγραμματιζόμενα κομμάτια της γνώσης, προκειμένου να μετατρέψουν μια ιδέα της επιστήμης σε συγκεκριμένο, τεχνικά ακριβή κώδικα του προγράμματος (Louca & Zacharia, 2009). Μετά την επισκόπηση του θεωρητικού πεδίου ακολουθεί η μεθοδολογία της έρευνας περιγράφοντας με λεπτομέρειες το είδος της έρευνας, τους συμμετέχοντες και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της.

Μεθοδολογία και λογισμικό

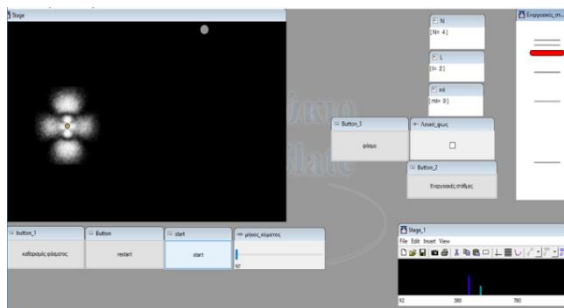
Η ερευνητική διαδικασία που ακολουθήθηκε βασίζεται στην ποιοτική ερευνητική προσέγγιση. Αυτό σημαίνει ότι οι ποιοτικοί ερευνητές μελετούν τα πράγματα στα φυσικά τους περιβάλλοντα, προσπαθώντας να κατανοήσουν ή να ερμηνεύσουν τα φαινόμενα σύμφωνα με το νόημα που δίνουν οι συμμετέχοντες σε αυτά (Denzin & Lincoln, 2000). Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία της μελέτης περίπτωσης (case - study). Σύμφωνα με τον Yin η μελέτη περίπτωσης είναι μια στρατηγική διεξαγωγής έρευνας που περιλαμβάνει μια εμπειρική διερεύνηση ενός συγκεκριμένου σύγχρονου φαινομένου μέσα στο πραγματικό πλαίσιο της ζωής του χρησιμοποιώντας πολλαπλές πηγές απόδειξης (Cohen, Manion, & Morison, 2008).

Στην ερευνητική παρέμβαση συμμετείχαν 10 μαθητές Β' λυκείου. Στόχος της ήταν να εξετάσει την δημιουργία επιστημονικών νοημάτων μέσα από τον μικρόκοσμο micro-hydrogen. Η συλλογή δεδομένων έγινε μέσα από τα συνοδευτικά φύλλα εργασίας, τα οποία δημιουργήθηκαν με βάση τον διερευνητικό κύκλο των Pedaste et al. (2015), που έπρεπε να συμπληρώσουν οι μαθητές και από την καταγραφή των ενεργειών τους στο εργαλείο μέσω του προγράμματος hypercam. Για την ανάλυση των δεδομένων, επιλέχθηκε η μέθοδος της ανάλυσης περιεχομένου (Context Analysis). Δημιουργήθηκαν κάποιες κατηγορίες ανάλυσης, οι οποίες έχουν άμεση σχέση με το θεωρητικό πλαίσιο, για να κωδικοποιηθούν οι απαντήσεις

των μαθητών και βελτιστοποιήθηκαν με τις απαντήσεις αυτές καθαυτές. Η πρώτη κατηγορία είναι οι απαντήσεις των μαθητών που σχετίζονται/ επηρεάζονται/ εκφράζονται από τη διερεύνηση (inquiry): δημιουργία ερώτησης- υπόθεσης, εξερεύνηση-πειραματισμός, ανάλυση αποτελεσμάτων, συμπέρασμα. Η δεύτερη κατηγορία είναι οι απαντήσεις που σχετίζονται/ επηρεάζονται/ εκφράζονται από το επιστημονικό περιεχόμενο (scientific content): αρχικές αναπαραστάσεις, φαινομενολογικές περιγραφές, έννοιες, κατανόηση. Στην επόμενη ενότητα περιγράφεται το κοστραξιονιστικό ψηφιακό περιβάλλον που αξιοποιήθηκε στην εν λόγω έρευνα και το οποίο έχει ως βάση το λογισμικό Αβάκιο.

Μικρόκοσμος *micro-hydrogen*

Στην ενότητα αυτή θα περιγράψουμε το μικρόκοσμο *micro-hydrogen* (εικόνα 1), τον οποίο σχεδιάσαμε αξιοποιώντας το Αβάκιο. Το Αβάκιο αποτελεί ένα συγγραφικό πακέτο για τη δημιουργία εκπαιδευτικού λογισμικού, απευθυνόμενο τόσο σε καταρτισμένους στην πληροφορική όσο και απλώς εναλλάβητους χρήστες (Κυνηγός, 2011). Η συλλογιστική που διέπει την κατασκευή του βασίζεται σε μια νέου τύπου σύζευξη ανάμεσα στην προσέγγιση αποκλεισμού του χρήστη από τις λειτουργικότητες του εργαλείου (black-box approach) και στη βαθιά πρόσβαση (Κυρίγος, 2004). Από τη μια άποψη, το Αβάκιο παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα χρήσης τεχνικά περίπλοκων κατασκευαστικών μονάδων (ψηφίδες) οι οποίες είναι από μόνες τους λογισμικά. Από την άλλη άποψη, οι ψηφίδες έχουν σχεδιαστεί, έτσι ώστε να επιτρέπουν στον χρήστη να σκεφτεί ποικίλους τρόπους δημιουργικής σύνδεσής τους.



Εικόνα 1. Η διεπιφάνεια του μικρόκοσμου *micro-hydrogen*

Το λογισμικό αποτελείται από πέντε προσομοιώσεις. Οι προσομοιώσεις αυτές παρουσιάζουν 5 μοντέλα του ατόμου του υδρογόνου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται τα εξής μοντέλα: α) μοντέλο του Dalton, β) πρότυπο του Thomson, γ) μοντέλο του Bohr, δ) μοντέλο του de Broglie, ε) μοντέλο του Schrodinger. Και οι πέντε προσομοιώσεις μοιράζονται την ίδια λογική. Ο χρήστης πατώντας το κουμπί start «στέλνει» ένα φωτόνιο πάνω στον πυρήνα του ατόμου. Ανάλογα με την θεωρία στην οποία βασίζεται το κάθε μοντέλο παρουσιάζει και διαφορετική συμπεριφορά. Έτσι στο μοντέλο του Dalton το φωτόνιο δεν απορροφάται και ο πυρήνας λειτουργεί ως ένας τείχος ο οποίος αποκρούει κάθε φωτόνιο που «πέφτει» πάνω του. Στο μοντέλο του Rutherford το ηλεκτρόνιο ακολουθώντας μια κυκλική τροχιά συγκρούεται με τον πυρήνα απελευθερώνοντας ενέργεια. Στα υπόλοιπα μοντέλα κάποια φωτόνια, με κατάλληλο μήκος κύματος, απορροφώνται και στη συνέχεια επανεκπέμπονται. Τα φωτόνια που επανεκπέμπονται συλλέγονται από έναν εικονικό ανιχνευτή και στη συνέχεια εμφανίζονται στο φάσμα οι αντίστοιχες γραμμές. Επίσης πατώντας το κουμπί ενεργειακές στάθμες ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει την ενέργεια του

ηλεκτρονίου κατά την διάρκεια των μεταβάσεων από την μια ενεργειακή στάθμη στην άλλη ενώ παράλληλα εμφανίζονται και οι κβαντικοί αριθμοί. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν το φωτόνιο που θα παραχθεί θα έχει ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος ή αν θα είναι φωτόνιο σύνθετης ακτινοβολίας. Το φωτόνιο σύνθετης ακτινοβολίας αποτελεί μια σύμβαση του σχεδιαστή. Ουσιαστικά όταν οι χρήστες πατούν την ένδειξη σύνθετη ακτινοβολία το φωτόνιο που παράγεται παίρνει ένα τυχαίο μήκος κύματος από όλο το φάσμα.

Μια άλλη σύμβαση του σχεδιαστή είναι οι φασματικές γραμμές του υδρογόνου καθώς και οι μεταβάσεις που δίνουν αυτές τις γραμμές. Λόγω έλλειψης χρόνου στο κομμάτι εφαρμογής της δραστηριότητας αλλά και για λόγους διευκόλυνσης δεν έχουν απεικονισθεί όλες οι φασματικές γραμμές του γραμμικού φάσματος εκπομπής. Αντίθετα έχουν επιλεγεί κάποιες χαρακτηριστικές που έχουν ιδιαίτερη επιστημονική και ιστορική αξία. Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να συγκρίνει την συμπεριφορά των μοντέλων και το φάσμα που αυτά παράγουν με το πραγματικό άτομο του υδρογόνου όπως αυτό φαίνεται από την αντίστοιχη προσομοίωση και έτσι να βγάλει σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την κατανομή/θέση των ηλεκτρονίων και την απορρόφηση και εκπομπή των φωτονίων. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, για την κατανόηση του φαινομένου και την ορθή χρήση του λογισμικού, πρέπει να διατεθεί στους μαθητές ο απαιτούμενος χρόνος έτσι ώστε να μπορέσουν να παρατηρήσουν τις διαφορετικές εκφάνσεις του φαινομένου και να καταλήξουν σε συμπεράσματα.

Ερευνητικά ευρήματα

Οι μαθητές, κατά την εμπλοκή τους με το μικρόκοσμο micro-hydrogen εξετάζουν τον τρόπο που διαφορετικά μοντέλα του ατόμου του υδρογόνου αντιδρούν στην σύγκρουσή τους με φωτόνια και διερευνούν τον τρόπο εκπομπής φωτονίων από το άτομο του υδρογόνου. Η εκπομπή φωτονίων από το άτομο του υδρογόνου αποτελεί ένα φαινόμενο του μικρόκοσμου και επομένως οι μαθητές δεν έχουν κάποια εμπειρία από την καθημερινή τους ζωή σχετικά με το πρόβλημα.

Οι μαθητές αρχικά μελέτησαν την συμπεριφορά του πραγματικού ατόμου του υδρογόνου όταν γινόταν σύγκρουση με φωτόνια συγκεκριμένου μήκους κύματος και στη συνέχεια με φωτόνια σύνθετης ακτινοβολίας. Ακολούθως μελέτησαν την συμπεριφορά διαφόρων μοντέλων προσεγγίζοντας σταδιακά τα νεότερα μοντέλα του de Broglie και του Schrodinger. Για την μελέτη των παραπάνω θεμάτων οι μαθητές έπρεπε να πειραματιστούν, να αλλάξουν και να δοκιμάσουν διαφορετικούς συνδυασμούς των μεταβλητών, να παρατηρήσουν τον τρόπο με τον οποίο τα διαφορετικά μοντέλα επηρεάζονταν από αυτές τις αλλαγές, να διακρίνουν τις διαφορές μεταξύ των μοντέλων και να κατανοήσουν τη φυσική σημασία των διαφορών που αυτά παρουσιάζουν.

Κατά τη διάρκεια της επαφής των μαθητών με τις προαναφερθέντες επιστημονικές έννοιες υπήρξε εμφανής η δυναμική της αλληλεπίδρασης του εργαλείου καθώς και η σταδιακή αλλαγή στην γλώσσα που χρησιμοποιούν οι μαθητές. Κατά την διάρκεια των δραστηριοτήτων οι μαθητές πειραματίστηκαν με το λογισμικό, έκαναν λανθασμένες εκτιμήσεις οι οποίες αναδιαμορφώνονταν και διορθώνονταν μέσω από την συζήτηση και την ανατροφοδοτική λειτουργία του λογισμικού. Χαρακτηριστικά παραδείγματα που δείχνουν τον πειραματισμό με το λογισμικό είναι τα ακόλουθα: «Ναι σωστά το φωτόνιο είναι ουδέτερο. Μήπως έχει να κάνει με τις συχνότητες των χρωμάτων που είναι μέσα στο φωτόνιο; Να βάλουμε και άλλη συχνότητα». «Κοίτα το μπλε χρώμα που έβγαλε. Δε το έβγαλε αυτό πριν. Έβγαλε γκρι. Έχει σχέση με την ενέργεια?». «Δεν γίνεται κάτι. Δοκίμασε να βάλεις σε χαμηλά μήκη κύματος, να δούμε τι θα γίνει. Ίσως γίνει κάτι διαφορετικό». Από τον Πίνακα 1 παρατηρούμε ότι η εξερεύνηση - πειραματισμός [ΕΠ] και η ανάλυση [ΑΝΑ] συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό (36% και 35%) στις απαντήσεις των μαθητών. Οι μαθητές δηλαδή στο

μεγαλύτερο μέρος των δραστηριοτήτων πειραματίστηκαν με το λογισμικό και προσπάθησαν μέσα από την συζήτηση και την ανταλλαγή απόψεων να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα βάση των πειραμάτων τους. Με ποσοστό 18% ακολουθούν τα συμπεράσματα [ΣΥΜ] τα οποία είναι αναμενόμενο να είναι λιγότερα ενώ το μικρότερο ποσοστό παρουσιάζει η δημιουργία ερώτησης-υπόθεσης [ΔΥ]. Στη συνέχεια παραθέτονται κάποια συμπεράσματα: «Σε χαμηλά μήκη κύματος απομακρύνεται περισσότερο από την αρχική του θέση πριν επιστρέψει και πάλι σε αυτήν κάτι που σύμφωνα με την σειρά Lyman μας δείχνει ότι όντως υπάρχει μεγαλύτερη ενεργειακή στάθμη», «Ο κβαντικός αριθμός, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά των κβαντικών αριθμών τόσο μεγαλύτερη εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, το ηλεκτρόνιο. Και θεωρήσαμε εμείς ότι μεγαλώνει το μήκος κύματος του φωτονίου. Και αλλάζει χρώμα». «Εγώ νομίζω ότι ο πυρήνας απορροφάει το ηλεκτρόνιο μετά το διώχνει, μετά περνάει από μέσα του και μετά αλλάζει πορεία και μετά αλλάζει χρώμα».

Πίνακας 1. Απαντήσεις μαθητών

Απαντήσεις μαθητών που επηρεάζονται/ εκφράζονται από τη διερεύνηση (inquiry)					
	ΔΥ	ΕΠ	ΑΝΑ	ΣΥ	Σύνολο
	8	26	26	13	72
Ποσοστό	11%	36%	35%	18%	100%

Ιδιαίτερη σημασία εκτός από τον πειραματισμό έχουν και οι προσπάθειες των μαθητών να εξηγήσουν τα φαινόμενα. Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2 οι μαθητές κυρίως περιέγραψαν τα φαινόμενα (φαινομενολογικές περιγραφές-[ΦΑΙ]) και στην συνέχεια χρησιμοποιώντας την επιστημονική γλώσσα έκαναν προσπάθειες έτσι ώστε να τα εξηγήσουν και έτσι να καταλήξουν σε συμπεράσματα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι αρχικές αναπαραστάσεις είχαν το μικρότερο ποσοστό κάτι το οποίο είναι λογικό, καθώς τα φαινόμενα που εξετάζονται είναι φαινόμενα του μικρόκοσμου, και οι μαθητές είναι δύσκολο να τα συνδέσουν/περιγράψουν με δραστηριότητες από την καθημερινή ζωή ή προηγούμενες εμπειρίες.

Πίνακας 2. Απαντήσεις μαθητών

Απαντήσεις μαθητών που επηρεάζονται/ εκφράζονται από το επιστημονικό περιεχόμενο (scientific content)					
	ΑΡΧ	ΦΑΙ	ΕΝΝ	ΚΑΤ	Σύνολο
	6	33	19	12	70
Ποσοστό	9%	47%	27%	17%	100%

Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα: Αρχικές αναπαραστάσεις [ΑΡΧ]: «Καθώς περνάει από μέσα του μαζεύει ασ πούμε ισχύ. Σε κάποια στιγμή ασ πούμε έχει φορτώσει. Και όταν ξαναπερνάει αυτό σε κάποια στιγμή το δίνει πίσω». Εδώ ο μαθητής χρησιμοποιεί την έννοια της ισχύς για να περιγράψει την αλλαγή που κατά την γνώμη του συμβαίνει στον πυρήνα. Στο επόμενο παράδειγμα ο μαθητής χρησιμοποιεί

την έννοια την τριβής για να εξηγήσει τα διαφορετικά αποτελέσματα που παρατηρεί. «Άρα, συμβαίνει αυτό γιατί η σύνθετη ακτινοβολία δεν συναντάει τριβή με το μέσο στο οποίο βρίσκεται το υδρογόνο». Επίσης χρησιμοποιείται και η έννοια του ηλεκτρικού φορτίου στην προσπάθεια εξήγησης της αλληλεπίδρασης φωτονίου-ηλεκτρονίου «Κάποια από αυτά είναι θετικά και κάποια αρνητικά φορτισμένα». Έννοιες [ENN] και κατανόηση [KAT]: «Όταν το χτυπά ξεκινά με $n=1$ και το ηλεκτρόνιο το μεταφέρει προς τα έξω με το n να μεγαλώνει και μετά να πέφτει», «M1: Διαφέρει αφού το άλλο απορροφάει φωτόνια ενώ αυτό όχι. Στο προηγούμενο περνάει κιόλας. M2: Στο UV μόνο ήταν. M1: Ναι αλλά σε αυτό δεν περνάει απλά χτυπάει και πάει πίσω. M2: Μα στο UV μόνο έφευγε», «M1: Το φωτόνιο δίνει ενέργεια στο ηλεκτρόνιο το οποίο επιτρέπει να αλλάξει στοιβάδα, να μετατοπιστεί σε στοιβάδα. Αυτό μετά από ένα χρονικό διάστημα αφού ουσιαστικά έχει καταναλωθεί όλη η ενέργεια μετατοπίζεται και πάει και κάθεται σε μια σταθερή στάθμη, στοιβάδα». Από τα παραδείγματα στην κατηγορία έννοιες και κατανόηση βλέπουμε ότι οι μαθητές επικεντρώνονται αρκετά στην απορρόφηση του φωτονίου και στην συνακόλουθη αλλαγή ενεργειακής στοιβάδας. Ακόμα αρκετοί μαθητές παρατήρησαν το γεγονός ότι δεν απορροφώνται όλα τα φωτόνια αλλά ελάχιστοι ήταν αυτοί που έκαναν την σύνδεση με την δημιουργία του φάσματος εκπομπής σχετικά με το γιατί κάποιο φωτόνια απορροφώνται. Γενικά βλέπουμε μια προσπάθεια των μαθητών να χρησιμοποιήσουν την επιστημονική γλώσσα και αξιοποιώντας τις έννοιες του αντικείμενου να καταλήξουν σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με το θέμα. Επίσης αποτελεσματική αναδείχτηκε και η χρήση του μικροκόσμου καθώς οι μαθητές θεώρησαν ότι ήταν αρκετά χρήσιμος και βοηθητικός στην μελέτη του αντικείμενου. Αυτό αναδεικνύεται από τα παρακάτω παραδείγματα: «Ω! κοίτα τι έγινε. Άλλαξε χρώμα», «Ελένη κοίτα το δικό μας άλλαξε χρώμα! Είναι κόκκινο, είχαμε βγάλει και μπλε. Εσάς;».

Συμπεράσματα

Βάσει των παραπάνω ευρημάτων διαπιστώνεται η αποτελεσματική αξιοποίηση του τεχνολογικού εργαλείου micro-hydrogen στο να συνδράμει τους μαθητές να “ανακαλύψουν” τους μηχανισμούς και τις ιδιότητες των φυσικών φαινομένων που μελετήθηκαν. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον είναι το γεγονός της κινητοποίησης των μαθητών να προβούν σε πολλούς και συνεχόμενους πειραματισμούς μεταβλητών στα διάφορα μοντέλα του ατόμου αλλά και οι προσπάθειες τους μέσω του διαλόγου και της ανταλλαγής επιχειρημάτων με βάση την ανατροφοδότηση του λογισμικού να κατανοήσουν τις διαφορετικές πτυχές του φαινομένου που μελέτησαν. Βέβαια είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι η κατανόηση ενός τέτοιου θέματος δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί μέσα στα πλαίσια μια εκπαιδευτικής παρέμβασης τέτοιας κλίμακας για αυτό και παρατηρείται ότι οι μαθητές αποτυγχάνουν να δώσουν μια συνολική και πλήρης εξήγηση του φαινομένου. Διαφορετικοί μαθητές ήταν σε θέση να εξηγήσουν επιτυχώς κάποιες πτυχές του φαινομένου αλλά την ίδια στιγμή εμφάνιζαν παρανοήσεις σε άλλες. Αποτυχία κατανόησης υπάρχει στο φάσμα του ατόμου του υδρογόνου καθώς όλοι οι μαθητές εμφάνισαν παρανοήσεις στον τρόπο δημιουργίας του.

Τέλος πρέπει να πρέπει να αναφέρουμε ότι η παρούσα έρευνα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης προκειμένου να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματά της για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον το δείγμα των μαθητών ήταν αρκετά μικρό και δεύτερον το χρονικό διάστημα διεξαγωγής της έρευνας ήταν πολύ σύντομο. Ο αριθμός των μαθητών ήταν μόλις 10 και ο ερευνητής πραγματοποίησε τις δραστηριότητες κατά την διάρκεια μιας τετράωρης συνάντησης. Το δείγμα είναι αρκετά μικρό ενώ και ο τρόπος διεξαγωγής της δραστηριότητας είχε ως αποτέλεσμα οι μαθητές να κουραστούν και να μην αποδίδουν τα αναμενόμενα.

Αναφορές

- Barron, B., & Darling-Hammond, L. (2008). Teaching for meaningful learning: A review of research on inquiry-based and cooperative learning. In L. Darling-Hammond, B. Barron, D. Pearson, A. Schoenfeld, E. Stage, T. Zimmerman, G. Cervetti, & J. Tilson (Eds.), *Powerful Learning: What We Know About Teaching for Understanding* (pp. 11-70). San Francisco: Jossey-Bass.
- Cohen, L., Manion, L., & Morison, K. (2008). *Μεθοδολογία εκπαιδευτικής έρευνας*. Αθήνα: Μεταίχιμο.
- De Jong, T. (2006). Computer simulations – technological advances in inquiry learning. *Science*, 312, 532-533.
- Denzin, Norman, K., & Lincoln, Yvonne, S. (2000). *Handbook of Qualitative Research*. London: Sage.
- Flick, L., & Bell, R. (2000). Preparing tomorrow's science teachers to use technology: Guidelines for Science educators. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 1(1), 39-60.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-18). Dordrecht: Kluwer.
- Good, T. L., & Brophy, J. E. (1986). *Educational Psychology* (3rd ed.). New York: Longman.
- Kynigos, C. (2004). Black and white box approach to user empowerment with component computing. *Interactive Learning Environments*, 12(1-2), 27-71.
- Louca, T. L., & Zacharia, C. Z. (2009). The use of computer-based programming environments as computer modeling tools in early science education: The cases of textual and graphical program languages. *International Journal of Science Education*, 30(3), 1-37.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A., Kamp, E. T., & Tsourlidaki, E. (2015). Review: Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61.
- Resnick, M. (2002). Rethinking Learning in the Digital Age. In G. Kirkman (Ed.), *The Global Information Technology Report: Readiness for the Networked World* (pp. 32-37). Oxford: Oxford University Press.
- Resnick, M., Berg, R., & Eisenberg, M. (2000). Beyond Black Boxes: Bringing Transparency and Aesthetics Back to Scientific Investigation. *Journal of the Learning Sciences*, 9(1), 7-30.
- Sherin, B. L. (1996). The symbolic basis of physical intuition: A study of two symbol systems in physics instruction. Unpublished dissertation, University of California, Berkeley.
- Smyrniou, Z., Moustaki, F., & Kynigos, C. (2012). Students' constructionist game modelling activities as part of inquiry learning processes. *Electronic Journal of e-Learning*. Special issue on Games-Based Learning - ECGBL Conference.
- Smyrniou, Z., Moustaki, F., & Kynigos, C. (2016). Inquiry and Meaning Generation in Science While Learning to Learn Together: How Can Digital Media Provide Support?. In *New Developments in Science and Technology Education* (pp. 109-123). Springer International Publishing.
- Trundle, K. C., & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: a quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54(4), 1078-1088.
- Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2007). The impact of technology on the enactment of 'inquiry' in a technology enthusiast's sixth grade science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 154-182.
- Κυνηγός, Χ. (2011). *Το μάθημα της διερεύνησης*. Αθήνα: Τόπος.
- Μουζάκης, Χ. (2011). Η Προσφορά των Τεχνολογιών της Πληροφορίας και των Επικοινωνιών στην εκπαίδευση, τη διδασκαλία και τη μάθηση. Στο Μικρόπουλος Α., *Πληροφορική και εκπαίδευση: Νοηματοδομημένη μάθηση και γνωστικά εργαλεία*. Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα. Ανακτήθηκε στις 19 Ιουνίου 2019 από http://ecourse.uoi.gr/pluginfile.php/98749/mod_resource/content/5/8.%20MEIZON ICTinEducation.pdf